



**ALTERNATIVA PRELIMINAR DE UN
TÚNEL PEATONAL COMO SOLUCIÓN
PUNTUAL A LA MOVILIDAD URBANA
EN BOGOTÁ, UBICADO EN LA
CARRERA 12 CON CALLE 13**

2016

**YONALBERT BAHAMÓN MARÍN
HERNÁN BONILLA RINCÓN**

**ALTERNATIVA PRELIMINAR DE UN TÚNEL PEATONAL COMO
SOLUCIÓN PUNTUAL A LA MOVILIDAD URBANA EN BOGOTÁ,
UBICADO EN LA CALLE 13 CON CARRERA 12**

**YONALBERT BAHAMÓN MARÍN
HERNÁN DARÍO BONILLA RINCÓN**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2016

**ALTERNATIVA PRELIMINAR DE UN TÚNEL PEATONAL COMO
SOLUCIÓN PUNTUAL A LA MOVILIDAD URBANA EN BOGOTÁ,
UBICADO EN LA CALLE 13 CON CARRERA 12**

**YONALBERT BAHAMÓN MARÍN
HERNÁN DARÍO BONILLA RINCÓN**

**DIRECTOR:
INGENIERO DE MINAS, Ph.D ÁLVARO DE LA CRUZ CORREA
ARROYAVE**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
RESUMEN	18
JUSTIFICACIÓN	19
OBJETIVOS	20
GENERALES:	20
ESPECÍFICOS:	20
MARCO REFERENCIAL	21
MARCO TEÓRICO	21
<i>¿Qué es un túnel?</i>	21
<i>Funciones principales de los túneles</i>	21
<i>Túneles peatonales</i>	21
MARCO CONCEPTUAL	22
<i>¿Por qué construir túneles peatonales?</i>	22
<i>Procesos constructivos</i>	23
Procesos constructivos a cielo abierto	23
Procesos constructivos subterráneos.....	23
Procesos constructivos modernos.....	24
BIBLIOGRAFÍA	28
1. TÚNELES PEATONALES EN COLOMBIA Y EL MUNDO	29
1.1. TÚNELES PEATONALES DEL MUNDO	30
1.1.1. <i>Túnel peatonal del Pie de Greenwich</i>	31
1.1.2. <i>Paso peatonal de la Plaza de los Carros en Tarragona</i>	32
1.1.3. <i>Paso a desnivel del London’s Tower</i>	33
1.2. TÚNELES PEATONALES DE COLOMBIA	34
1.2.1. <i>Túnel La Rebeca, estación de Transmilenio San Diego (Bogotá)</i>	42
1.2.2. <i>Túnel sobre la Av. séptima con Cl. 94 (Bogotá)</i>	45
1.2.3. <i>Túnel peatonal de la estación de Ricaurte (Transmilenio)</i>	48
1.2.4. <i>Paso peatonal subterráneo aledaño a la universidad javeriana</i>	50
1.3. CONCLUSIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA	56
2. ACCIDENTALIDAD Y MOVILIDAD	57
2.1. ACCIDENTALIDAD.....	58
2.1.1. <i>Accidentalidad en Bogotá</i>	58
2.2. MOVILIDAD EN BOGOTÁ	65
2.2.1. <i>Velocidad promedio en Bogotá</i>	67
2.3. CONCLUSIONES.....	68
BIBLIOGRAFÍA	69
3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES PASOS PEATONALES	70
3.1. COMPARACIÓN GENERAL.....	71
3.1.1. <i>Inversión económica</i>	71
3.1.1.1. <i>Inversión inicial</i>	71
3.1.1.2. <i>Costos de operación y/o mantenimiento</i>	77
3.1.2. <i>Análisis ambiental</i>	82

3.1.2.1.	Consumo energético	83
3.1.2.2.	Contaminación visual	84
3.1.2.3.	Impacto auditivo.....	85
3.1.2.4.	Contaminación atmosférica	85
3.1.3.	<i>Predisposición de uso en los peatones</i>	86
3.1.3.1.	Distancias y Tiempos de recorrido.....	86
3.1.3.2.	Seguridad vial para el peatón	91
3.1.3.3.	Infraestructura para personas con discapacidad	92
3.1.4.	<i>Cuadro comparativo</i>	93
3.1.5.	<i>Aporte al tránsito vehicular</i>	96
3.2.	COMPARACIÓN PUNTUAL (CARRERA 12 CON AV. JIMÉNEZ).....	96
3.2.1.	<i>Inversión económica</i>	96
3.2.1.1.	Inversión inicial.....	96
3.2.1.2.	Costos de operación y/o mantenimiento.....	99
3.2.2.	<i>Análisis ambiental</i>	101
3.2.2.1.	Consumo energético	101
3.2.2.2.	Contaminación visual	102
3.2.2.3.	Impacto auditivo.....	102
3.2.2.4.	Contaminación atmosférica	102
3.2.3.	<i>Predisposición de uso en los peatones</i>	102
3.2.3.1.	Distancias y tiempos de recorrido	102
3.2.3.2.	Seguridad vial para el peatón	104
3.2.3.3.	Infraestructura para personas con discapacidad	106
3.2.4.	<i>Aporte al tránsito vehicular</i>	106
3.2.5.	<i>Modelación del diseño de un puente peatonal ubicado en el punto de pre-diseño (calle 13 con carrera 12)</i>	107
3.3.	ANÁLISIS DE ENCUESTAS	111
3.3.1.	<i>Encuesta en sitio de pre-diseño</i>	111
3.3.2.	<i>Encuesta general.</i>	119
3.4.	MATRIZ DOFA.....	131
3.5.	CONCLUSIONES.....	132
	BIBLIOGRAFÍA	133
4.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO EN EL ÁREA DE PRE-DISEÑO	134
4.1.	MACRO-LOCALIZACIÓN.....	135
4.2.	MICRO-LOCALIZACIÓN	140
4.2.1.	<i>Estudio de suelos de la estación Av. Jiménez, Transmilenio (2004)</i>	144
4.2.2.	<i>Estudio de suelos de la primera línea del metro de Bogotá (2015)</i>	146
4.2.3.	<i>Análisis de parámetros geotécnicos a partir de la información secundaria</i>	152
4.2.3.1.	Corrección del número de golpes SPT (N/pie)	153
4.2.3.2.	Correlaciones a partir de N ₆₀ y columnas geotécnicas finales.....	158
4.2.3.3.	Susceptibilidad a la licuación	167
4.2.3.4.	Condiciones geotécnicas para el pre-diseño del túnel peatonal.....	177
4.3.	CONCLUSIONES.....	179
	BIBLIOGRAFÍA	180
5.	AFOROS DE MOVILIDAD Y DEMANDA PEATONAL	182
5.1.	ANÁLISIS DE ENTORNO	185
5.1.1.	<i>Estado de la vía</i>	185
5.1.2.	<i>Señalización</i>	185
5.1.3.	<i>Infracciones</i>	188
5.2.	VOLÚMENES DE TRÁNSITO VEHICULAR	189

5.2.1.	<i>Oeste –Este (3)</i>	191
5.2.1.1.	Jornada diurna	191
5.2.1.2.	Jornada nocturna.....	193
5.2.2.	<i>Oeste – Giro en U (10(3))</i>	195
5.2.2.1.	Jornada diurna	195
5.2.2.2.	Jornada nocturna.....	197
5.2.3.	<i>Este – Oeste (4)</i>	199
5.2.3.1.	Jornada diurna.....	199
5.2.3.2.	Jornada nocturna.....	201
5.2.4.	<i>Oeste – Giro a la izquierda (7)</i>	203
5.2.4.1.	Jornada diurna.....	203
5.2.4.2.	Jornada nocturna.....	205
5.3.	VOLÚMENES DE TRÁNSITO PEATONALES	207
5.3.1.	<i>Norte – Giro a la derecha 9(1)</i>	207
5.3.1.1.	Jornada diurna	208
5.3.1.2.	Jornada nocturna.....	211
5.3.2.	<i>Sur – Giro a la izquierda (6)</i>	214
5.3.2.1.	Jornada diurna	214
5.3.2.2.	Jornada nocturna.....	217
5.3.3.	<i>Oeste – Giro a la derecha 9(3)</i>	220
5.3.3.1.	Jornada diurna.....	220
5.3.3.2.	Jornada nocturna.....	223
5.3.4.	<i>Oeste – Giro a la izquierda (7)</i>	226
5.3.4.1.	Jornada diurna	226
5.3.4.2.	Jornada nocturna.....	229
5.3.5.	<i>Sur – Directo (2)</i>	232
5.3.5.1.	Jornada diurna	232
5.3.5.2.	Jornada nocturna.....	235
5.3.6.	<i>Norte – Directo (1)</i>	238
5.3.6.1.	Jornada diurna.....	238
5.3.6.2.	Jornada nocturna.....	241
5.4.	VOLÚMENES DE PEATONES INFRACTORES	244
5.4.1.	<i>Este – Oeste (4)</i>	244
5.4.1.1.	Jornada diurna	244
5.4.1.2.	Jornada nocturna.....	246
5.4.2.	<i>Oeste – Este (3)</i>	248
5.4.2.1.	Jornada diurna	248
5.4.2.2.	Jornada nocturna.....	250
5.5.	NIVEL DE SERVICIO Y EFICIENCIA DEL PASO EXISTENTE	252
5.5.1.	<i>Obtención de tiempo – espacio disponible (TSp)</i>	255
5.5.2.	<i>Tiempo medio de cruce (tp)</i>	255
5.5.3.	<i>Ocupación del cruce (Tp)</i>	256
5.5.4.	<i>Nivel de servicio en oleada media</i>	256
5.5.5.	<i>Nivel de servicio en la oleada máxima</i>	257
5.6.	PROYECCIÓN POBLACIONAL	258
5.7.	PROYECCIÓN VEHICULAR	260
5.8.	CONCLUSIONES	261
	BIBLIOGRAFÍA	262
6.	PRE-DISEÑO DEL TÚNEL PEATONAL	263
6.1.	CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS	264
6.1.1.	<i>Compensación de cargas</i>	264
6.1.2.	<i>Proceso constructivo</i>	267

6.1.2.1.	Mejoramiento de la carpeta encima del túnel.....	267
6.1.2.2.	Pre-sostenimiento	267
6.1.2.3.	Excavación	268
6.1.2.4.	Interferencia con redes de servicios públicos	277
6.1.3.	<i>Reducción del riesgo de licuación.....</i>	281
6.2.	PRE-DISEÑO ESTRUCTURAL	282
6.2.1.	<i>Trazado preliminar</i>	282
6.2.2.	<i>Altura efectiva</i>	284
6.2.3.	<i>Ancho efectivo.....</i>	284
6.2.3.1.	Peatones por cada 15 minutos $Q_p 15$	284
6.2.3.2.	Nivel de servicio	285
6.2.3.3.	Intensidad de los pelotones ip.....	285
6.2.3.4.	Intensidad unitaria i.....	285
6.2.3.5.	Cálculo del ancho efectivo A_E	286
6.2.3.6.	Cálculo del ancho total A.....	286
6.2.4.	<i>Espesores de la sección transversal.....</i>	287
6.2.5.	<i>Nivel de planta inferior</i>	289
6.2.6.	<i>Accesos al túnel.....</i>	290
6.2.6.1.	Acceso oriental (Av. Jiménez)	290
6.2.6.2.	Acceso Norte (Cra. 12) y Acceso sur (Av. Jiménez)	290
6.2.6.3.	Conexión con la estación de Transmilenio	291
6.2.6.4.	Espesores para muros de contención.....	292
6.3.	PRE-DISEÑO ARQUITECTÓNICO	294
6.3.1.	<i>Acabados.....</i>	294
6.3.1.1.	Enchapes	294
6.3.1.2.	Cielo raso	294
6.3.1.3.	Iluminación LED	295
6.3.1.4.	Escaleras y rampas	295
6.3.1.5.	Barandas	295
6.3.1.6.	Divisiones de seguridad.....	296
6.3.2.	<i>Claraboyas de iluminación y ventilación</i>	298
6.3.3.	<i>Taquilleras.....</i>	299
6.3.4.	<i>Torniquetes de acceso a Transmilenio</i>	300
6.4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA UNA ETAPA DE DISEÑO	302
	BIBLIOGRAFÍA	304
7.	SITIOS PROPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÚNELES PEATONALES EN BOGOTÁ D.C.	305
7.1.	SUSTITUCIÓN DE SEMÁFOROS.....	306
7.2.	SUSTITUCIÓN DE PUENTES PEATONALES	310
7.3.	CRUCES SIN NINGÚN TIPO PASO PEATONAL	313

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 0.1. TUNNEL LINER	25
FIGURA 0.2. TUNELADORA.....	26
FIGURA 1.1. ENTRADA AL METRO DE BILBAO.....	30
FIGURA 1.2. ENTRADA AL TÚNEL DEL PIE POR EL COSTADO DE GREENWICH	32
FIGURA 1.3. ENTRADA NORTE DEL PASO PEATONAL DE TARRAGONA	32
FIGURA 1.4. RÍO TÁMESIS	33
FIGURA 1.5. ENTRADA POR LA CALLE 7ª A LA RED SUBTERRÁNEA DE LA JIMÉNEZ.....	36
FIGURA 1.6. ESCALERAS DE ACCESO AL TÚNEL IGLESIA DE SAN DIEGO	37
FIGURA 1.7. ENTRADA POR LA PLAZA DE SAN VICTORINO AL PASAJE COMERCIAL.....	37
FIGURA 1.8. ENTRADA Y SALIDA DEL PASO PEATONAL SUROCCIDENTAL DE LA CRA. 68 CON CLL. 63	38
FIGURA 1.9. PLATAFORMA SALVA-ESCALERA EN UNA DE LA ENTRADAS DEL TÚNEL DE LA ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ	39
FIGURA 1.10. RAMPAS DE ACCESO A LOS VAGONES DE LA ESTACIÓN SAN DIEGO.....	40
FIGURA 1.11. CLARABOYA DE ILUMINACIÓN DEL TÚNEL DE INTERCONEXIÓN DE LA ESTACIÓN LAS AGUAS	40
FIGURA 1.12. ENTRADA AL DEPRIMIDO PEATONAL DE GACHANCIPÁ	41
FIGURA 1.13. UBICACIÓN TÚNEL HOTEL BLUE COVE.....	412
FIGURA 1.14. TORNIQUETES DE ENTRADA A TRANSMILENIO UBICADOS AL INTERIOR DEL TÚNEL LA REBECA.....	43
FIGURA 1.15. ESTRUCTURAS DE ACCESO AL TÚNEL LA REBECA	43
FIGURA 1.16. MODELO 3D DE LOS ACCESOS AL TÚNEL LA REBECA ELABORADO POR EL CONSULTOR	44
FIGURA 1.17. MODELO 3D DEL TÚNEL LA REBECA ELABORADO POR EL CONSULTOR.....	45
FIGURA 1.18. SECCIÓN DEL PLANO EN PLANTA DEL TÚNEL PEATONAL CLL. 94	46
FIGURA 1.19. CORTE TRANSVERSAL DEL TÚNEL DE LA CLL. 94	47
FIGURA 1.20. ESTACIÓN DE TRASFERENCIA RICAURTE	49
FIGURA 1.21. INTERIOR DEL TÚNEL ALEDAÑO A LA UNIVERSIDAD JAVERIANA	51
FIGURA 1.22. SECCIÓN TRANSVERSAL TÚNEL UNIVERSIDAD JAVERIANA	51
FIGURA 1.23. SECCIÓN TRANSVERSAL EN LOCALES DEL TÚNEL ALEDAÑO A LA UNIVERSIDAD JAVERIANA.....	52
FIGURA 1.24. DETALLE APOYO DEL TÚNEL ALEDAÑO A LA UNIVERSIDAD JAVERIANA	52
FIGURA 2.1. CIFRAS DE ACCIDENTALIDAD EN BOGOTÁ	60
FIGURA 2.2. CIFRAS DE ACCIDENTALIDAD DE PASAJEROS	60
FIGURA 2.3. GEORREFERENCIACIÓN DEL CUADRANTE CRÍTICO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ	62
FIGURA 2.4. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL CUADRANTE DE ESTUDIO.....	63
FIGURA 2.5. PORCENTAJE DE ATROPELLADOS SEGÚN EL SECTOR URBANO	64
FIGURA 2.6. MOVILIDAD DE BOGOTÁ EN HORAS PICO	65
FIGURA 2.7. INCREMENTO DE USUARIOS EN EL SISTEMA TRANSMILENIO	66
FIGURA 2.8. VELOCIDAD PROMEDIO ANUAL DE BOGOTÁ (2002-2013)	67
FIGURA 3.1. FRECUENCIA DE MATERIALES DE LOS PUENTES PEATONALES.....	76
FIGURA 3.2. PINTURA DE SEÑALIZACIÓN VIAL	78
FIGURA 3.3. PUENTE PEATONAL DETERIORADO.....	79
FIGURA 3.4. MODERNA CENTRAL DE SEMÁFOROS EN CÓRDOBA, ARGENTINA	81
FIGURA 3.5. SEMÁFOROS LED.....	83
FIGURA 3.6. CLARABOYAS Y PANELES DE ILUMINACIÓN EN EL TÚNEL PEATONAL DE LA REBECA	84
FIGURA 3.7. PUENTE PEATONAL ESTACIÓN AV. EL DORADO, BOGOTÁ	87
FIGURA 3.8. PUENTE PEATONAL DE GACHANCIPÁ, CUNDINAMARCA	88
FIGURA 3.9. ENTRADA AL TÚNEL PEATONAL DE GACHANCIPÁ, CUNDINAMARCA	90
FIGURA 3.10. IMPRUDENCIA PEATONAL.....	92
FIGURA 3.11. PLATAFORMA SALVA-ESCALERA.....	93

FIGURA 3.12. PUENTE PEATONAL DE LA CARRERA 7 CON CALLE 130	99
FIGURA 3.13. REPRESAMIENTO DE PEATONES EN EL SEMÁFORO PEATONAL DE LA AV. JIMÉNEZ	104
FIGURA 3.14. IMPRUDENCIA PEATONAL EN EL CRUCE DE LA AV. JIMÉNEZ	105
FIGURA 3.15. REPRESAMIENTO DE ARTICULADOS OCASIONADOS POR EL SEMÁFORO PEATONAL.....	107
FIGURA 3.16. CAJÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE PEATONAL.....	108
FIGURA 3.17. PLANTA DE LA MODELACIÓN DEL PUENTE PEATONAL EN EL SITIO DE PRE-DISEÑO	109
FIGURA 3.18. PERSPECTIVA OCCIDENTAL DEL MODELO DEL PUENTE PEATONAL EN LA AV. JIMÉNEZ	110
FIGURA 3.19. DETALLE SUR DEL PUENTE PEATONAL	111
FIGURA 3.20. RESULTADO N° 1 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	113
FIGURA 3.21. RESULTADO N° 2 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	113
FIGURA 3.22. RESULTADO N° 3 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	114
FIGURA 3.23. RESULTADO N° 4 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	115
FIGURA 3.24. RESULTADO N° 5 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	115
FIGURA 3.25. RESULTADO N° 6 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	116
FIGURA 3.26. RESULTADO N° 7 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	116
FIGURA 3.27. RESULTADO N° 8 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	117
FIGURA 3.28. RESULTADO N° 9 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	118
FIGURA 3.29. RESULTADO N° 10 ENCUESTA EN SITIO DE PRE-DISEÑO.....	119
FIGURA 3.30. RESULTADO N° 1 ENCUESTA GENERAL	121
FIGURA 3.31. RESULTADO N° 2 ENCUESTA GENERAL	122
FIGURA 3.32. RESULTADO N° 3 ENCUESTA GENERAL	123
FIGURA 3.33. RESULTADO N° 4 ENCUESTA GENERAL	124
FIGURA 3.34. RESULTADO N° 5 ENCUESTA GENERAL	125
FIGURA 3.35. RESULTADO N° 6 ENCUESTA GENERAL	126
FIGURA 3.36. RESULTADO N° 7 ENCUESTA GENERAL	127
FIGURA 3.37. RESULTADO N° 8 ENCUESTA GENERAL	128
FIGURA 3.38. RESULTADO N° 9 ENCUESTA GENERAL	129
FIGURA 3.39. RESULTADO N° 10 ENCUESTA GENERAL.....	130
FIGURA 4.1. MAPA DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	140
FIGURA 4.2. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	141
FIGURA 4.3. UBICACIÓN DEL SITIO DE PRE-DISEÑO EN EL MAPA DE ZONAS GEOTÉCNICAS.....	142
FIGURA 4.4. UBICACIÓN DEL SITIO DE PRE-DISEÑO EN EL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	143
FIGURA 4.5. LEYENDA DE DESCRIPCIÓN DEL SUELO PARA LAS FIGURAS 4.6, 4.7, 4.8, Y 4.9.	147
FIGURA 4.6. CORRELACIÓN ENTRE N60 Y QU	161
FIGURA 4.7. FENÓMENO DE LICUACIÓN EN SUELOS GRANULARES DURANTE UN SISMO EN NUEVA ZELANDA	167
FIGURA 4.8. FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL RD	169
FIGURA 4.9. CURVAS ENTRE RESISTENCIA CÍCLICA (CRR) Y N60	170
FIGURA 4.10. COMPORTAMIENTO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN KA.....	172
FIGURA 5.1. CODIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS VEHICULARES EN INTERSECCIONES.....	183
FIGURA 5.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO EN ESTUDIO.....	184
FIGURA 5.3. IMAGEN AÉREA DEL SITIO EN ESTUDIO	185
FIGURA 5.4. UBICACIÓN DE SEMÁFOROS EN EL CRUCE	186
FIGURA 5.5. FLECHAS DIRECCIONALES CON OPCIÓN DE TOMAR EL RETORNO	186
FIGURA 5.6. CEBRA O CRUCE PEATONAL.....	187
FIGURA 5.7. DELINEADOR DE CURVAS HORIZONTALES	188
FIGURA 5.8. SEÑALIZACIÓN CEDA EL PASO	188
FIGURA 5.9. INFRACTORES DE SEMÁFORO PEATONAL	189
FIGURA 5.10. INFRACTORES DE CRUCE NO PERMITIDO.....	189

FIGURA 5.11. MOVIMIENTOS VEHICULARES AFORADOS	190
FIGURA 5.12. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - ESTE	192
FIGURA 5.13. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO VEHICULAR EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – ESTE	192
FIGURA 5.14. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – ESTE	194
FIGURA 5.15. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO VEHICULAR EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - ESTE	194
FIGURA 5.16. VARIACIÓN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - GIRO EN U	196
FIGURA 5.17. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO VEHICULAR EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - GIRO EN U	196
FIGURA 5.18. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - GIRO EN U.....	198
FIGURA 5.19. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO VEHICULAR EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - GIRO EN U	198
FIGURA 5.20. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO ESTE – OESTE	200
FIGURA 5.21. PORCENTAJE DE FLUJO VEHICULAR DIARIO EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO ESTE – OESTE	200
FIGURA 5.22. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS POR INTERVALOS DE 15 MINUTOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO ESTE – OESTE.....	202
FIGURA 5.23. PORCENTAJE DE FLUJO VEHICULAR DIARIO EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO ESTE – OESTE.....	202
FIGURA 5.24. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE VEHÍCULOS MIXTOS POR INTERVALOS DE 15 MINUTOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - GIRO A LA IZQUIERDA	204
FIGURA 5.25. PORCENTAJE DE FLUJO VEHICULAR DIARIO EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - GIRO A LA IZQUIERDA ...	204
FIGURA 5.26. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE VEHÍCULOS MIXTOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - GIRO A LA IZQUIERDA	206
FIGURA 5.27. PORCENTAJE DE FLUJO VEHICULAR NOCTURNO EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - GIRO A LA IZQUIERDA .	206
FIGURA 5.28. MOVIMIENTOS PEATONALES AFORADOS	207
FIGURA 5.29. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA.....	209
FIGURA 5.30. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA.....	209
FIGURA 5.31. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA	210
FIGURA 5.32. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA	212
FIGURA 5.33. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA	212
FIGURA 5.34. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA	213
FIGURA 5.35. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA.....	215
FIGURA 5.36. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA	215
FIGURA 5.37. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA	216
FIGURA 5.38. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA	218
FIGURA 5.39. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR – OESTE	218
FIGURA 5.40. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA	219
FIGURA 5.41. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA	221
FIGURA 5.42. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA	221
FIGURA 5.43. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA	222
FIGURA 5.44. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA	224
FIGURA 5.45. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA.....	224
FIGURA 5.46. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - SUR.....	225
FIGURA 5.47. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA.....	227
FIGURA 5.48. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA ...	227
FIGURA 5.49. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA	228
FIGURA 5.50. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA	230
FIGURA 5.51. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA	230
FIGURA 5.52. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA.....	231
FIGURA 5.53. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – NORTE	233
FIGURA 5.54. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – NORTE	233
FIGURA 5.55. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR - NORTE	234
FIGURA 5.56. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR - NORTE	236
FIGURA 5.57. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SUR – NORTE	236

FIGURA 5.58. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR – NORTE	237
FIGURA 5.59. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE – SUR	239
FIGURA 5.60. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE – SUR	239
FIGURA 5.61. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE - SUR	240
FIGURA 5.62. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE – SUR	242
FIGURA 5.63. PORCENTAJE DIARIO DE FLUJO PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE – SUR.....	242
FIGURA 5.64. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE - SUR	243
FIGURA 5.65. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO ESTE - OESTE	245
FIGURA 5.66. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO ESTE – OESTE	247
FIGURA 5.67. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - ESTE	249
FIGURA 5.68. VOLUMEN GENERAL DE PEATONES EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - ESTE.....	251
FIGURA 5.69. DISCRIMINACIÓN DE LOS DOS PASOS PEATONALES EN ANÁLISIS	253
FIGURA 5.70. ESQUEMA PARA OBTENCIÓN DE DATOS (Ap, Lp, IE, IS).....	254
FIGURA 6.1. AVANCE MÉTODO BERNOLD	268
FIGURA 6.2. PASO 1 DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	269
FIGURA 6.3. PASO 2 DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	269
FIGURA 6.4. PASO 3 DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	270
FIGURA 6.5. PASO 4 DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	270
FIGURA 6.6. PASO 5 DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	271
FIGURA 6.7. PASO 6 DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	271
FIGURA 6.8. CONDICIONES INICIALES EXAMINE 2D.....	273
FIGURA 6.9. DESPLAZAMIENTOS TOTALES DURANTE LA EXCAVACIÓN	274
FIGURA 6.10. ESFUERZOS MÁXIMOS PRINCIPALES PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TÚNEL	275
FIGURA 6.11. ESFUERZOS MÍNIMOS PRINCIPALES PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TÚNEL.....	276
FIGURA 6.12. REDES DE AGUA POTABLE EXISTENTES EN LA ZONA DEL PROYECTO	277
FIGURA 6.13. REUBICACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE ACCESO SUR DEL TÚNEL	278
FIGURA 6.14. REUBICACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE ACCESO NORTE DEL TÚNEL	278
FIGURA 6.15. REDES DE ALCANTARILLADO EXISTENTES EN LA ZONA DEL PROYECTO	279
FIGURA 6.16. REDES DE GAS NATURAL EXISTENTES EN LA ZONA DEL PROYECTO.	280
FIGURA 6.17. INYECCIÓN DE MORTERO EN SUELOS LICUABLES	281
FIGURA 6.18. TRAZADO PRELIMINAR DEL PASO SUBTERRÁNEO PROPUESTO	283
FIGURA 6.19. DISCRIMINACIÓN DE LAS 3 VÍAS PEATONALES EN ANÁLISIS.....	285
FIGURA 6.20. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TÚNEL PEATONAL	288
FIGURA 6.21. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TÚNEL PEATONAL	289
FIGURA 6.22. PROFUNDIDAD DEL PASO SUBTERRÁNEO.....	289
FIGURA 6.23. PENDIENTE DE LA RAMPA EN ACCESO.....	290
FIGURA 6.24. VISTA PLANTA SALIDA SUR Y NORTE	291
FIGURA 6.25. MUROS DE CONTENCIÓN DE LOS ACCESOS SUR Y NORTE	292
FIGURA 6.26. MUROS DE CONTENCIÓN DEL ACCESO ORIENTAL.....	293
FIGURA 6.27. MUROS DE CONTENCIÓN CONEXIÓN CON ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ.....	293
FIGURA 6.28. VALORES PARA EL PRE-DIMENSIONAMIENTO DE MUROS	294
FIGURA 6.29. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE BARANDAS DE APOYO.....	295
FIGURA 6.30. ALTURA DE BARANDAS DE APOYO.....	296
FIGURA 6.31. BARANDAS DE SEGURIDAD	296
FIGURA 6.32. DIVISIONES DE SEGURIDAD	297
FIGURA 6.33. UBICACIÓN DIVISIONES DE SEGURIDAD EN SALIDA NORTE Y SALIDA SUR DEL TÚNEL	297
FIGURA 6.34. UBICACIÓN DIVISIONES DE SEGURIDAD EN SALIDA ORIENTAL DEL TÚNEL	298
FIGURA 6.35. CLARABOYA DE ILUMINACIÓN CIRCULAR	298
FIGURA 6.36. CLARABOYA DE ILUMINACIÓN A DOS AGUAS	299

FIGURA 6.37. UBICACIÓN DE TAQUILLERA EN LA SALIDA SUR DEL TÚNEL	299
FIGURA 6.38. UBICACIÓN DE TAQUILLERA EN LA SALIDA NORTE DEL TÚNEL	300
FIGURA 6.39. UBICACIÓN DE TAQUILLERA EN LA SALIDA ORIENTAL DEL TÚNEL	300
FIGURA 6.40. UBICACIÓN DE TORNQUETES DE ENTRADA PARA LA ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ	301
FIGURA 6.41. SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNA	303
FIGURA 6.42. SEGUNDA SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNA	303
FIGURA 7.1. PASO PEATONAL ESTACIÓN ZONA INDUSTRIAL	306
FIGURA 7.2. PASO PEATONAL MUSEO NACIONAL	307
FIGURA 7.3. PASO PEATONAL FRIGORÍFICO GUADALUPE	308
FIGURA 7.4. PASO PEATONAL COLSUBSIDIO CALLE 80 CON CARRERA 112^a	308
FIGURA 7.5. PASO PEATONAL DE LA ESTACIÓN CALLE 26	309
FIGURA 7.6. PASO PEATONAL DE LA ESTACIÓN MARLY	309
FIGURA 7.7. SEMÁFORO PEATONAL AV. CARACAS CON CLL. 70A	310
FIGURA 7.8. PUENTE PEATONAL PARA LA ESTACIÓN SENA DE TRANSMILENIO	311
FIGURA 7.9. PUENTE PEATONAL PARA LA ESTACIÓN AV. EL DORADO DE TRANSMILENIO	311
FIGURA 7.10. PUENTE PEATONAL DE MEISSEN	312
FIGURA 7.11. PUENTE PEATONAL PARA LA ESTACIÓN TERMINAL DE TRANSMILENIO	313
FIGURA 7.12. CRUCE NO REGULADO DE LA CLL. 161 CON CARRERA 14B	313
FIGURA 7.13. CRUCE NO REGULADO DE LA CRA. 104 CON CLL. 133A	314
FIGURA 7.14. PASO PEATONAL DE LA AV. AMÉRICAS CON CALLE 13	314
FIGURA 7.15. UBICACIÓN DETALLADA DEL PASO PEATONAL AV. AMÉRICAS CON CALLE 13	315

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1. COLUMNA GEOTÉCNICA TÚNEL ESTACIÓN RICOURTE	48
TABLA 1.2. ESTRATIGRAFÍA TÚNEL ALEDAÑO A LA UNIVERSIDAD JAVERIANA	53
.	
TABLA 2.1. CIFRAS DE ACCIDENTALIDAD EN BOGOTÁ.....	59
TABLA 2.2. CANTIDAD DE HERIDOS Y MUERTOS EN LOS PUNTOS MÁS CRÍTICOS DE BOGOTÁ	62
.	
TABLA 3.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE CEBRA PEATONAL	72
TABLA 3.2. COSTOS DIRECTOS APROXIMADOS DE UN CRUCE SEMAFORIZADO (VÍA DE DOS CARRILES)	74
TABLA 3.3. COSTOS DIRECTOS APROXIMADOS DE UN CRUCE SEMAFORIZADO (VÍA ARTERIAL O TRONCAL)	75
TABLA 3.4. COSTOS DIRECTOS DE PUENTES PEATONALES EN BOGOTÁ.....	76
TABLA 3.5. COSTOS DIRECTOS DE UN TÚNEL PEATONAL (VÍA ARTERIAL O TRONCAL)	77
TABLA 3.6. COSTOS DIRECTOS DE MANTENIMIENTO DE PUENTES PEATONALES.....	79
TABLA 3.7. COSTOS DE OPERACIÓN EN UN CRUCE SEMAFORIZADO (VÍA DE DOS CARRILES).....	80
TABLA 3.8. COSTOS DE OPERACIÓN EN UN CRUCE SEMAFORIZADO (VÍA ARTERIAL O TRONCAL)	80
TABLA 3.9. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN TÚNELES PEATONALES (VÍA DE DOS CARRILES)	82
TABLA 3.10. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN TÚNELES PEATONALES (VÍA ARTERIAL O TRONCAL).....	82
TABLA 3.11A. CUADRO COMPARATIVO GENERAL	94
TABLA 3.11B. CONTINUACIÓN CUADRO COMPARATIVO GENERAL.....	945
TABLA 3.12. COSTOS DIRECTOS APROXIMADOS DEL CRUCE SEMAFORIZADO DE LA AV. JIMÉNEZ CON CARRERA 12	98
TABLA 3.13. COSTOS DE OPERACIÓN EN UN CRUCE SEMAFORIZADO (AV. JIMÉNEZ).....	100
TABLA 3.14. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN TÚNELES PEATONALES (AV. JIMÉNEZ)	101
TABLA 3.15. CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL CRUCE SEMAFORIZADO (AV. JIMÉNEZ)	101
TABLA 3.16. RESULTADOS GLOBALES DE ENCUESTAS EN SITIO DE PRE-DISEÑO	112
TABLA 3.17. RESULTADOS DE ENCUESTA GENERAL.....	120
TABLA 3.18. MATRIZ DOFA PARA EL PRE-DISEÑO DEL TÚNEL	131.
.	
TABLA 4.1A. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS.....	136
TABLA 4.1B. CONTINUACIÓN DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS	1363
TABLA 4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE RESPUESTA SÍSMICA.....	138
TABLA 4.3. SONDEOS SPT ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ	144
TABLA 4.4. COLUMNA 1 DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ)	145
TABLA 4.5. COLUMNA 2 DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ)	146
TABLA 4.6. COLUMNA 1 DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (ESTACIÓN SAN VICTORINO)	148
TABLA 4.7. COLUMNA 2 DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (ESTACIÓN SAN VICTORINO)	149
TABLA 4.8. COLUMNA 1 DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (ESTACIÓN LIMA)	150
TABLA 4.9. COLUMNA 2 DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (ESTACIÓN LIMA)	151
TABLA 4.10. EFICIENCIA DEL MARTINETE POR PAÍSES.....	155
TABLA 4.11. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LONGITUD DE LA BARRA	156
TABLA 4.12. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA REVESTIMIENTO DE MUESTREADOR	156
TABLA 4.13. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	156
TABLA 4.14. RESULTADOS DE CORRECCIÓN POR CONFINAMIENTO	157
TABLA 4.15. OBTENCIÓN DEL N ₆₀ PARA LA COLUMNA GEOTÉCNICA 1 DE LA ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ	157
TABLA 4.16. OBTENCIÓN DEL N ₆₀ PARA LA COLUMNA GEOTÉCNICA 2 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ).....	158
TABLA 4.17. VALORES DEL MÓDULO DE POISSON PARA DISTINTOS TIPOS DE SUELO	160
TABLA 4.18. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE CORTE TRANSVERSALES.....	160
TABLA 4.19. CORRELACIÓN DE HARA ENTRE N ₆₀ Y QU	162
TABLA 4.20. CONDICIONES INICIALES COLUMNA GEOTÉCNICA 1 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ)	162
TABLA 4.21. RESULTADOS DE CORRELACIONES COLUMNA GEOTÉCNICA 1 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ).....	162

TABLA 4.22. CONDICIONES INICIALES COLUMNA GEOTÉCNICA 2 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ)	163
TABLA 4.23. RESULTADOS DE CORRELACIONES COLUMNA GEOTÉCNICA 2 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ).....	163
TABLA 4.24. COLUMNA GEOTÉCNICA FINAL 1 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ)	164
TABLA 4.25. COLUMNA GEOTÉCNICA FINAL 2 (ESTACIÓN AV. JIMÉNEZ)	164
TABLA 4.26. COLUMNA GEOTÉCNICA FINAL 1 (ESTACIÓN SAN VICTORINO)	165
TABLA 4.27. COLUMNA GEOTÉCNICA FINAL 1 (ESTACIÓN LIMA)	165
TABLA 4.28. COLUMNA GEOTÉCNICA FINAL 2 (ESTACIÓN SAN VICTORINO)	166
TABLA 4.29. COLUMNA GEOTÉCNICA FINAL 2 (ESTACIÓN LIMA)	166
TABLA 4.30. FACTORES DE CORRECCIÓN POR CONTENIDO DE FINOS A Y B.....	171
TABLA 4.31. RIESGO DE LICUACIÓN PARA LOS SONDEOS DEL METRO (ESTACIÓN SAN VICTORINO).....	173
TABLA 4.32. RIESGO DE LICUACIÓN PARA LOS SONDEOS DEL METRO (ESTACIÓN LIMA).....	173
TABLA 4.33. VERIFICACIÓN DEL RIESGO DE LICUACIÓN PARA LOS SONDEOS DEL METRO (ESTACIÓN SAN VICTORINO)	175
TABLA 4.34. VERIFICACIÓN DEL RIESGO DE LICUACIÓN PARA LOS SONDEOS DEL METRO (ESTACIÓN LIMA)	176
TABLA 4.35. DISTANCIA DE SONDEOS AL LUGAR DE PRE-DISEÑO	177
TABLA 5.1. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – ESTE	191
TABLA 5.2. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – ESTE.....	193
TABLA 5.3. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO EN U	195
TABLA 5.4. VARIACIÓN EN VOLUMEN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - GIRO EN U	197
TABLA 5.5. VARIACIÓN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO ESTE - OESTE.....	199
TABLA 5.6. VARIACIÓN DE ARTICULADOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO ESTE - OESTE	201
TABLA 5.7. VARIACIÓN DE VEHÍCULOS MIXTOS EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA	203
TABLA 5.8. VARIACIÓN DE VEHÍCULOS MIXTOS EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA.....	205
TABLA 5.9. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA	208
TABLA 5.10. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE – GIRO A LA DERECHA.....	211
TABLA 5.11. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA	214
TABLA 5.12. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR – GIRO A LA IZQUIERDA.....	217
TABLA 5.13. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA	220
TABLA 5.14. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA DERECHA.....	223
TABLA 5.15. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA	226
TABLA 5.16. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE – GIRO A LA IZQUIERDA.....	229
TABLA 5.17. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO SUR – NORTE.....	232
TABLA 5.18. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO SUR - NORTE.....	235
TABLA 5.19. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO NORTE - SUR	238
TABLA 5.20. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO NORTE - SUR.....	241
TABLA 5.21. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO ESTE - OESTE	244
TABLA 5.22. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO ESTE - OESTE.....	246
TABLA 5.23. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA MAÑANA, SENTIDO OESTE - ESTE	248
TABLA 5.24. VARIACIÓN DE VOLUMEN PEATONAL EN HORAS DE LA TARDE, SENTIDO OESTE - ESTE.....	250
TABLA 5.25A. CONDICIONES EXISTENTES EN CADA NIVEL DE SERVICIO	252
TABLA 5.25B. CONTINUACIÓN CONDICIONES EXISTENTES EN CADA NIVEL DE SERVICIO	2523
TABLA 5.26. DATOS DE CAMPO PARA ANÁLISIS	254
TABLA 5.27. NIVELES DE SERVICIO EN VÍAS PEATONALES	257
TABLA 5.28. POBLACIÓN DE BOGOTÁ DISCRIMINADA POR LOCALIDADES.....	259
TABLA 5.29. PROYECCIÓN DE PEATONES PARA UN PERIODO DE 30 AÑOS	259
TABLA 5.30. PROYECCIONES DE ARTICULADOS ESTIMADAS PARA UN PERIODO DE 30 AÑOS	260
TABLA 6.1. PEATONES PROYECTADOS POR CADA 15 MINUTOS QP,15	284
TABLA 6.2. ANCHOS EFECTIVOS DE VÍAS PEATONALES.....	286
TABLA 6.3. ESPESORES CONSERVADORES DE LOSAS Y VIGAS	288
TABLA 6.4. ESPESORES DE LOSAS Y VIGAS	291

LISTA DE PLANOS

PLANO 1 DE 5 LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

PLANO 2 DE 5 LOCALIZACIÓN ANTES Y DESPUES DEL PRE-DISEÑO

PLANO 3 DE 5 PLANTA ARQUITECTÓNICA GENERAL DEL TÚNEL PROPUESTO

PLANO 4 DE 5 CORTES LONGITUDINALES DEL TÚNEL PROPUESTO

PLANO 5 DE 5 CORTES TRANSVERSALES Y ENTRADA ORIENTAL EL TÚNEL PROPUESTO

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A FORMATO DE ENCUESTA PUNTUAL

ANEXO B ZONAS GEOTÉCNICAS DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ D.C. 2010

ANEXO C ZONAS DE RESPUESTA SÍSMICA DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ D.C. 2010

ANEXO D FORMATO DE AFOROS PEATONALES

ANEXO E FORMATO DE AFOROS VEHICULARES

INTRODUCCIÓN

La planeación de una ciudad depende de una gran cantidad de variables, y debe estar orientada a proporcionar agilidad y seguridad en el diario vivir de sus pobladores, así que ésta, estará en función del crecimiento propio de la ciudad y de la variación de sus características sociales, culturales, económicas y tecnológicas. Los elementos más comunes y vulnerables de una urbe, son y siempre serán los ciudadanos en condición de peatones; por lo que el desarrollo de infraestructura, las soluciones de movilidad y en general la inversión de recursos de una ciudad, **deben tener como objetivo principal el bienestar del peatón**. Sin embargo, es necesario que los proyectos que se realizan en la ciudad de Bogotá, tengan en cuenta todas las situaciones de imprudencia, cultura y errores humanos que son muy comunes en los ciudadanos de la capital colombiana, con el fin de que no haya cabos sueltos que alteren e interrumpan el debido funcionamiento de la infraestructura urbana.

El rol de un ingeniero civil consultor está en justificar una adecuada inversión de recursos ya sean públicos o privados, en proyectos que optimicen y den soluciones efectivas a cualquier tipo de necesidad en las comunidades. **El estado colombiano y en general su cultura, ha optado por inclinarse siempre hacia las soluciones más económicas**, creyendo que entre menores costos tenga un proyecto, más viable es su desarrollo, generando al final, un mayor consumo de recursos a largo plazo y unas soluciones muy superficiales e inadecuadas.

RESUMEN

Mediante el presente proyecto, se realiza una evaluación de viabilidad para sustituir el actual semáforo peatonal que se ubica en la calle 13 con carrera 12 de Bogotá D.C., paso regulador para los transeúntes que visitan la zona comercial de San Victorino y se dirigen hacia la estación de Transmilenio Av. Jiménez, o cruzan de la plaza San Victorino hacia la carrera 12 y viceversa. Su tesis se basa en 7 capítulos fundamentales con los que se sustentan las decisiones y conclusiones expuestas a lo largo del proyecto: el **primer capítulo**, es una revisión de la infraestructura peatonal subterránea en Colombia y el mundo, con el que se expone la metodología de construcción y las soluciones otorgadas por varios túneles peatonales. Posteriormente en el **segundo capítulo** se puede observar la necesidad de mejorar el espacio público y la infraestructura peatonal debido a la gran cantidad de accidentes peatonales y a la ineficiente movilidad vehicular de la capital colombiana. Para el **tercer capítulo** se realiza una comparación general y puntal entre los diferentes tipos de pasos peatonales, **el cuarto capítulo** es un reconocimiento del subsuelo en el área de pre-diseño, hecho mediante la revisión de estudios geotécnicos existentes, al final de éste se presentan las condiciones del suelo bajo las que estará la construcción el túnel peatonal. La demanda peatonal y el análisis de comportamiento de los caudales de transeúntes es analizada... **en el capítulo 5**. El cual está basado en aforos hechos por los autores en el cruce peatonal actual, durante horas de la mañana y horas de la tarde.

El pre-diseño del túnel peatonal y todas sus condiciones arquitectónicas, estructurales y geotécnicas, se realiza a lo largo de todo el **capítulo 6**, allí se presentan decisiones y recomendaciones que no habrían sido posibles sin el desarrollo de los capítulos predecesores. Como **capítulo final** se realiza la ubicación de algunos puntos críticos en la ciudad de Bogotá, para los que se recomienda la implementación de un paso subterráneo, no sin antes realizar un pertinente estudio de viabilidad y factibilidad.

JUSTIFICACIÓN

Como estudiantes de ingeniería civil y aún más, **como frecuentes usuarios del transporte público** de la ciudad de Bogotá, hemos observado que existen semáforos que impiden el flujo constante de tráfico en vías con alto volumen vehicular; ocasionando represamientos y desconformidades en los habitantes. Hoy en día esta situación se ha convertido en una grave problemática para la ciudad y teniendo en cuenta que son muchas las variables que hacen deficiente la movilidad urbana, sé opto por dar una posible solución puntual y de alguna manera aportar en el mejoramiento de la movilidad en Bogotá.

Esta ciudad presenta una gran deficiencia en el desarrollo de infraestructura subterránea pública, tanto peatonal como vehicular. **El uso de semáforos y puentes peatonales sin ningún tipo de evaluación objetiva, hace que éstos sean ineficientes en algunos casos**; por lo que un estudio de viabilidad adecuado daría como solución un paso subterráneo para muchos cruces peatonales regulados y no regulados en la capital colombiana.

El cruce peatonal de la salida oriental de la estación de Transmilenio, Av. Jiménez, presenta **grandes dificultades de orden público y movilidad**, en el que los articulados de Transmilenio y los transeúntes interactúan de forma peligrosa durante sus recorridos. El actual cruce peatonal semaforizado no garantiza la seguridad vial del peatón, ni una eficiente movilidad de los articulados; es por ello, que **la presente investigación propone el reemplazo de los actuales semáforos peatonales, por el de un paso subterráneo**, que individualice los flujos peatonales y vehiculares y ofrezca seguridad y comodidad al peatón para atravesar la Cll. 13 o para ingresar a la estación Av. Jiménez.

OBJETIVOS

Generales:

- Evaluar la viabilidad de construir un túnel peatonal, que supere las funciones que cumple el actual paso de semáforos ubicado en la carrera 12 con Av. Jiménez,

Específicos:

- Exponer los aspectos que convierten en una necesidad, la construcción de un paso regulador deprimido en esta zona de la ciudad.
- Promover la evaluación de viabilidad en los pasos peatonales no regulados, para tener un diseño óptimo de paso peatonal que satisfaga las necesidades y brinde seguridad al peatón.
- Realizar el pre-diseño de un paso subterráneo que cumpla eficientemente con las necesidades de volumen y movimientos de peatones, así como con los requisitos mínimos estructurales y funcionales que permitan un adecuado funcionamiento
- Acoplar el pre-diseño del túnel peatonal al acceso del sistema de transporte Transmilenio.
- Ubicar algunos puntos de la ciudad de Bogotá, donde la solución más favorable, está en la sustitución del actual paso peatonal por un paso deprimido y para los cuales se puede utilizar la misma metodología de viabilidad de este proyecto.
- Pre-diseñar accesos adecuados, eficientes y funcionales para personas en condición de discapacidad.

MARCO REFERENCIAL

MARCO TEÓRICO

¿Qué es un túnel?

Consiste en una obra civil subterránea que tiene como función conectar dos extremos, evitando obstáculos naturales y artificiales para facilitar la comunicación entre dichos extremos. En la actualidad éstos representan una solución que reduce distancias y tiempos de recorrido en los diferentes medios de transporte, ofreciendo eficiencia y seguridad en la movilidad urbana. La sección transversal de un túnel varía según la necesidad para la que es construido y sus dimensiones dependen de la demanda proyectada para un periodo de tiempo determinado

La perforación de un túnel puede llevarse a cabo mediante excavaciones manuales o con asistencia de maquinaria especializada, sus diversos métodos de construcción dependen de estudios previos en los que se incluyen: caracterización de los suelos, interferencia con estructuras aledañas, entre otros.

Funciones principales de los túneles

Como principales funciones de los túneles se encuentran las siguientes:

- **Transporte tanto de personas o mercancías** mediante la construcción de intercomunicadores, carreteras y canales a desnivel, que funcionan para toda clase de vehículos de transporte como: ciclas, automóviles, ferrocarriles etc.
- **Transporte de diferentes clases de servicios** mediante canales de abastecimiento de agua, acueductos, sistemas de alcantarillado, conductos para cables de comunicación y energía.

Considerando otras funciones se encuentran: estacionamientos de coches, almacenamiento de materiales en depósitos subterráneos, estaciones subterráneas de energía, protección de personas y protección de fauna.

Túneles peatonales

Los túneles urbanos tienen como función dar un paso a desnivel deprimido a peatones y ciclistas, teniendo como objetivo ofrecer una atractiva alternativa al uso del subsuelo para atravesar una calle o conectar estructuras, **estos túneles se basan en diseños y especificaciones sencillas** y existen varios procedimientos de construcción habituales, uno de éstos es el denominado *cut and cover* o método de trinchera cubierta que normalmente es usado en túneles superficiales, para el desarrollo de este método es necesario que la avenida se encuentre también en construcción o en mantenimiento; puesto que este método requiere que no exista tránsito circulante. **En avenidas en donde existe gran caudal vehicular y son**

indispensables para la movilidad de un sector o una población, se requieren el uso de métodos diferentes al de trinchera abierta.

Megaw hace referencia de unas especificaciones mínimas de espacio para la construcción de túneles peatonales: *“Altura de piso a techo de aproximadamente 2.3 m, ancho libre para el paso de cuando menos 2 m, preferiblemente mayor, y pendientes moderadas que deben ser menores de un 10%. Donde sean aceptables los escalones, la pendiente puede ser tan pronunciada como 1 a 2 pero el ascenso total para cada tramo no deberá ser mayor de 3 m” [1].*

MARCO CONCEPTUAL

¿Por qué construir túneles peatonales?

La creación de los pasos peatonales subterráneos es considerada como un desarrollo urbano positivo, puesto que prima la condición de movilidad del peatón, dentro de este tópico es de suma importancia la seguridad vial y por tanto la calidad de vida del ciudadano.

Estos pasos son considerados la solución a los cruces viales de alto flujo. Cuando se habla de pasos peatonales; se hace referencia a cualquiera de los pasos a desnivel, como puentes, túneles, etc. Al realizar una comparación entre éstos, los pasos subterráneos tienen una alta ventaja para el peatón. **Estudios han demostrado que las personas o transeúntes, al utilizar cruces a desnivel, prefieren descender y luego subir;** como es el caso de un túnel, por el contrario para utilizar puentes peatonales en donde se asciende y luego se desciende, las personas muestran más disgusto y pereza.

“Este hecho incitó a usar más túneles que puentes peatonales, también influye el tiempo de recorrido para cruzar un puente peatonal y el tiempo para cruzar un túnel, en una prueba que se realizó en la ciudad de Bogotá D.C, se determinó que la velocidad promedio de circulación peatonal es de 1,36 m/s en los túneles y de 1,06 m/s en los puentes” [4].

Son varias las ciudades que optan por la construcción de túneles para disminuir algunos aspectos que afectan directamente al peatón durante su desplazamiento:

- **Menor accidentalidad vial para el peatón.**

Los puentes se han construido con el fin de brindarle seguridad a los peatones para cruzar calles o avenidas con gran cantidad de flujo vehicular, pero si se verifica la cantidad de peatones que le dan uso a éste, estaríamos llevando a los puentes como una opción y no como un paso obligatorio, puesto que existen diversos criterios para el transeúnte mencionados anteriormente, que hacen que el peatón prefiera cruzar avenidas a nivel exponiendo sus vidas.

- **Menor exposición a la intemperie**

El peatón que circula por el puente peatonal puede estar expuesto a la intemperie, mientras que en los túneles, éste puede resguardarse de la lluvia, además el peatón tampoco se expone a los gases expulsados por los vehículos.

Otro tipo de exposición son los cables de alta tensión que se encuentran a cortas distancias del puente peatonal.

- **Menor ocupación del espacio público**

“En Bogotá, el área construida para el acceso a los puentes varía entre 170 y 220 m², siendo que éstos están contruidos con escaleras mecánicas y rampas para facilitar el acceso a discapacitados. Si usamos los túneles peatonales disminuimos estas áreas que pertenecen al espacio público” [4].

Procesos constructivos

Existen dos grandes grupos de procedimientos constructivos en túneles para cualquier finalidad (vial, de servicio, peatonal) de los cuales se derivan innumerables métodos personalizados y específicos para las circunstancias de diseño:

- **Procesos constructivos a cielo abierto.**
- **Procesos constructivos subterráneos.**

Procesos constructivos a cielo abierto

- **Método *cut and cover***

(En español Corte y relleno). Consiste en efectuar un corte en el lugar que irá el túnel, colocar los soportes y placas que lo sostendrán y por ultimo rellenar con el mismo suelo excavado dejando el terreno en su estado original.

- **Método por pantallas**

Cuando no es posible una excavación pura a cielo abierto, es necesario emplear un sistema de contención previa como pantallas continuas u otras estructuras fijas. Este método se limita a diseños superficiales, obras subterráneas que no superen los 20 metros de profundidad, y usualmente es usado en túneles urbanos y estaciones superficiales, siendo una solución menos arriesgada y más económica.

Procesos constructivos subterráneos

- **Método inglés**

Es un método utilizado para túneles de pequeña sección transversal de 15 m² aproximadamente, este método también es conocido como “método de ataque a

plena sección”. La excavación se efectúa por franjas horizontales empezando desde la parte superior del túnel y dejando en sección de escalones el nivel intermedio e inferior, a medida que se van terminando las franjas, se colocan los pilares y la parte superior de la obra o bóveda. El apuntalamiento se efectúa en cada una de las franjas, es decir, la bóveda, la fase intermedia y la fase inferior.

- **Método Belga**

Se utiliza para terrenos de menor calidad, el área de la sección transversal es de 12m² aproximadamente, también es denominado “método de la galería de clave”. En este método se excava la parte superior del túnel y se reviste la bóveda rápidamente para proteger el resto de la excavación inferior, luego se excava la parte inferior y se continúa con el revestimiento de los muros laterales.

El apuntalamiento o apuntación se hace a medida que se avanza en la excavación de la bóveda mediante puntales radiales, este apuntalamiento se hace hasta que se ha endurecido el material con el que se hizo la obra.

- **Método Austriaco**

Se caracteriza por la excavación de una franja de pequeño ancho en el centro de la base del túnel y cuando se ha avanzado hasta determinada longitud, se sube mediante un pozo hasta la parte superior del túnel, luego se continúa perforando hacia ambas salidas del túnel, y después de que la parte superior sea perforada, se hace un procedimiento similar al método Belga.

- **Método Alemán**

Este método es utilizado en secciones transversales de gran área (Aproximadamente 50 m²), en éste se excava dos galerías de base laterales y se ensanchan para luego construir los muros del túnel, cuando el material utilizado está endurecido se excava en la parte superior central del túnel, dejando una terraza que es de gran utilidad para el apuntalamiento de la parte superior, después de que se ha construido la bóveda, se procede a remover la terraza y a construir la solera como en todos los procesos anteriores.

Procesos constructivos modernos

Existen diferentes procesos para la instalación de tubos o construcción de túneles que en la actualidad se están implementando, debido a su facilidad en operación, reducción en los plazos de ejecución e impacto social y ambiental, adicionalmente en escenarios donde su complejidad es derivada a una vía o cuerpos de agua, estos procesos independizan su operación de desarrollo con la operación o uso de la vía, es decir, estos procesos constructivos no intervienen con el uso habitual que se presente en la superficie, por lo tanto reduce las restricciones externas de tráfico.

A continuación se dan a conocer diferentes procesos que se pueden tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto por su método de operación y dimensiones proyectadas para el túnel peatonal en estudio:

- **Pipe Jacking (empuje de tubos)**

Esta técnica consiste en realizar la perforación por medio de tubos de acero que van penetrando el suelo en sentido horizontal con ayuda de un martillo neumático, una vez instalado el tubo se remueve el material de su interior y posteriormente se desaloja el material que permanece al interior del tubo metálico, para hacer eficaz este último procedimiento se utiliza aire comprimido o agua a presión.

- **Tunnel Liner**

Tunnel Liner es un sistema de protección en avance de perforación, que consiste en una estructura flexible de acero corrugado, compuesta por secciones que permiten el armado total en su interior.

Algunos de sus usos está en el revestimiento de estructuras de hormigón dañadas, revestimiento de túneles carreteros y ferroviarios, revestimiento de piques y pozos, pozos de acceso a minas, alcantarillas, desagües pluviales, pasos interiores para peatones, ganado, transporte de materiales y redes de servicios públicos, entre otros

Entre las ventajas que este método nos ofrece están:

- Evitar la destrucción de pavimentos y redes de servicios públicos
- No produce asentamientos de las calzadas o las vías
- Evita la construcción bajo zanja abierta y reduce los costos.

Figura 0.1. Tunnel Liner



Fuente: ASSET (2015).

- **TBM (Tunnel Boring Machine)**

Este proceso es uno de los más sistematizados y sofisticados para la construcción de túneles, consiste en una máquina excavadora llamada tuneladora para la cual

existen diversos tipos que depende del suelo a excavar y las condiciones del terreno.

Estas máquinas usan una cabeza giratoria equipada con elementos de corte, accionada por motores hidráulicos y a su vez alimentada por motores eléctricos, este tipo de técnica permite que el proceso sea netamente mecanizado, pues esta máquina se encarga de realizar la perforación y a medida que avanza instala un sistema de protección contra el terreno que puede ser provisional o fijo.

Figura 0.2. *Tuneladora*



Fuente: *Olivar, Enrique (2009).*

Como se mencionó anteriormente, existen diversos tipos de tuneladoras que son usadas teniendo en cuenta la tipología del suelo que se desea intervenir:

- Topos: Estas están diseñadas para penetrar rocas duras o medianas sin demasiadas necesidades de sostenimiento
- Topo para planos inclinados. Diseñados para excavar túneles con pendientes mayores de 10% y que han llegado al 50 %.
- Escudos. Estos están diseñados para excavar rocas o suelos blandos, terrenos donde es necesario colocar un sistema de estabilización, este sostenimiento normalmente consiste en anillos formados por unas 7 dovelas que menudo están preparadas para avanzar bajo el nivel freático.

- **Método Bernold**

Utilizado usualmente en suelos inestables, con el cual se obtiene un sostenimiento previo y durante la excavación por medio de láminas Bernold, soportadas sobre perfiles metálicos HEB. Las láminas y los perfiles también tienen la función de servir como encofrado y como armadura de la estructura en concreto.

El proceso convencional de este método consiste en avanzar de 1 a 3 m para posteriormente colocar los perfiles metálicos al contorno de la bóveda en las que se apoyarán las láminas de Bernold, Antes de avanzar en la excavación, se rellena con concreto el trasdós entre la lámina y posteriormente se refuerza el exterior con concreto lanzado.

Existe un proceso alterno llamado Escudo de Lanza, que consiste en penetrar el suelo con las láminas Bernold, con ayuda de maquinaria especializada como martillos mecánicos o gatos hidráulicos, formando un escudo para posteriormente realizar la excavación bajo éste, una vez excavado el terreno, se aplica el hormigonado. Este proceso se realiza en avances de 2 a 3 m

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. CINTAC. Tunnel Liner. 2009. http://www.cintac.cl/novedades/wp-content/uploads/2010/03/Cintac_Infraestructura_Vial_Ficha_Tunnel_Liner.pdf. [Consulta: 19 de Enero de 2017].
- [2]. HUARAYA MANZANO, ELVIZ. Maquinas tuneladoras o minadoras a sección completa. 2014. <http://es.slideshare.net/elvisshuarayamanzano/maquinas-tuneladoras-o-minadores-a-seccion-completa>. [Consulta: 19 de Enero de 2017].
- [3]. MEGAW, T. y Barlett J.V. Túneles. Planeación, diseño y construcción. Vol 1. México D.F.: LIMUSA S.A.,1997.
- [4]. PARDO, Y. C. Pre-diseño de un túnel peatonal en la carrera 13 con calle 51 en la ciudad de Bogotá D.C. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás, 2007.
- [5]. SZÉCHY, K. The art of Tunneling. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1973.
- [6]. URAZÁN BONELLS Carlos F.; TORRES PRADA, Adolfo C. y SÁNCHEZ COTTE, Édgar H. (2013). El rol de los pasos peatonales subterráneos como alternativa en los actuales esquemas de planeación urbana. En: Tecnura. Octubre-Diciembre de 2013. vol.17. no 38. p.97-108.

1. TÚNELES PEATONALES EN COLOMBIA Y EL MUNDO

1.1. TÚNELES PEATONALES DEL MUNDO

Durante la investigación que se ha realizado para el desarrollo de la presente sección, se observó que a medida que una ciudad o urbe avanza en la construcción y desarrollo de túneles y pasos subterráneos, **éstas desarrollan toda una red en el subsuelo semejante a una ciudad subterránea**, en donde se aprovecha y se optimiza el uso del suelo, se mejora y respeta el espacio público en la superficie; que a la vez disminuye la contaminación visual superficial y aún más importante, se aumenta la seguridad vial del peatón. Existe un factor muy importante en el avance de la infraestructura subterránea de una ciudad y es cuando ésta ha desarrollado un **metro subterráneo**. Las entradas y caminos en el subsuelo se hacen necesarios para el ingreso de peatones a dicho medio de transporte, **figura 1.1**, alimentando poco a poco la infraestructura subterránea.

Figura 1.1. Entrada al metro de Bilbao



Fuente: Google Maps, Street View (septiembre de 2015).

“En países que poseen estaciones o condiciones climáticas más extremas, las redes subterráneas facilitan el transporte, sirven como refugio para altas y bajas temperaturas o inclusive tormentas de arena, además; en estas ‘ciudades subterráneas’ se ha desarrollado todo un mundo turístico y comercial que llama la atención de extranjeros y visitantes”[11].

A continuación antes de exponer los túneles peatonales encontrados, se presenta algunos **ejemplos de ciudades subterráneas** en donde se observan todos estos usos y beneficios comunes.

- **Montreal**

En esta ciudad existe una red subterránea de túneles peatonales considerada como la red más grande del mundo, que **Consta de 32 km de pasadizos subterráneos** y se encuentran conectados con pequeñas tiendas, edificios, hoteles, oficinas, bancos, universidades, cines, salas de concierto, museos e incluso estaciones del

metro. “Conecta el 80% del espacio de oficinas y el 35% del espacio comercial del centro de la ciudad” [14]. Esta red de túneles fue renombrada como **résso**, un homónimo de la palabra francesa **résau**, que significa “red” y es también utilizada como alivio para los habitantes de Montreal en los fríos días de invierno.

- **Toronto**

Existe un gran complejo subterráneo llamado **Path** que se ha convertido en el **mayor centro comercial bajo tierra del mundo**. Posee 371.600 m² de área, 27 km de pasajes y 1.200 tiendas, además, une los edificios más importantes del centro de la ciudad. Toronto se considera realmente una ciudad subterránea puesto que día a día transitan 100 mil personas por sus pasajes subterráneos.

- **Sídney**

A esta ciudad se le ha otorgado un gran reconocimiento debido a sus grandes redes de centros comerciales subterráneos, que se ubican alrededor de la estación del metro *Town Hall*. El gran interés de estas construcciones subterráneas; es la comunicación entre éstos por medio de túneles peatonales, generando una red de comunicación entre los distintos centros comerciales. Los túneles van hacia el sur por el distrito cinematográfico de *George Street*, hacia el oeste debajo del Ayuntamiento y al norte por el centro comercial Pitt Street. La rama norte une el edificio Reina Victoria con las Galerías Victoria y el *Sídney Central Plaza*. La suma de este camino que une los diferentes centros comerciales es de 3 km.

1.1.1. Túnel peatonal del Pie de Greenwich

Ubicado en el costado oriental de la ciudad de London, el Túnel Peatonal de Greenwich (*Greenwich Foot Tunnel*, en inglés) atraviesa el río Támesis, conectando el *Royal Borough* de Greenwich con *The Island Gardens*; un parque ubicado en *Dogs Island*. **Este depresado peatonal se abrió en 1902 para el tránsito público, fue usado por gran cantidad de residentes para llegar a los muelles y astilleros de Londres, quienes se quejaban del costoso y arriesgado viaje en ferry.**

En ambos extremos del túnel existe una cúpula con ascensores que descienden a los peatones a una profundidad de aproximadamente 50 pies, tal como se muestra en la **figura 1.2**. Diseñado por el ingeniero Sir Alexander Binnie, **el túnel tiene una longitud de 270 m** y sus anillos de hierro fundido tienen un diámetro de 2,74 pies. Después de los bombardeos sufridos en Londres durante la segunda guerra mundial el extremo norte del túnel debió ser reparado y los ascensores han sido remodelados en varias ocasiones (1992 y 2012). Actualmente el túnel es una ruta muy común para los turistas que quieren llegar a Greenwich, la única manera de cruzarlo es a pie, por lo que las personas que llevan bicicleta deben bajarse de ella y llevarla caminando.

Figura 1.2. Entrada al túnel del Pie por el costado de Greenwich

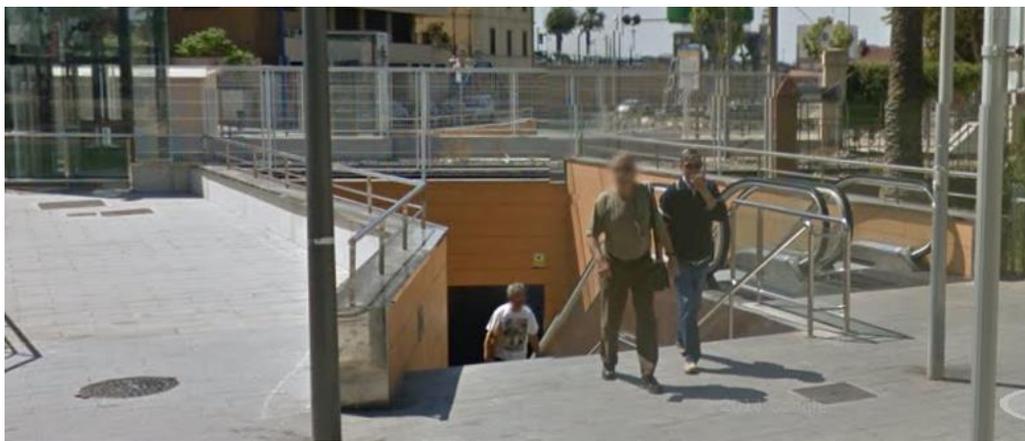


Fuente: Google Maps, Street View (noviembre de 2015).

1.1.2. Paso peatonal de la Plaza de los Carros en Tarragona

“El paso peatonal de Tarragona, España, que atraviesa las vías ferroviarias fue una **solución a las imprudencias de los peatones por intentar cruzar las vías**, eliminando un punto negro de accidentalidad y movilidad en la Plaza de los Carros” [1]. Cuenta con una longitud de 20 m y las dimensiones transversales son de 5 m x 3,2 m de altura, cuenta con escaleras convencionales y escaleras eléctricas para el uso peatonal, además cuenta con **ascensores en ambos extremos** para personas con discapacidad física, **figura 1.3**, permitiéndoles cruzar las vías ferroviarias a una profundidad de no más de 6 m entre plantas.

Figura 1.3. Entrada norte del paso peatonal de Tarragona



Fuente: Google Maps, Street View (octubre de 2015).

El proceso constructivo del túnel consistió en el **método de empuje**, las entradas para los peatones se dejaron a cielo abierto como se puede observar en la **figura**

1.3. Los alrededores de las entradas son sostenidos por un sistema de columnas de sección circular y el túnel consiste en un *Box Culvert* de concreto armado, prefabricado e instalado mediante dicho sistema de empuje.

1.1.3. Paso a desnivel del London's Tower

Inicialmente utilizado para el paso de coches tirados por cables y posteriormente para el de peatones, el paso a desnivel del *London's Tower* fue diseñado por el ingeniero Barlow, y construido por su discípulo Grathead. Tiene una longitud de 402 m y un diámetro de excavación revestido en hierro colado de 2,18 m, se construyó sobre arcilla a una profundidad de 19 m de la marea alta y a 7 m por debajo del lecho del río Támesis, **figura 1.4**. En 1940 éste fue dañado por un cráter producido por una bomba en la orilla de la marea baja, por lo que debió repararse aproximadamente 50 m de su longitud. Actualmente el túnel canaliza tuberías maestras de agua.

“La construcción de este paso a desnivel significó un avance en el campo de los túneles subacuáticos, la formidable construcción de este paso se llevó en 1869 utilizando pantallas de hierro forjado de 13 mm de espesor y 1,45 m de longitud, rigidizado con anillos de hierro colado, poseía además un diafragma ‘atiesador’ que iba siendo empujado hacia adelante por 6 gatos de tornillo” [2]. El revestimiento se colocaba anillo por anillo dentro de la parte trasera del escudo, el cual constaba de tres segmentos circulares y un corto segmento clave que se unían con bridas y pernos, debido al revestimiento trasero y los espacios de trabajo, el revestimiento de hierro no llenaba completamente el espacio hecho por la excavación, por lo que se inyectó cemento para minimizar el movimiento del terreno.

Figura 1.4. Río Támesis



Fuente: Sevilla, Alfredo (noviembre de 2014). El río Támesis que atraviesa Londres y que representó en muchos años una barrera para la población y su crecimiento, hoy en día es atravesado por gran variedad de pasos peatonales elevados y subterráneos.

La eficiencia del sistema de construcción del Paso a desnivel del London's Tower fue demostrada con un avance de 3 metros diarios, **siendo el primero en demostrar tantos procedimientos y complementos esenciales en la excavación con escudos de túneles en terrenos blandos.**

1.2. TÚNELES PEATONALES DE COLOMBIA

Colombia presenta una gran **deficiencia** en el desarrollo de infraestructura subterránea peatonal y de los pocos ejemplares de túneles peatonales existentes en el país, **no hay información técnica** o una base de datos en la que se pueda consultar dichas obras. Se intentó investigar información de contratos o informes de túneles peatonales en entidades como el INVIAS (Instituto Nacional de Vías), la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), el Ministerio de Transporte, la Sociedad de Ingenieros y otras entidades en las que no se obtuvo éxito durante la investigación, sin embargo, existe una **base de datos en el IDU** (Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá), muy útil para adquirir información acerca de cualquier clase de infraestructura en la capital colombiana y de la cual se adquirió información de múltiples obras peatonales subterráneas. Esta base de datos del IDU la complementa una importante base de datos nombrada "Bogotá Subterránea" desarrollada por el ingeniero Camilo Torres Prada, et al. En donde se encuentran las obras subterráneas existentes en la ciudad y la evolución que ésta ha tenido.

A pesar de esto, el crecimiento poblacional en la ciudad de Bogotá es uno de los principales parámetros por los cuales se debe poner en marcha la utilización del suelo subterráneo. Si se aprovecha el suelo subterráneo, se mejora la calidad de vida para los ciudadanos, pues de esta manera se reduce el impacto ambiental y adicionalmente se mantienen áreas superficiales prestando su uso; esta definición implica los parques de recreación, zonas verdes y algunas estructuras antiguas.

Una ciudad desarrollada debe tener en cuenta el desarrollo de un sistema para su buen funcionamiento dividido en 3 partes: Sistema superficial de la ciudad, sistema subterráneo y sistema geológico e hidrogeológico.

En cuanto a la historia de Bogotá, es muy poca la información existente acerca del uso del subsuelo, por esto el grupo autor de este documento creo una base datos para encontrar allí las obras que se han realizado a lo largo de los tiempos y que aun hacen parte de la Bogotá actual.

Esta ha sido la evolución de la ciudad con respecto a las estructuras subterráneas.

Al compararse la ciudad de Bogotá con otras ciudades del mundo que presentas semejanzas en cuanto a población, tipo de suelo algunos otros aspectos que hacen que esta ciudades crezcan velozmente, se puede evidenciar el retraso que tiene la

capital Colombiana en cuanto a la explotación de Subsuelo, pues hasta la década pasada la empresa Transmilenio empezó a implementar esta forma de desarrollo, construyendo vías, pasos peatonales, estaciones, estacionamientos, etc., pero aún no se ha llegado a tener complejos familiares, centros comerciales, culturales, recreacionales, y deportivos, que es lo que las otras ciudades comparadas han llegado a obtener.

“El desarrollo y bienestar de la ciudad están basados en la liberación de espacio en superficie, en unir la experiencia adquirida en la construcción de dicho espacio con la investigación, tecnología y desarrollo de la ingeniería, educándose así cada vez más con los resultados obtenidos” [8].

“La falta de formación técnica y profesional, la relativa poca investigación sobre el tema y la reducida experiencia en la construcción de infraestructura bajo superficie llevan a una falta de normatividad y de aspectos legales en cuanto a su adecuada construcción, factor que debe resolverse con anterioridad al establecimiento de políticas de expansión subterránea de la capital.” [8].

- **Red subterránea Av. Jiménez con Cra. 7° (Bogotá)**

Actualmente es de **uso exclusivo para actividades académicas** de la Facultad de Artes de la Universidad Distrital. El túnel ubicado en la Calle 13 entre carreras 7 y 7ª *“más que un simple paso peatonal, es también una compleja red subterránea que incluye salones de clases, teatros, pasillos vestíbulos, etc” [12].* Inicialmente esta red subterránea, **fue construida como una estación del tranvía de Bogotá**, que además albergaría restaurantes, boleras, billares y cafés.

En la **figura 1.5** se muestra la entrada al túnel por la calle 7ª, como se mencionó anteriormente estas entradas están cerradas al público, debido a que actualmente se encuentra de uso exclusivo para actividades académicas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá. Esta información fue obtenida mediante una conversación con uno de los guardas de seguridad, que se ubican en las estradas de la red subterránea.

Figura 1.5. Entrada por la calle 7ª a la Red subterránea de la Jiménez



Fuente: Elaboración propia (octubre de 2015).

- **Túnel de Popayán**

“Se encuentra localizado en la ciudad de Popayán, Cauca, entre carreras. 16-18 y calles 2-7 en el sector comercial de la esmeralda” [4], según las normas vigentes el paso peatonal debe **cumplir con un galibo de 2.3 m y rampas de acceso con una pendiente máxima del 8%**, además de estas condiciones también se encontraron las actividades consideradas para la construcción de este paso peatonal, siendo las siguientes:

- Replanteo topográfico.
- Demoliciones.
- Excavaciones a mano en material común.
- Excavaciones para fundaciones de la estructura.
- Construcción de redes eléctricas.
- Construcción del Deprimido peatonal [4].

- **Túnel de la Iglesia de San Diego (Bogotá)**

Este túnel ubicado en la carrera 7 con calle 26 comunica el Hotel Tequendama con la Iglesia de San Diego, actualmente se encuentra remodelado, ofreciendo un espacio de pasaje cultural y artístico con ambiente moderno. Las entradas al túnel

son mediante escaleras convencionales con dos entradas para cada costado del túnel tal como se muestra en la **figura 1.6**.

Figura 1.6. Escaleras de acceso al túnel Iglesia de San Diego



Fuente: Elaboración propia (marzo de 2016).

- **Túnel peatonal de la Cll. 12 con Cra. 10 (pasaje comercial, Bogotá)**

Siendo utilizado principalmente como un pasaje comercial, este túnel peatonal ubicado en el sector comercial de San Victorino de Bogotá, **figura 1.7**, tiene una longitud aproximada de 92 m y atraviesa la Cra. 10 a una profundidad de 2 m, conectando la plaza de San Victorino con la iglesia San Juan de Dios. Este túnel presenta una gran diferencia con respecto a los túneles peatonales comunes y es que la salida oriental del éste, se comunica directamente con el centro comercial, atrayendo compradores y transeúntes al sector económico.

Figura 1.7. Entrada por la plaza de San Victorino al pasaje comercial



Fuente: Elaboración propia (abril de 2016).

- Pasos de intersección de la Cra. 68 con Cll. 63 (Bogotá)

Figura 1.8. Entrada y salida del paso peatonal suroccidental de la Cra. 68 con Cll. 63



Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).* Los cuatro pasos peatonales convergen en un puente peatonal que ayuda a los transeúntes a cruzar de manera segura la Cra. 68.

Consiste en una serie de 4 pasos peatonales en forma de *Box Culvert* que atraviesan la glorieta de la calle 63 con carrera 68 y **se convierten en un puente peatonal** que se eleva sobre la carrera 68, tal como se muestra en la **figura 1.8**. Cada paso peatonal posee **un largo de aproximadamente 22 m**, convirtiéndose en una solución innovadora para el manejo de los grandes caudales de ciclistas y peatones que visitan el parque Salitre Mágico, o que asisten a los eventos realizados en el Parque Simón Bolívar.

- **Túnel de interconexión estación de Transmilenio Av. Jiménez (Bogotá)**

Conecta los vagones de la estación de la Av. Jiménez que se ubican sobre la Cll. 13 y la Av. Caracas, tiene 3 accesos que son mediante escaleras convencionales, también poseen sistemas de plataformas salva-escalera, tal como se muestra en la **figura 1.9**. Este sistema consiste en una base guiada por un riel que ayuda a las personas discapacitadas a subir por una escalera común.

Figura 1.9. Plataforma salva-escalera en una de la entradas del túnel de la estación Av. Jiménez



Fuente: Elaboración propia (abril de 2016).

- **Túnel de interconexión de la estación San Diego (Bogotá)**

Muy cercano al túnel de la rebeca... **numeral 1.2.1...** se encuentra un túnel de interconexión de vagones dentro de la estación de San Diego. El concepto del túnel es similar a todos los túneles encontrados en la **fase III de Transmilenio, figura 1.10**. Las entradas en ambos extremos al túnel están cubiertas por una marquesina en vidrio, estas entradas se conectan con un *Box Culvert* final que atraviesa la Cll. 24 y que tiene una longitud aproximada de 15 m.

Figura 1.10. Rampas de acceso a los vagones de la estación San Diego



Fuente: Elaboración propia (abril de 2016).

- **Túnel de interconexión entre las estaciones de Transmilenio; Universidades y Las Aguas (Bogotá)**

Es un deprimido peatonal ubicado en la Cll. 3 con Cll. 19 que conecta las estaciones anteriormente mencionadas, cuyas características generales son similares al túnel de interconexión de la estación de “Ricaurte” sus accesos son mediante rampas y cuenta con una iluminación que utiliza claraboyas, **figura 1.11**. Este deprimido atraviesa la Avenida 19 haciendo fácil y seguro el recorrido entre peatones de una estación a otra.

Figura 1. 11 Claraboya de iluminación del túnel de interconexión de la estación Las aguas



Fuente: Elaboración propia (abril de 2016).

- **Túnel aledaño a la antigua estación férrea de Gachancipá**

Se encuentra ubicado en el municipio de Gachancipá y atraviesa la carretera Bogotá-Tunja, en la **figura 1.12** se observa el acceso mediante rampas, el cual está presente en ambos costados,...en el **numeral 3.1.3.1...** se observa como este deprimido representa una mejor solución de paso peatonal en comparación con un puente peatonal ubicado a unos cuantos metros de dicho deprimido.

Figura 1.12. Entrada al deprimido peatonal de Gachancipá



Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Túnel de conexión Hotel *Blue Cove* al mar (San Andrés)**

El hotel llamado *Blue Cove*, ubicado en la isla de San Andrés, **figura 1.13** resolvió construir un túnel o deprimido peatonal con el fin de brindar seguridad a sus clientes. **Este túnel se proyectó de manera que el Hotel *Blue Cove* tuviese una comunicación constante con el mar**, cruzando una de las vías costeras de aproximados 13 m de longitud; por lo cual el paso peatonal proyectado tendría un recorrido de aproximadamente 15 m.

De llevarse a cabo el proyecto, éste se convertiría en un atractivo de lujo para clientes y turistas, representando un beneficio económico para el hotel, por tal razón la implementación del deprimido se convierte en la solución más conveniente a causa de los múltiples beneficios que ofrece la construcción de este tipo de infraestructura.

Figura 1.13. Ubicación túnel Hotel Blue Cove



Fuente: Google Earth (2015).

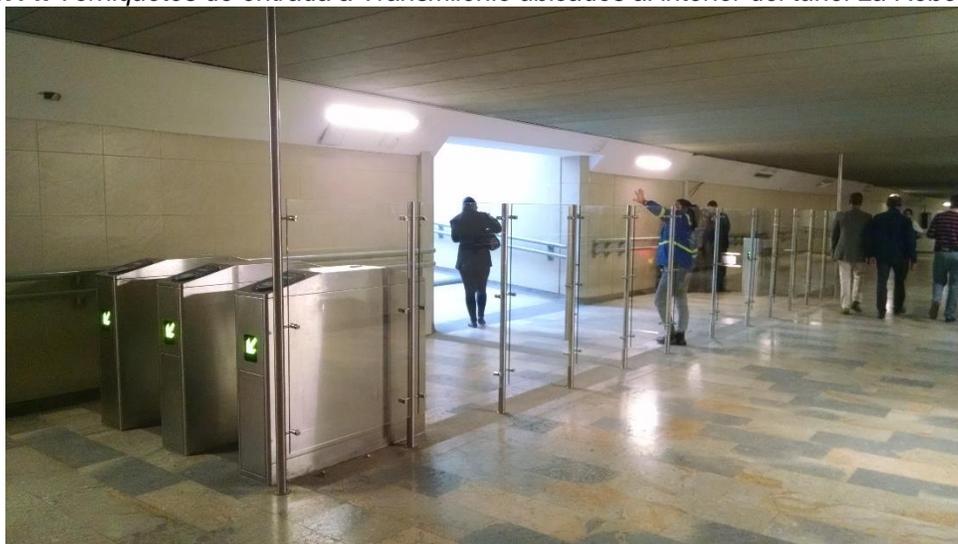
El túnel que se quiere construir está señalado en la figura anterior por un círculo. En cuanto a los procesos constructivos y estudios realizados para la construcción de este túnel; se desconocen debido a que este proyecto género un desacuerdo con la comunidad, que asegura que los contratistas que lo construyen no han fijado los avisos que exige la ley, en donde deben dar cuenta de sus especificaciones y licencias.

Para complementos argumentativos de esta tesis, se opta por dar a conocer cómo una entidad privada busca por medio de los túneles peatonales dar soluciones de bienestar y seguridad a sus usuarios, **sin importar los costos de inversión y su complejidad de diseño.**

1.2.1. Túnel La Rebeca, estación de Transmilenio San Diego (Bogotá)

Utilizado para acceder a la estación de San Diego que se ubica sobre la Cra. 10 con Cll. 25, el túnel de La Rebeca también atraviesa la cra.10 y la Cra. 13, tiene una longitud aproximada de 52 m desde el acceso oriental (Cra. 10° con Cll. 25) hasta los torniquetes de entrada al sistema Transmilenio. **La amplia sección transversal** en un túnel permite la implementación de torniquetes sin que se afecte la movilidad del peatón y cumple a cabalidad con la demanda de usuarios que maneja el sistema Transmilenio, situación que se evidencia en dicho túnel peatonal tal como se puede observar en la **figura 1.14.**

Figura 1.14. Torniquetes de entrada a Transmilenio ubicados al interior del túnel La Rebeca



Fuente: Elaboración propia (marzo de 2016).

Las dos estructuras de entrada (oriental y occidental) cuentan con un **sistema de dos plantas de pórticos en concreto y una cubierta metálica**, poseen fachadas en vidrio templado y los accesos son mediante **escaleras mecánicas y rampas** para personas con discapacidad; tal como se muestra en la **figura 1.15**.

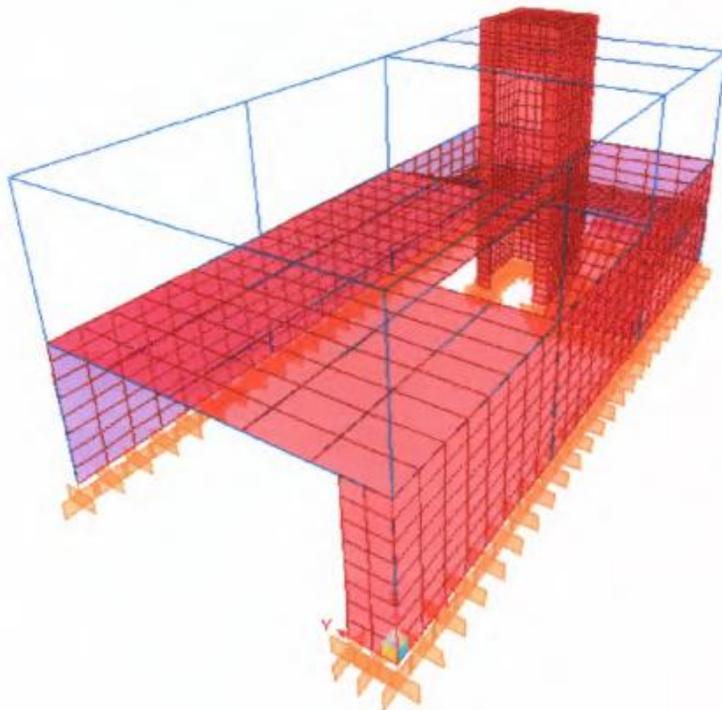
Figura 1.15. Estructuras de acceso al túnel La Rebeca



Fuente: Elaboración propia (marzo de 2016).

El acceso a la estación San Diego es mediante una rampa de uso mixto. Los elementos estructurales, apoyos y la forma básica de los accesos del túnel se muestran en la **figura 1.16**, donde además se muestra el modelado en 3D de las estructuras de acceso hechas en el programador SAP 2000, este tipo de accesos son de vital importancia, puesto que no excluyen el ingreso de personas de poca movilidad al túnel peatonal.

Figura 1.16. Modelo 3D de los accesos al túnel La Rebeca elaborado por el consultor



Fuente: *Consortio troncal 10 (2007)*. Las áreas en color rojo representan las placas de concreto de los accesos del túnel, éstas fueron diseñadas y evaluadas por el consultor.

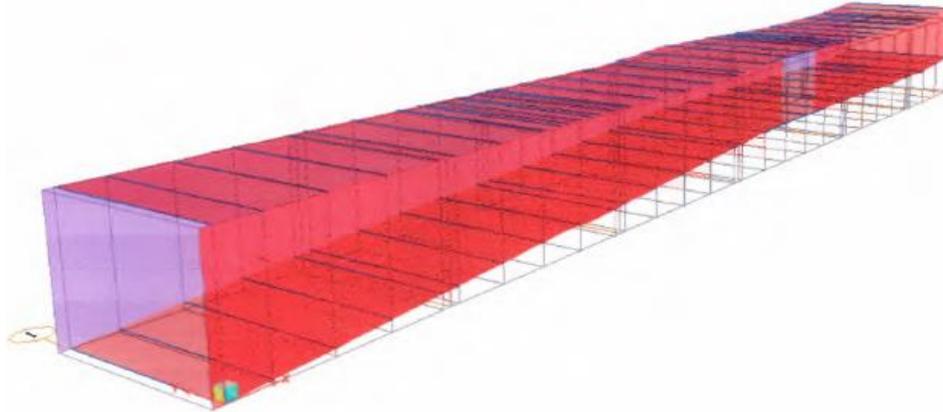
Para el diseño del túnel peatonal se optó por un **cajón estructural continuo con muros macizos** en el tablero y la losa de fondo; los espesores de este cajón se diseñaron de 0,2 m para la losa de fondo y 0,18 m para la losa superior, además, cada 2,0 m se ubicó **vigas de 0,6 m de espesor**.

- **El sistema de carga para el análisis estructural fue el siguiente:**
 - Carga muerta: correspondiente al peso de los materiales del sistema y el relleno de suelo, el cual fue avaluado en $1 t/m^2$
 - Carga viva de peatones: $0,45 t/m^2$
 - Carga viva vehicular: utilizando un “Camión de diseño C40-95”
 - Cargas por empuje lateral del relleno: con una densidad de relleno de $2,0 t/m^3$ y un $K_0 = 0,5$, también se utilizó una sobre altura en el empuje lateral de 0,7 m debido a tráfico peatonal. No se tuvo en cuenta el empuje lateral producido por el tránsito de vehículos.
 - Carga sísmica [6].

- **Materiales:**
 - “Tablero y vigas: Concreto $f'c = 280 kg/cm^2$.”
 - Losa de acceso: Concreto $f'c = 210 kg/cm^2$.”
 - Muros, Vigas y losa de fondo: Concreto $f'c = 210 kg/cm^2$.”
 - Limpieza: Concreto $f'c = 140 kg/cm^2$.”
 - Acero de refuerzo $f_y = 4200 kg/cm^2$ ” [6].

Durante la modelación en el programa de análisis estructural se hicieron **9 combinaciones y una envolvente con las cargas anteriormente mencionadas**, en la **figura 1.17** se muestra el esquema 3D del túnel y los elementos estructurales sobre los que fueron aplicadas las combinaciones de carga.

Figura 1.17. Modelo 3D del túnel La Rebeca elaborado por el consultor



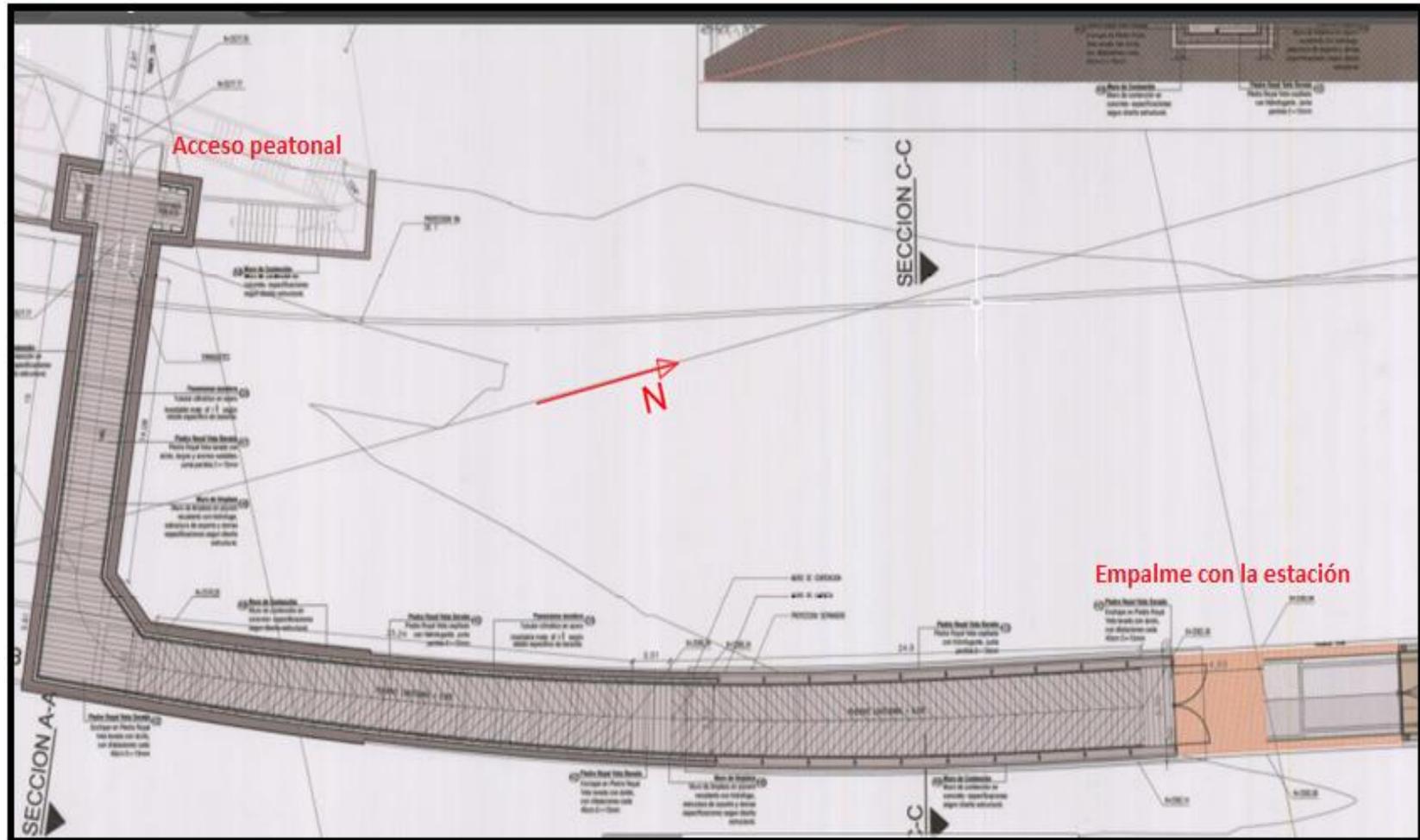
Fuente: *Consortio troncal 10 (2007).* En esta imagen se observa el cajón básico del túnel, base del diseño estructural.

1.2.2. Túnel sobre la Av. séptima con Cll. 94 (Bogotá)

Este es uno de los túneles que tiene proyectado la capital como **acceso peatonal para la futura estación de Transmilenio Cll. 94**, que formará parte de la troncal por la carrera 7, **figura 1.19**. La estructura proyectada para el acceso peatonal por el costado occidental a la estación de la Cll. 94 puede observarse en la **figura 1.18**, la cual muestra la vista en planta del túnel, su forma general, los accesos escalonados y en rampa.

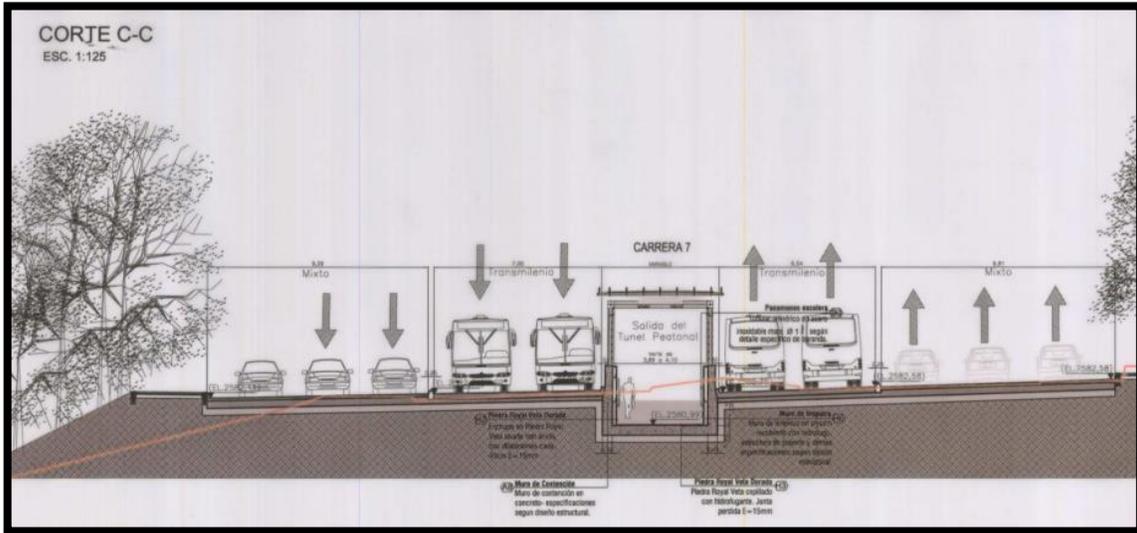
“El túnel está compuesto por dos sectores principales, el primer sector, compuesto por un paso transversal desde el parque Américo Vespucio, localizado en el talud occidental de la Carrera Séptima, hasta el separador central de la troncal” [5]. Con una longitud de 25,32 m que se suman a 13,94 m en el sentido sur norte y paralelo al eje del proyecto; ese sector consiste en una estructura convencional en los primeros 3,80 m y en un túnel cerrado con una sección interna estructural de 3,10 m de ancho por 2,70 m de altura. El segundo sector, está localizado también en el sentido sur - norte desde el punto donde termina el cajón cerrado, y se extiende por una longitud de 41,10 m. Con un ancho que varía desde 3,10 en el delta 3, hasta 4,10 m; este segundo sector de la estructura se encuentra abierto y será complementado en su parte superior con elementos translúcidos livianos, que conformarán la cubierta.

Figura 1.18. Sección del plano en planta del túnel peatonal CII. 94



Fuente: Consorcio troncal carrera séptima (2006). En esta imagen se puede observar las 2 secciones principales del túnel, sus accesos y empalmes con la futura estación de la 94.

Figura 1.19. Corte transversal del túnel de la Cll. 94



Fuente: Consorcio troncal carrera séptima (2006).

La estructura a lo largo del primer sector, hasta la primera mitad del segundo sector, tendrá dos **pantallas** de 0,50 m de espesor, mientras que el tramo final estará constituido por una estructura en **concreto convencional en forma de U**, con espesor de muros y losa de fondo de 0,40 m. El primer sector se complementará con dos losas y vigas transversales que conforman **la sección en cajón**, que van hasta el final del tramo, mientras el tramo del segundo sector se complementará con una losa de fondo y vigas transversales. La zona de acceso, está conformada por un cerramiento en muros de concreto reforzado, ubicada debajo de la losa de entrega al andén occidental de la troncal, sobre cuya cubierta llegan de un lado la rampa y del otro la escalera, la cuales se implantarán sobre el terreno y se delimitarán con muros de contención en concreto convencional reforzado, que confinarán el andén. **Este tipo de accesos mixtos representa una gran influencia en el diseño de las entradas del “Pre-diseño del túnel peatonal de la Cra. 12 con Cll. 13”.**

“Se hizo un análisis estructural de tipo **elástico** mediante el programa SAP 2000 que tendrá **cuatro tipos de modelos estructurales**; a). Sección cajón cerrado, b). Sección en “U” con pantallas, c). Sección en “U” en concreto convencional y d). Hall de entrada” [7]. Además, este análisis tuvo los siguientes datos de entrada:

- **Materiales:**
 - “Concreto $f'c= 21 \text{ MPa}$
 - Peso unitario del concreto $\gamma_c= 24 \text{ kN}$
 - Acero de refuerzo $f_y= 420 \text{ MPa}$.” [7].
- **Sistemas de carga:**
 - “D: Carga muerta proveniente del peso propio de la estructura.
 - L: Carga viva proveniente del camión de diseño (C40-95), carga viva de peatones
 - E: Carga debida a empujes de tierra

(Estas cargas tienen magnitudes diferentes para cada uno de los cuatro tipos de modelos estructurales mencionados anteriormente)” [7].

- **Combinaciones de carga:**

- “Secciones cerradas tipo Box culvert: $1.3D+2.7(L+I)+1.3E$
- Secciones en “U”: $1.3D+2.7(L+I)+1.7E$ ” [7].

1.2.3. Túnel peatonal de la estación de Ricaurte (Transmilenio)

El túnel peatonal de Ricaurte conecta los vagones de la estación Ricaurte de Transmilenio que se ubican sobre la Cll. 13 y la Av. NQS, es una de las interconexiones subterráneas con las que cuenta el sistema, **figura 1.20**. Los accesos a éste son mediante rampas ubicadas en los extremos que dan acceso a las estaciones de Transmilenio, también cuenta con un acceso de escalera mecánica y **rampa exclusiva para personas discapacitadas** ubicadas en la parte intermedia del túnel y que dirige hacia el puente de la NQS con calle 13.

La infraestructura del túnel cuenta con **iluminación mediante “Claraboyas”** que generan ahorro de energía durante las horas del día y en la noche la iluminación se realiza con un sistema de lámparas LED. Posee sistema contra incendios, atención de emergencias, atención al usuario, Biblioestación, baños públicos, ciclo-parqueaderos entre otros servicios útiles para la comunidad. Para obtener la siguiente información se investigaron los estudios de diseño, ensayos de materiales y planos hallados en el **Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)** el túnel peatonal del tramo de la Avenida NQS corresponde al **contrato 105** de 2003 del IDU”.

Descripción del suelo: el suelo encontrado en el área de construcción del túnel de Ricaurte y la estación de transferencia consiste en **4 estratos** representados de la siguiente manera en la **tabla 1.1**.

Tabla 1.1. Columna geotécnica túnel estación Ricaurte

Estrato	Profundidad (m)	Descripción
1	0,00 a 1,50/2,00	Relleno heterogéneo compuesto por gravas arenas, limos, arcillas, y escombros
2	de 1,50/2,00 a 5,00/8,50	Arcilla habana a gris, arenosa en algunos sectores, resistencia a corte entre 1,56 y 1,0 kg/cm ² resistencia a la compresión 0,7 kg/cm ²
3	de 5,00/8,50 a 9,00/12,00	Arcilla limos y/o limo arcilloso gris oscuro con turba resistencia al corte entre 0,75 y 2,0 kg/cm ² resistencia a la compresión entre 0,31 y 0,62 kg/cm ²
4	de 9,00/12,00 a 15,00	arena limosa y/o arcillosa gris con número de golpes N en el ensayo SPT entre 7 y 33

Fuente: Consorcio troncal carrera séptima (2006).

Con esta información y con los ensayos de laboratorio el ingeniero geotecnista hizo las **recomendaciones para la cimentación** de la estación de transferencia Ricaurte y el túnel de conexión.

Figura 1.20. Estación de transferencia Ricaurte



Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).* La estación de transferencia de Ricaurte además de conectar las trocales de Transmilenio F y E también proporciona variedad de servicios para los usuarios.

- Para la estación de transferencia se recomendaron varias **dimensiones para las zapatas ubicadas en cada columna**, estas secciones se obtienen según la transferencia de cargas recibidas del sistema estructural.
- *“El suelo de fundación se recubrió con **3 cm de concreto pobre**.”*
- *Las cargas verticales del túnel **se cimentaron mediante la losa de fondo** la cual se proyectó con base en un módulo de reacción del suelo de $K_s = 1.180 \text{ t/m}^2$ ” [3].*
- **Recomendaciones para la excavación del túnel:**
 - Se proyectaron **muros de pantalla** durante la excavación debido a los lentes granulares saturados.
 - Los cimientos de la estación de transferencia se llevaron a cabo luego de que la construcción del túnel estuviera completamente terminada, debido a razones de desconfinamiento.
 - La excavación se llevó a cabo por etapas de máximo 5 m de longitud dejando cortes verticales en la excavación y habiendo apuntalado previamente, antes de continuar con el siguiente tramo del túnel se verificaba que la solera del tramo anterior estuviera completamente fundida [3].

- **Sistema estructural:**

Para el diseño estructural se usó como apoyo el programa de modelación **SAP 2000** y se efectuaron 30 combinaciones de carga establecidas en la **Norma Sismo Resistente de 1998 NSR – 98** con lo que se separaron en los siguientes capítulos para el túnel y la estación de transferencia:

- *Evaluación general de cargas verticales*
- *Evaluación de áreas y centroides*
- *Evaluación de cargas de sismo*
- *Configuración geométrica del modelo*
- *Análisis estructural (Resultados de fuerzas en los elementos)*
- *Diseño de concreto (elementos tipo columna)*
- *Diseño de concreto (elementos tipo viga)*
- *Diseño de cimentación*
- *Análisis y diseño de elementos en acero estructural*
- *Diseño de detalles generales*
- *Análisis y diseño de muros de pantalla en túneles*
- *Diseño de ménsulas túneles*
- *Diseño de placas túneles [5].*

- **Proceso constructivo:**

El túnel de comunicación de Ricaurte tuvo un **procedimiento constructivo de corte y relleno** debido a que es un túnel superficial. A continuación se indican algunas recomendaciones hechas por los diseñadores para la construcción del túnel:

- El Proceso constructivo se llevó a cabo en 3 etapas. 1. (Primero) se fundieron las pantallas, se hizo el descabece a los 40 cm para reemplazar el concreto contaminado, se conformó el refuerzo de la viga cabezal. 2. (Segundo) se fundió la losa superior y los puntales del tramo. 3. (Tercero) retiro del material al interior de las secciones y fundición de la placa de fondo.
- Para la placa de fondo se excavaron tramos de 5 metros y se traslapó el refuerzo en forma alternada
- Al momento de armar el refuerzo de la pantalla se tuvo prevención con la ubicación de un tablón que se retiraba al momento de fundir la placa de fondo [3].

1.2.4. Paso peatonal subterráneo aledaño a la universidad javeriana

En la ciudad de Bogotá D.C. uno de los túneles subterráneos existentes es el paso peatonal de la Universidad Javeriana **figura 1.21**, consiste en un **Box Culvert**, de una celda al cual se accede a través de escaleras por ambos costados de la **Av. Séptima**.

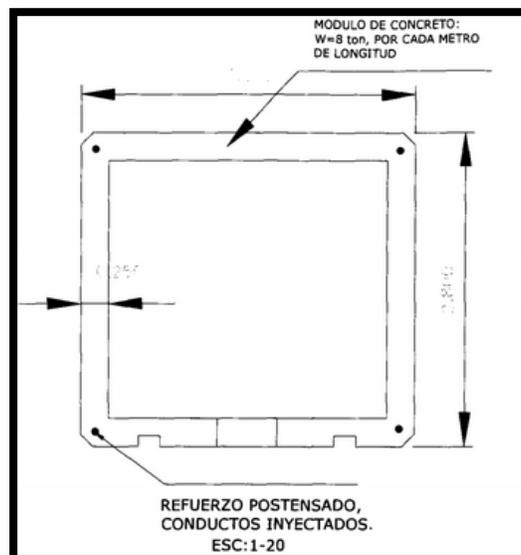
Figura 1.21. Interior del túnel aledaño a la Universidad Javeriana



Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).*

El paso cuenta con una zona central; la cual originalmente tenía carácter comercial pero que finalmente no ha sido habilitada para tal efecto. En base al artículo publicado por el Instituto de desarrollo urbano (IDU) y lo expresado por el Ingeniero Díaz Granados; se presenta a continuación unos esquemas típicos de las **secciones transversales** del paso peatonal. En principio se trata de un anillo de sección casi cuadrada en concreto prefabricado **figura 1.22** con **espesor de aproximadamente 25 cm.**

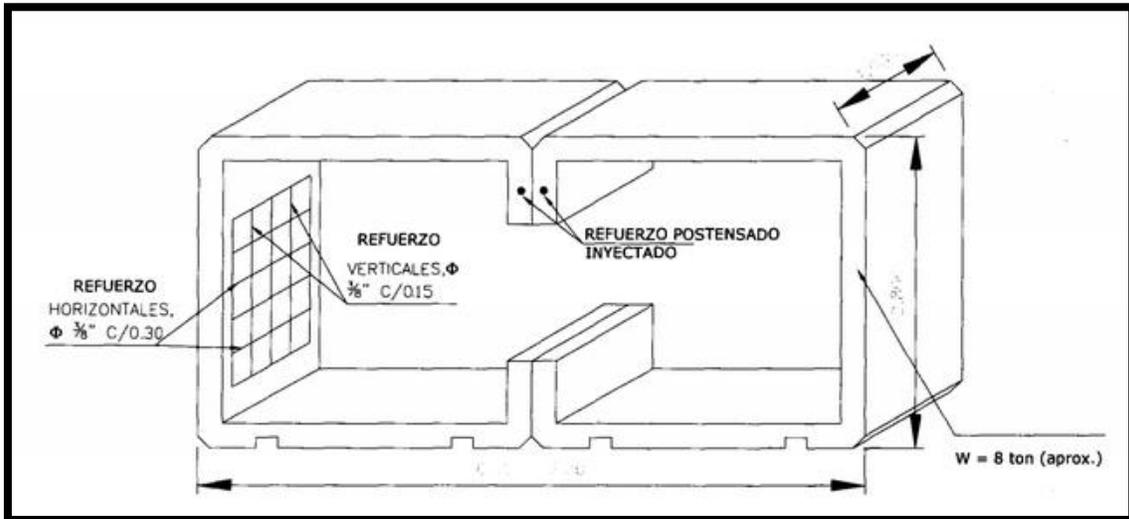
Figura 1.22. Sección transversal túnel Universidad Javeriana



Fuente: *Instituto de Desarrollo Urbano (1977).*

En la sección central del túnel se adosaron dos elementos típicos con abertura lateral, dando lugar al espacio interior que tiene el túnel para el área comercial; como se observa en la **figura 1.23**.

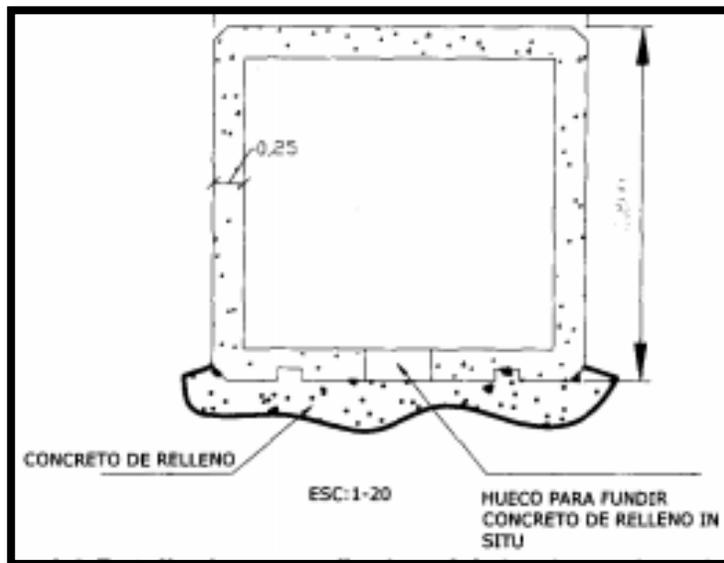
Figura 1.23. Sección transversal en locales del túnel aledaño a la Universidad Javeriana



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano, (1977).

Para el proceso constructivo se diseñaron unas **vigas de apoyo longitudinales**, que harían las veces de rieles sobre los cuales se colocarían los prefabricados. En estos elementos (de 1 m de longitud y 8 t de peso aproximadamente), se dejaron unas ventanas con el fin de fundir concreto bajo los elementos para que garantizara su adecuado contacto con el terreno, **figura 1.24**.

Figura 1.24. Detalle apoyo del túnel aledaño a la Universidad Javeriana



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano, (1977).

- **Sistemas estructurales procesos constructivos y estudios de suelos:**

Descripción del suelo: Los estudios de suelo y su estratigrafía final fueron definidas mediante **3 sondeos hechos** en el **extremo oriental**, el futuro **punto medio**, y el **extremo occidental** del túnel diseñado. Al reunir e interpolar todos los datos la estratigrafía resultante es la siguiente; **tabla 1.2**.

Tabla 1.2. *Estratigrafía túnel aledaño a la Universidad Javeriana*

Estrato	Profundidad (m)	Descripción
1	0,00 - 2,00/3,00	suelos principalmente granulares de relleno
2	2,00/3,00 - 4,00/7,00	Arcillas medias a duras
3	4,00/7,00 - 10,00	Arcillas duras a pre – consolidadas

Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (1977).

Recomendaciones para la cimentación:

Se construyeron pilotes perforados y fundidos en el sitio, además, **la construcción de éstos se realizó en horas de la noche** y ocupando un carril de tráfico a la vez. La separación de los pilotes dependerá de los siguientes factores:

- *“Las características de los suelos superficiales del perfil, los cuales permiten mayor o menor luz entre los pilotes.*
- *Las cargas estructurales laterales y verticales*
- *El costo del sistema al usar separaciones máximas por razones estructurales y estructurales auxiliares de retención” [10].*

Proceso constructivo:

- **Se construyeron vigas** cabezales por tramos de un carril **usando acelerantes** para poder habilitar dicho carril en pocas horas.
- Una vez construidas las vigas y pilotes, **se colocaron prefabricados** diseñados para soportar el tráfico.
- Construcción de sistemas de contención intermedios entre pilotes, las zonas bajo andenes se construirán a cielo abierto y con entibamiento lateral.
- Construir el techo del túnel que recibirá los esfuerzos axiales producidos por los pilotes, dejando vacío el espacio entre el tablero pre-fabricado que recibe los esfuerzos del tráfico y la losa del techo del túnel **[10]**.

- **Estimativo de esfuerzos para el sistema estructural:**

De acuerdo al sistema constructivo del túnel se realizaron los estudios para calcular las presiones efectuadas en todos los sentidos, incluyendo efectos dinámicos. Teniendo en cuenta un factor de impacto igual a 2; los estimativos de cargas totales, estáticas y dinámicas se reflejan de la siguiente forma de acuerdo a su ancho:

- Para ancho de 3 metros las cargas totales son 17,9 t/m
- Para un ancho de 7 metros las cargas totales son de 37,27 t/m
- Las presiones laterales teniendo en cuenta efectos dinámicos y las situaciones más críticas; están en el orden de $2,1 \text{ t/m}^2$, sin embargo esta presión es diferente para la zona oriental y para la zona occidental del túnel. Habrá presiones de tipo supresión e hinchamiento para las arcillas, cercanas a los 5 t/m^2 [10].

1.3. CONCLUSIONES

- El desarrollo de un metro subterráneo para la ciudad de Bogotá, representaría un impulso necesario en su infraestructura peatonal subterránea. Promovería la construcción de futuros pasajes y túneles peatonales, que conectarían las futuras estaciones del metro con otros sitios de interés en la ciudad.
- Las ciudades que en la actualidad cuentan con amplias redes subterráneas para sus habitantes; mejoran índices de seguridad vial del peatón, optimizan la movilidad e independizan los caudales vehiculares y peatonales. Adicionalmente, éstas redes sirven como refugio para situaciones climáticas extremas.
- La infraestructura peatonal subterránea no ha tenido una adecuada evolución en ninguna de las ciudades o urbes colombianas, el aprovechamiento del subsuelo en las capitales es muy escaso y éstas sufren las consecuencias de una creciente sobrepoblación; con la pérdida de espacio público y el cruce desorganizado entre vehículos y transeúntes.
- El tipo de proceso constructivo de un túnel peatonal, obedece a los tipos de suelo en el área de estudio y fundamentalmente a las necesidades que la población requiere en cada tipo de proyecto. Debido a la poca profundidad a las que dichos túneles están; la mayoría se construyen mediante procesos a cielo abierto, sin embargo, cuando existen avenidas de alto flujo que no pueden ser intervenidas parcial o completamente; es necesario la implementación de un proceso constructivo subterráneo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ADIF. ADIF Sala de prensa, <http://prensa.adif.es/ade/u08/gap/prensa.nsf/Vo000A/59E1EA55E74357C3C125787E00416812?Opendocument> [Consulta: 20 de Enero de 2016].
- [2]. BARLETT J.V. y MEGAW T.M. Túneles. Planeación, diseño y construcción. Mexico D.F.: Limusa Noriega Editores, 1998.
- [3]. CONSESIONES URBANAS S.A.. Túnel NQS Calle 13. Bogotá D.C.: IDU, 2003. Contrato IDU 105 de 2003.
- [4]. CONSORCIO ESTYMA-J.M.V.. Estudio, Diseño y Construcción del paso deprimido por Popayán. Popayán: 2009.
- [5]. CONSORCIO SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS, SILVA FAJARDO Y CÍA. LTDA. , SEDIC. Túnel NQS estación de integración Avenida Colón. Bogotá IDU:, 2003. Contrato IDU 147 de 2002.
- [6]. CONSORCIO TRONCAL 10 (La Vialidad LTDA, Civiltec LTDA). Túnel calle 25. Bogotá. IDU, 2007.
- [7]. CONSORCIO TRONCAL CARRERA SÉPTIMA. Diseños estructurales Túnel peatonal estación calle 94. Bogotá D.C.: IDU, 2007. Contrato IDU 25 de 2006.
- [8]. TORRES PRADA, Camilo. Evaluación comparativa de los pasos peatonales elevados y subterráneos para Bogotá. Artículo de investigación, Bogotá D.C.: Universidad de La Salle, 2007.
- [9]. ESPAÑA, 2. M. Ciudades bajo tierra. 2010. <http://listas.20minutos.es/lista/ciudades-bajo-tierra-construcciones-subterráneas-del-mundo-259448/>. [Consulta: 16 de Enero de 2016].
- [10]. Instituto de Desarrollo Urbano .Túnel peatonal sector carrera Séptima y Calle 41. Bogotá D.C.: IDU, 1977.
- [11]. KAISER, A. F. (2010). Los túneles de América. Obtenido de http://www.bibliotecapleyades.net/vida_alien/alien_faber05.htm. [Consulta: 16 de Enero de 2016].
- [12]. MORÁLES, Álvaro. (15 de octubre de 2015). Red subterránea de la Universidad Distrital. (Y. Bahamón Marín, & H. Bonilla Rincón, Entrevistadores)
- [13]. TERI. *Friends of Greenwich & Woolwich Foot Tunnels*. 2014. Obtenido de <http://fogwoft.com> [Consulta: 17 de Enero de 2014].
- [14]. Viajeros.com. Las ciudades subterráneas más fascinantes del mundo. 2008. <http://www.viajeros.com/articulos/974-las-ciudades-subterraneas-más-fascinantes-del-mundo>. [Consulta: 17 de Enero de 2016].

2. ACCIDENTALIDAD Y MOVILIDAD

2.1. ACCIDENTALIDAD

El 61% de los colombianos caminan frecuentemente por los andenes, calles aceras y caminos del país, aunque no todos son conscientes de su rol como peatones. Uno de los aspectos más importantes sobre **los peatones es que son los agentes más vulnerables en la accidentalidad en Colombia**, un porcentaje casi similar al de la accidentalidad de motociclistas y ciclistas; sus principales causas son los actos imprudentes cometidos por los transeúntes. En promedio, un colombiano argumenta diversas razones para caminar:

- Salud (43%)
- Ejercicio (27%)
- Cambio de rutina (9%)
- Bajar el estrés (6%)
- Economía (5%)
- Respirar aire puro (5%)
- Disfrutar el paisaje (3%)
- Relajarse (2%). [8]

A un 44% de los colombianos les agrada caminar mucho y sólo a un 5% les desagrada.

Según un estudio realizado por el Fondo de Prevención Vial, una de las instituciones más destacadas en el tema de la seguridad vial. **El tiempo promedio que un colombiano destina para caminar es de 69,2 minutos al día**, dividido en dos o tres trayectos. Según las encuestas realizadas en el mismo estudio, los factores negativos por los cuales los colombianos consideran no caminar son: factores climáticos y la posibilidad de ser víctima de un atraco.

A partir de este estudio se encuentra una alta incidencia en los actos incorrectos de los peatones, estos actos se consideran generados por el entorno como los son: el error de señalización, andenes de difícil circulación y lapsus generados por distracciones del peatón; como pasar con el semáforo en rojo, circular por zonas prohibidas, **no usar los puentes peatonales**, entre otros.

“Ante las normas presentadas por el Código de Tránsito Colombiano, los peatones se sienten desinformados sobre cuáles son las normas que deben cumplir, aparte argumentan no ver el control de la autoridad para castigar la infracción de las mismas” [3].

2.1.1. Accidentalidad en Bogotá

En cuanto a la accidentalidad en la Capital de Colombia **tabla 2.1**, son cifras dramáticas debido a que **en 11 años han muerto 6.724 personas** y casi 210.000 han resultado lesionadas en accidentes de tránsito: **Peatones (55%)**, motociclistas (17%), pasajeros (13%) y ciclistas (10%) son las principales víctimas fatales. Según la secretaría de Movilidad, las zonas donde más muertes de peatones se presentan

son: la carrera 10 entre calles 6 y 17 (es compleja, para los ciclistas) y la avenida Boyacá, en los sectores de Yomasa y Meissen.

Tabla 2.1. Cifras de accidentalidad en Bogotá

Fallecidos en las vías de Bogotá D.C.

Año	Ciclistas	Conductores	Motociclistas	Pasajeros	Peatones
2003	89	25	32	64	375
2004	77	24	54	107	364
2005	65	24	63	78	321
2006	54	26	82	76	261
2007	47	19	103	73	309
2008	34	21	103	57	321
2009	49	28	104	76	271
2010	43	15	110	65	295
2011	59	12	125	67	281
2012	48	24	135	68	296
2013	51	12	107	58	270
2014	56	10	144	74	322
2015	8	2	23	12	56
TOTAL	680	242	1185	875	3742

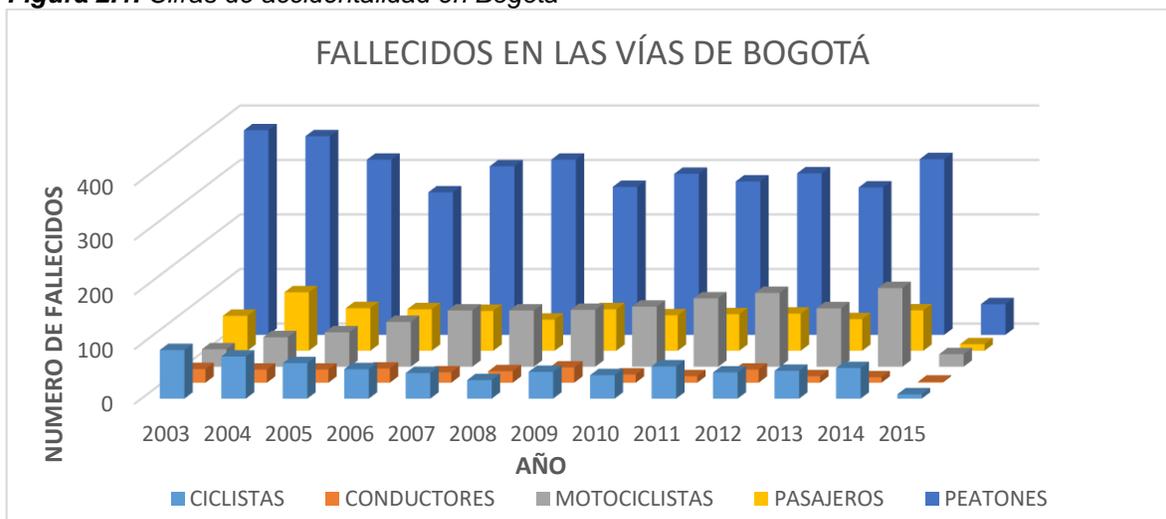
Fuente: Secretaría de movilidad (2014).

Para tener las cifras más exactas de accidentalidad en Bogotá se toman los datos generados a partir de estudios realizados por la Secretaría de Movilidad como se muestra en la **tabla 2.1**, donde se presentan los fallecidos en las vías de Bogotá en un periodo de 12 años, desde el año 2003 hasta el año 2015, teniendo en cuenta los ciclistas, conductores, pasajeros y peatones.

A partir de los datos en la **tabla 2.1**, se puede observar que los índices de accidentalidad más altos se presentan en los peatones, lo que representa una alta inseguridad para éstos en la ciudad de Bogotá, llegando a concluir que el **implementar túneles peatonales garantizaría la seguridad de los transeúntes y mejoraría la calidad de vida para los Bogotanos.**

En la **figura 2.1** se presentan los datos obtenidos de la Secretaría de Movilidad, para tener mejor interpretación de la diferencia del número de fallecidos en las vías entre: ciclistas, conductores, motociclistas, pasajeros y peatones.

Figura 2.1. Cifras de accidentalidad en Bogotá



Fuente: Secretaría de movilidad (2014).

Debido a la cifra alarmante que se presenta en los peatones y a que es el punto de estudio en el que profundiza este proyecto de grado, se realiza una comparación en el **figura 2.2**, en el cual se presenta la relación de peatones fallecidos en la vías respecto a los años de estudio. En el año 2015 se presenta un decaimiento de la cifra debido a que en este año los estudios se realizaron hasta el mes de Marzo.

Para las cifras que se presentan en general sobre los peatones fallecidos, se observa que la variación es inconclusa. Por lo que las causas de estos actos no se derivan en su totalidad de la infraestructura de la ciudad, **se puede considerar como principal causa de accidentalidad en Bogotá a la cultura ciudadana**; a través de los años la infraestructura de una ciudad siempre va mejorando para ofrecer seguridad y comodidad a sus usuarios, pero se debe concientizar a los usuarios en el adecuado uso de la nueva infraestructura.

Figura 2.2. Cifras de accidentalidad de pasajeros



Fuente: Secretaría de movilidad, (2014).

En cuanto a las causas de los accidentes hay muchas variables: **el comportamiento de los ciudadanos, la infraestructura, la señalización y el control de las autoridades de tránsito.** En todas hay que trabajar para disminuir las estadísticas. Para Bohórquez Avendaño, la ciudad ha avanzado en entender que debe cambiar el modo de movilizarse y que existe un plan maestro de movilidad que busca desincentivar el uso del vehículo para promover medios alternativos como la **bicicleta**. Sin embargo, dice que falta mucho en educación y formación alrededor de la seguridad vial. Trabajar la fiscalización en las vías con la Policía de Tránsito y la pacificación del tránsito en las vías locales y zonas residenciales, ya que cuando hay un accidente de tránsito a 30 km/h, la probabilidad de sobrevivir es casi del 80%, pero en cuanto mayor sea esa velocidad la probabilidad disminuye.

Se debe entender mejor que el diseño de las ciudades no debe estar enfocado en el vehículo, sino en el peatón y el ciclista como actores vulnerables. Al igual que a los administradores de una urbe, a la población también se le debe concientizar en que el privilegio de la movilidad está en el peatón y no en el vehículo. Bogotá no está mal, pero nuestra meta es llegar a cero muertos en accidentes de tránsito. Aunque el error humano se presente, hay que mirar la seguridad vial con un rechazo total de muertos y lesiones en accidentes [2].

Hoy en día el anterior aporte o comentario de Bohórquez se ha estado implementando en la ciudad, donde se le ha dado una mayor importancia al peatón, seguido del ciclista, el transporte público y por último el transporte en carro particular, construyendo en diferentes partes de la ciudad ciclo rutas y disminuyendo los carriles viales, como ejemplo están: la Carrera 50; La Carrera 7 en su tramo desde la plaza de Bolívar hasta la calle 26, que se convirtió de uso exclusivo para peatones; de esta manera se le ofrece al peatón o ciclista mayor seguridad y bienestar al momento de movilizarse.

Un artículo del periódico El Tiempo presenta el peligro de ser peatón en Bogotá, donde se expone que la mayor parte de la accidentalidad se relaciona con la imprudencia y el no acatamiento de la señalización. Se presume que **la mayoría de casos se presentaron**, en primer lugar, por **cruzar sin observar (93 casos)**, por **no utilizar pasos peatonales (40 casos)** y por **transitar entre vehículos (23 casos)**. Hacia el mediodía ocurre la mayor actividad por parte de trabajadores y estudiantes que van a almorzar y hacer otras actividades, lo que demuestra que los días en que ocurre mayor cantidad de atropellos son los sábados, seguido por los viernes y jueves, y la hora en que se presenta el mayor número de accidentes con peatones, es entre las 5 y las 7 a.m. (652 eventos), entre 12 m. y 2 p.m. (588) y entre 7 y 9 p.m. con 553 incidente.

Mediante este artículo se da a conocer las principales causas de accidentalidad en peatones, las cuales se derivan de la imprudencia y desacato de normas por parte de los ciudadanos, por lo cual se debe buscar soluciones inmediatas a estos problemas; una opción es implementar capacitaciones por parte de alcaldía o entes gubernamentales para concientizar al ciudadano a dar el buen uso a la

infraestructura peatonal y a los reglamentos establecidos. La mayor **accidentalidad** en la ciudad de Bogotá se presenta en el occidente de la ciudad; con una **gran concentración en Kennedy**. Según un estudio realizado por el Fondo de Prevención Vial, como se puede observar en la **tabla 2.2**, el mayor número de heridos y muertos se presenta en la Avenida 1° de Mayo y la Avenida Boyacá, lo que refiere a la localidad de Kennedy.

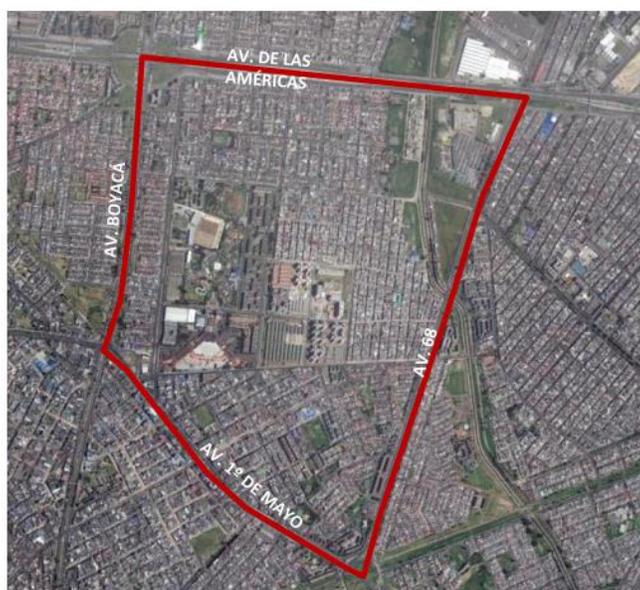
Tabla 2.2. Cantidad de heridos y muertos en los puntos más críticos de Bogotá

Cantidad de heridos y muertos en los puntos más críticos de la ciudad de Bogotá				
N°	Puntos críticos Bogotá	HERIDOS	MUERTOS	EQUIVALENTES
1	Avenida 1° de Mayo y Avenida Boyacá	69	7	187,5
2	Avenida Carrera 68 y Calle 13	43	2	88,5
3	Avenida Boyacá y Calle 72	30	3	81
4	Avenida Boyacá y Avenida Calle 13	16	2	48
5	Avenida Ciudad de Cali y avenida de las Américas (Tintal)	19	1	40,5
SUMA		177	15	445,5

Fuente: Fondo de Seguridad Vial (2014).

De acuerdo con el estudio realizado por **El Fondo de Prevención Vial**, se selecciona un cuadrante para determinar los puntos más críticos en cuanto a accidentalidad, comprendido entre la Avenida de las Américas al norte, la Avenida 1° de Mayo al sur, la Avenida Boyacá al occidente y la Avenida 68 al oriente, como se muestra en la **figura 2.3**.

Figura 2.3. Georreferenciación del cuadrante crítico en la ciudad de Bogotá

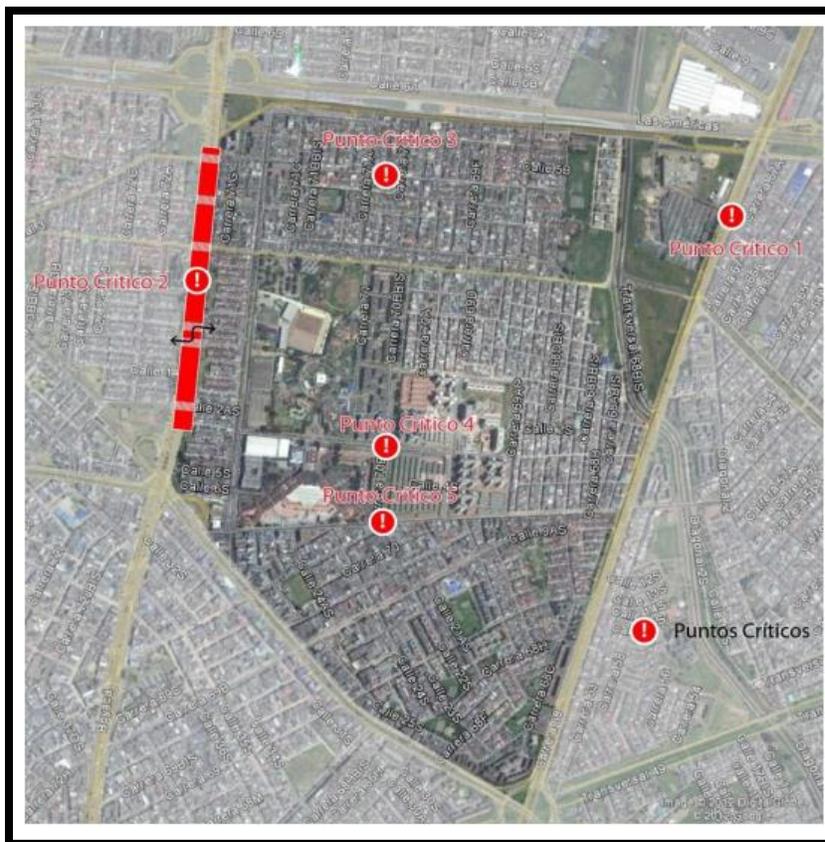


Fuente: Fondo de Seguridad Vial (2014).

Después de seleccionar el cuadrante se determinan los puntos más críticos de accidentalidad, los cuales se identifican en la **figura 2.4** y se enumeran a continuación:

1. Avenida Carrera 68 con Calle 4d. Vías arteriales carentes de pasos peatonales adecuados y espacio público deteriorado e inseguro.
2. Avenida Boyacá entre Calle 5ª y Calle 1ª Sur. Vía arterial de alto impacto sobre zonas de vivienda.
3. Carrera 70b con Calle 5ª. Vía local con flujo peatonal escolar, circulación de vehículos a velocidades altas.
4. Carrera 70b con Calle 3 Sur. Intersección de vías secundarias en contraposición a un alto flujo peatonal.
5. Carrera 70b con Calle 8 Sur. Vías secundarias con diferentes sentidos viales y con prioridad al vehículo motorizado.[5]

Figura 2.4. Ubicación de los puntos críticos en el cuadrante de estudio



Fuente: Fondo de Seguridad Vial (2014).

Por medio de este estudio se identifican los puntos más críticos de la ciudad en cuanto a accidentalidad de peatones; el presente proyecto contiene en uno de sus capítulos finales, **la presentación de algunos puntos críticos en los que se puede implementar un pre-diseño similar al que se realizará en la Plaza de San Victorino**, por lo que es de vital importancia que la secretaría de movilidad ubique

algunos de estos puntos críticos dentro del cuadrante de la figura 2.4 para estudiar la implementación del paso peatonal con mayor eficiencia. Sin embargo dentro del análisis que realiza la entidad sobre estos puntos críticos, se determina que el común entre éstos, es el alto flujo vehicular y la falta de pasos peatonales, por lo que se concluye que el túnel peatonal es una gran solución a estos problemas, ya que permite el paso de los transeúntes con comodidad y seguridad, sin obstaculizar el flujo vehicular.

Según la revista **Bogotá** por medio de un artículo con el nombre **Accidentalidad de peatones (2007)**, en el que se realizó un estudio para resumir la cifra de atropellados en la ciudad, y con estos resultados determinar diferentes razones que identifiquen el riesgo de los peatones. Se arrojaron resultados como:

- En promedio hay 1 muerto cada 14 horas.
- En promedio hay 1 herido cada 83 minutos.

Se analizó que más de la mitad de los atropellados se presenta en sectores residenciales y una tercera parte en sectores comerciales como se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5. Porcentaje de atropellados según el sector urbano



Fuente: Revista Bogotá. *Accidentalidad de peatones (1997)*.

Con relación a los datos mencionados anteriormente, es indispensable conocer que en los sectores residenciales y comerciales se presenta el mayor número de atropellados; por lo que el pre-diseño del túnel peatonal en un sector de alta demanda comercial como lo es la Av. Jiménez con Cra 12, representaría una solución óptima para la seguridad vial del peatón. Adicionalmente existen otros puntos estratégicos residenciales, donde se pueden implementar este tipo de infraestructuras.

2.2. MOVILIDAD EN BOGOTÁ

La movilidad en Bogotá es una de las principales problemáticas que tiene la ciudad en su diario vivir. **La idea de construir túneles peatonales y reemplazarlos por los semáforos peatonales actuales, es también una solución a la movilidad;** existen varios puntos en la ciudad donde se instalaron semáforos peatonales con el motivo de brindar seguridad al peatón, pero no se tuvo en cuenta que esto afectaría la movilidad en sus tiempos de desplazamiento y represamiento en horas pico, haciendo que los usuarios de transporte público y vehículos particulares se muestren inconformes. A continuación, se dan a conocer diferentes variables que hacen que la movilidad en Bogotá no sea la mejor.

Empezando por el servicio público; este sistema presenta varias fallas en las cuales se encuentran la falta de información sobre paraderos y rutas del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), el aumento incontrolable de usuarios en el sistema Transmilenio como se muestra en la **figura 2.7**. La falta de cultura por parte de los usuarios en el Sistema Integrado de Transporte Masivo y si se habla de la congestión vehicular en Bogotá, el **SITP** hace que cada día sea más insoportable. El problema es a cualquier hora y en cualquier lugar de la ciudad, pues prácticamente todas las vías permanecen con alto flujo vehicular, **figura 2.6**. Desplazarse de un lugar a otro en Bogotá es toda una odisea, un recorrido que por su distancia no debería demorar más de media hora termina convirtiéndose en una travesía de una o dos horas.

Por otra parte analizando esta problemática, también está afectando el medio ambiente, afecta progresivamente la calidad del aire, la salud y el tiempo de todos los habitantes de nuestra capital. Según estudios del (Fondo para la Población de las Naciones Unidas) FNUP, los tiempos promedio más altos de viajes al trabajo son el de Río de Janeiro, con 107 minutos y el de Bogotá, con 90 minutos.

Figura 2.6. Movilidad de Bogotá en horas pico



Fuente: Montaña, Alejandro (2013).

Millones de personas se debilitan a diario y hacen que Bogotá pierda oportunidades de progreso debido a que emplean más tiempo en llegar a sus destinos, a causa del desorden en el tráfico, a los huecos, a la **anarquía del transporte público** y a la insuficiencia de vías para que los 700.000 vehículos que cada día salen a las calles se queden atrapados en medio del trancón. La movilidad también ha disminuido crecientemente y aún más para el usuario de transporte público. Esto se debe en gran medida a que las rutas de transporte circulan por las vías arteriales de más alto flujo, precisamente las más afligidas por la congestión vehicular. El fenómeno de congestión también se refleja en el tiempo de espera de los usuarios en las estaciones de Transmilenio, especialmente en horas pico **figura 2.7**, los articulados pese al poco tiempo que llevan operando ya no dan abasto y poco a poco la gente se va quedando sin alternativas diferentes al Transmilenio, pues las rutas de buses corrientes no las dejan circular por dónde van los articulados.

Al conocer las diferentes causas que hacen que la ciudad de Bogotá presente problemas en cuanto a movilidad, se quiere resaltar una de éstas, que puede ser solucionada con la construcción de túneles peatonales; es “el tiempo de recorrido de los buses articulados de Transmilenio”, pues bien se sabe que los articulados tienen carriles preferenciales para tener un menor tiempo de recorrido, pero se han analizado diferentes puntos donde estos buses tienen que hacer varias paradas por motivo de los semáforos peatonales, **un ejemplo es la Calle 13 con Carrera 12**, en este punto de la ciudad existe un retorno para las rutas que vienen en sentido occidente oriente y toman la Av. Caracas, precisamente antes y después del retorno, los buses se ven obligados a realizar doble parada para permitir el paso peatonal que autoriza el semáforo, de esta manera afecta el tiempo de recorrido de estos articulados.

Figura 2.7. Incremento de usuarios en el sistema Transmilenio

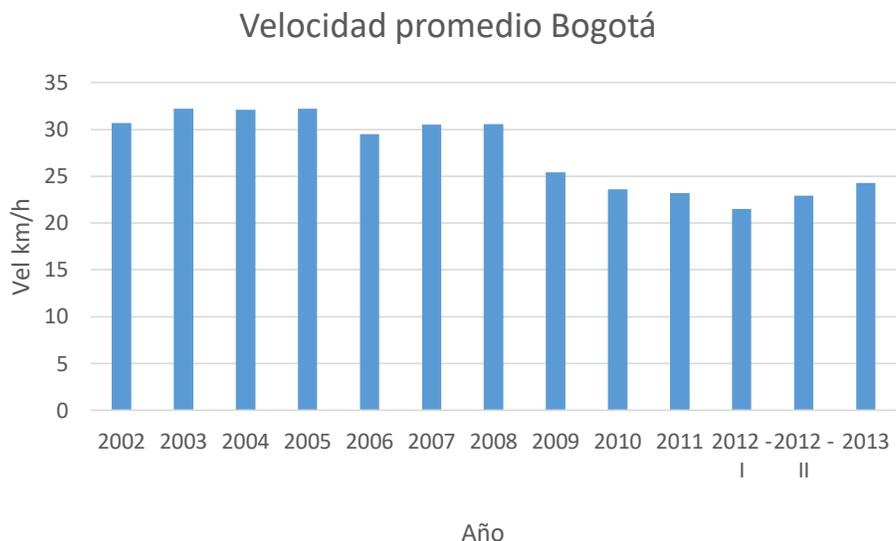


Fuente: Revista Semana (2015).

2.2.1. Velocidad promedio en Bogotá

Entre los objetivos de este proyecto; está la seguridad y comodidad del peatón, pero se debe tener en cuenta que la solución de construir túneles peatonales no sólo beneficiará a estas personas que circulan por los sectores, si no también beneficiará a los conductores que transitan por estas vías, debido a que se sustituirán los semáforos peatonales que hacen que el tráfico sea más lento e incómodo para muchos usuarios, por tal razón se dan a conocer las velocidades promedio de la ciudad de Bogotá, con la intención de conocerlas y que éstas sean mejores a partir de la construcción de los túneles peatonales **figura 2.8**. Se estima una **velocidad actual** promedio de aproximadamente 23 km/h, pero existen vías de alto tráfico donde la velocidad promedio disminuye a casi la mitad, especialmente para el transporte público. Las vías que son consideradas más lentas de la ciudad son las carreras 11 y 15. En estas vías los buses se desplazan a 11,7 km/h, los taxistas a 14,2 km/h y los carros particulares a 14,1 km/h.

Figura 2.8. Velocidad promedio anual de Bogotá (2002-2013)



Fuente: Secretaría de Movilidad (2014).

Otra de las vías de menor velocidad promedio es la calle 19; en esta arteria de la ciudad los buses no alcanzan los 12,3 km/h, los taxistas 14,7 km/h y los automóviles particulares 15,7 km/h. Según la secretaria de movilidad que realizó un monitoreo en 23 corredores principales de la ciudad, los buses son los que se llevan la peor parte al momento de movilizarse por la ciudad. De las 23 vías arterias, 16 tienen una velocidad por debajo de los 23 km/h, y de éstas, 9 están por debajo de 20 km/h. Por otra parte los automóviles particulares y los taxis, en 17 de las 23 arterias, la velocidad para estos vehículos está por encima de 30 km/h, en la avenida Circunvalar, la Auto norte y las avenidas Caracas y Boyacá.

2.3. CONCLUSIONES

- Las cifras de accidentes fatales sufridos por peatones, revelan la necesidad de implementar pasos a desnivel que aseguren a los transeúntes durante sus recorridos. Los pasos peatonales deben ser diseñados de tal manera que los ciudadanos prefieran usarlos de manera adecuada, en vez de arriesgar sus vidas de manera imprudente.
- Todos los autores coinciden que la planeación distrital de una ciudad, debe tener en primera instancia como agente primordial; a los peatones, es decir, el desarrollo de la infraestructura urbana debe estar ligado al aumento en las garantías de las personas o peatones vulnerables.
- En cada localidad de la ciudad de Bogotá existen cuadrantes críticos en los que se concentran gran cantidad de accidentes peatonales. Es de vital importancia que el gobierno de la ciudad realice estudios de viabilidad, para determinar el paso peatonal más efectivo en los puntos donde se presenta el mayor número de siniestros.
- Para la implementación de pasos peatonales en vías troncales con velocidades promedio lentas, es necesario que éste sea un paso a desnivel en donde no se interrumpa el tránsito de vehículos, adicionalmente estos pasos pueden reemplazar los semáforos netamente peatonales ya existentes en las avenidas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. CICLO BR. la movilidad en Bogotá una verdadera pesadilla. Bogotá: Banco de la República de Colombia, 2008.
- [2]. Correa, A. M. (23 de Enero de 2016). EL ESPECTADOR.
- [3]. REDACCIÓN BOGOTÁ. Bogotá se mueve a 23 km por hora, aunque hay vías más lentas. En: El Tiempo. Bogotá D.C. 23 de Octubre de 2011.
- [4]. EL TIEMPO. El peligro de ser peatón en Bogotá. 2014. <http://www.eltiempo.com/bogotá/peatones-y-accidentes-de-transito-en-bogotá/14702783> [Consulta: 5 de Febrero de 2014]
- [5]. FONDO DE PREVENCIÓN VIAL. Estudios de Seguridad Vial y Análisis de puntos críticos para peatones y bicicletas. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2014
- [6]. MOLINA, E. S. Accidentalidad de peatones en Bogotá. Revista Bogotá "*accidentalidad de peatones*", Bogotá:(1997). p. 12.
- [7]. CABRERA, Ana; FORERO, Diego y GONZÁLEZ, Juana. Principales problemas de movilidad en Bogotá. 2014. <http://movilidadbogotana.blogspot.com.co/p/principales-problemas-del-transporte-en.html>. [Consulta: 6 de Febrero de 2016].
- [8]. RUEDA FRANCO, Jorge Mario. ¿Cómo actúan los peatones en Colombia?. <http://www.sura.com/blogs/autos/como-actuan-peatones-colombia.aspx> [Consulta: 6 e Febrero de 2014].

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES PASOS PEATONALES

Como bien da a entender el nombre del presente capítulo, se hará un análisis de comparación entre los diferentes pasos peatonales (**“Cebra”, semáforo peatonal, puente peatonal, túnel peatonal**), la comparación consta de un **análisis general** y un **análisis puntual en la carrera 12 con Av. Jiménez**, en aspectos económicos, ambientales, culturales, etc. ambas comparaciones contarán con una encuesta a peatones respecto a diferentes ítems de ventajas y desventajas de los pasos peatonales conocidos.

Aunque se ha venido realizando un énfasis en las ventajas y en el aprovechamiento de espacio público que tienen los túneles peatonales, es indispensable **evaluar el recibimiento por parte de los peatones** y analizar todas las desventajas que tendría la construcción de un túnel peatonal.

3.1. COMPARACIÓN GENERAL

3.1.1. Inversión económica

El factor económico en el desarrollo de un proyecto es tal vez el factor más importante dentro de un estudio de factibilidad, si bien son más factibles las soluciones más económicas; **un proyecto que requiere una inversión del presupuesto de una ciudad, deberá sustentar la importancia y necesidad de dicha inversión con la solución de problemas urbanos, técnicos, ambientales, culturales, etc.** A continuación se comparan los **costos directos (EN PESOS COLOMBIANOS)** que resultan de la construcción o desarrollo de cada paso peatonal.

3.1.1.1. Inversión inicial

- **Paso peatonal “Cebra”**

El paso peatonal por medio de **“Cebra”** es el **más económico** de los pasos peatonales analizados, como se presenta en la **tabla 3.1**, para su instalación únicamente se requiere pintura de alto tráfico, maquinaria y personal especializado para su aplicación, los **costos por metro lineal** de 40 cm de espesor para señalar horizontalmente una vía se discriminan de la siguiente manera en el **análisis de precios unitarios**:

Tabla 3.1. Análisis de precios unitarios de cebra peatonal

No. DE ITEM	DESCRIPCIÓN DEL ITEM				
1	SEÑALIZACIÓN VIAL				
1.1.	Señalización horizontal para pasos peatonales				
UNIDAD: ml					
1. EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	RENDIMIENTO / DÍA	VLR. PARCIAL	
Herramienta menor	Gal.	\$210	1	\$210,00	
Compresor	Día	\$32.800	100	\$328,00	
SUBTOTAL				\$538,00	
2. MATERIALES EN OBRA					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	VLR. PARCIAL	
Pintura blanca de alto tráfico para señalización horizontal	Gal.	\$74.900	0,014	1048,60	
Diluyente S003	Gal.	\$18.500	0,004	77,08	
Cinta para enmarcar de 3" x 40 m	Und.	\$13.900	0,025	347,50	
SUBTOTAL				\$1.473,18	
3, MANO DE OBRA					
TRABAJADOR	JORNAL	% PR/ONES	CANTIDAD	RENDIMIENTO / DIA	VLR. PARCIAL
Oficial de obra	\$50.000	1,75	1	100	\$875,00
Ayudante de obra	\$35.000	1,75	2	100	\$1.225,00
SUBTOTAL					\$2.100,00
4, TRANSPORTES					
DESCRIPCIÓN	m ³ o t	DISTANCIA	m ³ o t/km	TARIFA/km	VLR. PARCIAL
-----	-----	-----	-----	-----	-----
SUBTOTAL					\$ -
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$ 4.111,18

Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

En el esquema de señalización de un paso peatonal se pueden utilizar de 40 a 300 metros lineales de señalización horizontal aproximadamente, **todo dependiendo del ancho de la vía, de la necesidad de demarcación y del contratista**; por lo que los **costos directos** de una señalización tipo cebrá rondan de los \$164.440 (en una vía de dos carriles) a los \$1.233.000 de pesos colombianos (en una vía arterial o troncal).

A este costo se le suman los costos directos de adecuar las rampas en los andenes para el paso de bicicletas, personas en condición de discapacidad etc. Estos costos globales aproximados son de \$1.500.000 en (una vía de dos carriles), y de \$5.000.000 (en una vía arterial o troncal).

Sumando los valores anteriores, para una vía de 2 carriles el costo directo (CD) sería:

$$CD = \$ 164.440 + \$1.500.000 = \$1.664.440$$

Para una vía arterial:

$$CD = \$1.233.000 + \$5.000.000 = \$6.233.000$$

- **Semáforo peatonal**

Para la estimación de los costos directos de construir un cruce peatonal semaforizado en la ciudad de Bogotá, se tomó como base los precios unitarios de un contrato de obra ejecutado en la calle 130 con Av. Ciudad de Cali, en la **tabla 3.2** se presentan los costos directos aproximados de hacer un cruce de semáforos en una pequeña vía de 2 carriles, (costos actualizados a 2016).

De igual manera la **tabla 3.3** muestra los **costos directos aproximados** de construir un cruce peatonal de este tipo **en una vía arterial o troncal** (Av. Américas, Av. Calle 26, Av. Calle 80, etc.); por ello, las cantidades de algunas actividades aumentan en comparación a la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Costos directos aproximados de un cruce semaforizado (vía de dos carriles)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	VR UNITARIO (\$)	VR TOTAL (\$)
1	Construcción base para poste de semáforo 80*80*80 (incluye excavación , anclaje en acero de 60000 psi, platinas, láminas soldadas y concreto 3000 psi de acuerdo a especificaciones técnicas de SIT, cargue y transporte e escombros)	Und.	2	488.323	976.648
2	controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales con posibilidad de ampliación hasta 8 grupos) reloj en tiempo real 8 programas automático semanal, programable con días festivos modos de operación coordinada con central	Und.	1	144.438.896	144.438.896
3	suministro e instalación semáforo vehicular en policarbonato (3*200), accesorios de fijación ménsula, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	1	3.642.654	3.642.654
4	suministro e instalación semáforo vehicular en policarbonato (3*200), accesorios de fijación a mástil, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	2	2.214.681	4.429.363
5	suministro e instalación semáforo peatonal en policarbonato (3*200), accesorios de fijación a mástil, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	2	2.962.540	5.925.081
6	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t2) de 6.5 m	Und.	1	2.874.548	2.874.549
7	Suministro e instalación poste de semáforo tipo mástil (t1) de 3.6 m	Und.	1	1.509.971	1.509.972
8	Suministro e instalación de cable AWG 2*8	m	100	18.184	1.818.463
9	Suministro e instalación de cable AWG 3*16	m	100	10.736	1.073.687
10	Suministro e instalación de cable AWG 4*16	m	100	11.701	1.170.182
11	Reconformación de andenes y espacio público, (rampas, sardineles, etc.)	Gbl.	1	2.000.000	2.000.000
12	Señalización horizontal en pintura de alto tráfico	Gbl.	1	1.233.000	1.233.000
TOTAL COSTOS DIRECTOS (Pesos colombianos)					171.092.523

Fuente: *Elaboración propia a partir de [6] (julio de 2016).*

Tabla 3.3. Costos directos aproximados de un cruce semaforizado (vía arterial o troncal)

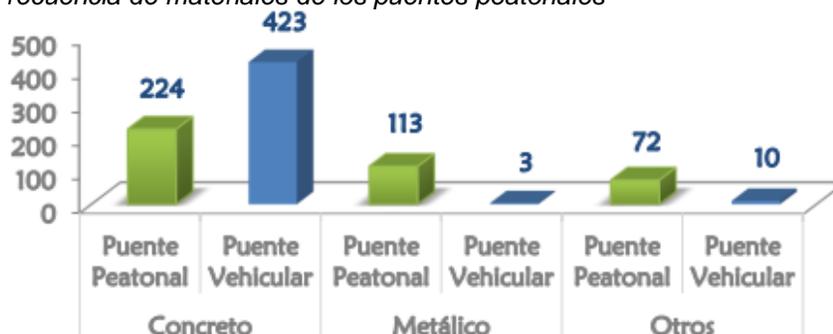
ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	VR UNITARIO (\$)	VR TOTAL (\$)
1	Construcción base para poste de semáforo 80*80*80 (incluye excavación , anclaje en acero de 60000 psi, platinas, láminas soldadas y concreto 3000 psi de acuerdo a especificaciones técnicas de SIT, cargue y transporte e escombros)	Und.	6	488.323	2.929.944
2	controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales con posibilidad de ampliación hasta 32 grupos) reloj en tiempo real 32 programas automático semanal, programable con días festivos modos de operación coordinada con central	Und.	1	164.636.914	164.636.915
3	suministro e instalación semáforo vehicular en policarbonato (3*200), accesorios de fijación ménsula, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	4	3.642.654	14.570.618
4	suministro e instalación semáforo vehicular en policarbonato (3*200), accesorios de fijación a mástil, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	6	2.214.681	13.288.089
5	suministro e instalación semáforo peatonal en policarbonato (3*200), accesorios de fijación a mástil, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	8	2.962.540	23.700.325
6	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t2) de 5.5 m	Und.	2	2.740.590	5.481.182
7	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t2) de 6.5 m	Und.	2	2.874.548	5.749.098
8	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t1) de 3.6 m	Und.	2	1.509.971	3.019.943
9	Suministro e instalación de cable AWG 2*8	m	200	18.184	3.636.927
10	Suministro e instalación de cable AWG 3*16	m	200	10.736	2.147.373
11	Suministro e instalación de cable AWG 4*16	m	200	11.701	2.340.364
12	Reconformación de andenes y espacio público, (rampas, sardineles, etc.)	Glb.	1	5.000.000	5.000.000
13	Señalización horizontal en pintura de alto tráfico	Glb.	1	1.233.000	1.233.000
TOTAL COSTOS DIRECTOS (Pesos colombianos)					247.733.776

Fuente: *Elaboración propia a partir de [6] (julio de 2016).*

- **Puente peatonal**

El precio para construir un puente peatonal es muy variable, depende en gran medida de la necesidad del proyecto y sobre todo de la logística y liquidez del contratista, **el material de mayor frecuencia en estas estructuras es el concreto**, seguido de puentes metálicos que debido al sistema de transporte Transmilenio han tenido un gran auge. Existe un inventario de puentes hecho en 2015 con el cual el IDU contabilizó la totalidad de puentes vehiculares y peatonales clasificándolos en varias categorías para la ciudad de Bogotá. La **figura 3.1** muestra la cantidad de puentes peatonales y vehiculares de acuerdo a su material en la ciudad de Bogotá

Figura 3.1. Frecuencia de materiales de los puentes peatonales



Fuente: Sistema de información Geográfica SIGIDU (2015).

A continuación en la **tabla 3.4** se presentan algunos costos directos de puentes peatonales actualizados a precios de 2016 mediante SMMLV, estos precios se encontraron en la base de datos del IDU.

Tabla 3.4. Costos directos de puentes peatonales en Bogotá

N°	Ubicación	Material	Costo actualizado a 2016 (Pesos colombianos)
1	Carrera 80 con calle 37 sur	Acero	1.655.313.553
2	Consultoría	Acero	1.808.125.825
3	NQS con calle 65	Concreto	816.886.686
4	Calle 26 con transversal 48	Concreto	1.524.399.401
5	Av. Américas con Carrera 71c	Concreto	786.982.489
6	Carrera 7 con calle 154	Concreto	699.110.007
7	Consultoría	Acero	1.955.771.102
8	Autopista sur Carrera 79	Concreto	303.549.506

Fuente: Elaboración propia a partir de [4] (julio de 2016).

- **Túnel peatonal**

Debido a la poca información existente sobre los escasos pasos peatonales subterráneos; para determinar el costo de un túnel peatonal se usó un **análisis financiero realizado por Castañea Gutiérrez, tabla 3.5.** “El túnel tiene la misma longitud (100 metros), un ancho de 5,0 metros y altura de 2,50 metros y el mismo

tipo de acceso que el puente, escaleras y rampas para personas con movilidad reducida y se plantea construirlo por el método de corte y relleno o excavación a cielo abierto” [3]

Tabla 3.5. Costos directos de un túnel peatonal (vía arterial o troncal)

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL	U.M	CANTIDAD	VALOR	VALOR TOTAL
Excavación subterránea en suelo	M3	2000,00	\$ 30.000,00	\$ 60.000.000,00
Relleno Grouting	M3	1250,00	\$ 450.000,00	\$ 562.500.000,00
Concreto Lanzado	M3	857,05	\$ 320.000,00	\$ 274.256.000,00
Fibra metálica (fibra estandar tipo macaferri FS 3N o similar para lanzado en dosificación de 30 Kg/M3)	ml	500,00	\$ 90.000,00	\$ 45.000.000,00
Membrana Impermeabilizante y Geotextil (considerando un elemento no tejido tipo pavco NT 1100 o similar)	M2	500,00	\$ 5.000,00	\$ 2.500.000,00
Revestimiento en concreto convencional (4000 psi)	M3	884,00	\$ 400.000,00	\$ 353.600.000,00
Tubería PVC 4" para drenaje	ML	100,00	\$ 24.000,00	\$ 2.400.000,00
Relleno convencional compactado	M3	750,00	\$ 95.000,00	\$ 71.250.000,00
OBRAS DE CONSTRUCCIÓN ADICIONALES				
Escaleras y rampas				
Concreto f'c = 21,1 Mpa	M3	1,60	\$ 530.000,00	\$ 848.000,00
Acero de refuerzo fy = 420 Mpa	Kg	170,50	\$ 3.700,00	\$ 630.850,00
Construccion de muros				
Muros en mampostería estructural	M2	40,50	\$ 35.000,00	\$ 1.417.500,00
Acero de refuerzo fy = 420 Mpa	Kg	6,50	\$ 3.700,00	\$ 24.050,00
VALOR TOTAL				\$ 1.374.426.400,00

Fuente: Castaña Gutiérrez, Mónica (2010).

Actualizando el presupuesto total de la **tabla 3.5** se tiene un costo en 2016 de **\$1.840.010.000** para un túnel peatonal de 100m en una vía arterial:

$$CD = \$1.840.010.000$$

Por metro lineal equivaldría a **\$18.401.000**, para una vía de dos carriles es necesario un túnel de aproximadamente 15m de longitud, incluyendo las entradas, por lo que:

$$CD = \$18'001.000 * 15$$

$$CD = \$195'015.000 \text{ (Para una vía de dos carriles)}$$

3.1.1.2. Costos de operación y/o mantenimiento

Para cada paso peatonal se determinaron los costos de operación (C_{op}) y los costos de mantenimiento preventivo (C_{ma}) propios de cada cruce (de los pasos peatonales analizados, algunos no poseen costos de operación), este tipo de costos son de vital importancia conocerlos ya que pueden presentar un gasto considerable para la ciudad y sus habitantes.

- **Paso peatonal “Cebra”**

Los costos de mantenimiento de un cruce tipo “Cebra” dependen únicamente de la vida útil de la pintura de alto tráfico utilizada y del tránsito de vehículos en la vía que ésta se aplicó, por lo que cuando sea necesario **se volverá a realizar la señalización horizontal tipo “Cebra” figura 3.2** con los precios ya mencionados en Costos de inversión inicial, (no hay costos de operación).

Figura 3.2. Pintura de señalización vial



Fuente: Cardozo, Genezio (2011).

$$(C_{ma}) = \$ 164.440 \text{ (En una vía de dos carriles)}$$

$$(C_{ma}) = \$ 1.233.440 \text{ (En una troncal o vía arterial)}$$

- **Puente peatonal**

El mantenimiento principal que se debe realizar en un puente peatonal ya sea de concreto o metálico, es la **limpieza y pintura anticorrosiva** de los diferentes componentes del puente (barandas, superestructura, infraestructura etc.), **figura 3.3** y en algunos casos la reparación o **mantenimiento correctivo** de sus componentes.

Figura 3.3. Puente peatonal deteriorado



Fuente: Medina, Laura para EL TIEMPO (2014).

A continuación, por medio de los contratos IDU 216 y 217 de 1998 se presentan en la **tabla 3.6** los costos de mantenimiento de algunos puentes peatonales.

Tabla 3.6. Costos directos de mantenimiento de puentes peatonales

N°	Ubicación	Costo actualizado a 2016 (Pesos colombianos)
1	Avenida Boyacá con calle 64	5.607.186
2	Avenida Boyacá con calle 65 sur	8.010.499
3	Avenida Américas con calle 60	9.359.392
4	Avenida Américas con calle 71B	9.573.069
5	Avenida Américas con calle 78	11.445.895
6	Avenida Circunvalar con calle 58 sur	2.859.960
7	Avenida Circunvalar con calle 46	4.287.065
8	Avenida 7 con calle 130	4.681.486
9	Avenida 10 con calle 1 sur	11.761.860
10	Avenida 1° de Mayo con Cra. 49C	6.611.703
11	Vía Usme, entrada barrio La Marichuela	1.030.475

Fuente: Elaboración propia a partir de [7] (junio de 2016).

- **Semáforo peatonal**

Costo operacional: un semáforo se basa en el consumo energético de las lámparas que lo componen, de los costos de programación y operadores dentro de una “central de semáforos”. El consumo energético de cada lámpara de color de un semáforo es de alrededor **1 230 kW/año** si ésta es halógena y **246 kW/año** si es LED y un controlador consume cerca de **2 268 kW/año**, con estos datos de consumo y **las tarifas de energía para enero de 2016 de la prestadora de servicios públicos CODENSA**, se pueden obtener los costos energéticos para la ciudad. Los costos de programación y operación de un semáforo se toman de manera global tal como se muestra en las **tablas 3.7 y 3.8**.

Tabla 3.7. Costos de operación en un cruce semaforizado (vía de dos carriles)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	COSTO ANUAL UNITARIO (\$)	COSTO ANUAL (\$)
1	Consumo energético de controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales (2.628 kW por año)	Und.	1	1.145.960	1.145.960
2	Consumo energético semáforo vehicular LED en policarbonato (3*200), (738 kW por año)	Und.	3	321.811	965.432
3	Consumo energético semáforo peatonal LED en policarbonato (3*200), (492 kW por año)	Und.	2	214.540	429.081
4	Costos de operación ANUALES en central de semáforos (incluye personal, programación y demás componentes)	Glb.	1	12.000.000	12.000.000
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL (Pesos colombianos)					14.540.473

Fuente: Elaboración propia (junio de 2016).

Tabla 3.8. Costos de operación en un cruce semaforizado (vía arterial o troncal)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	COSTO ANUAL UNITARIO (\$)	COSTO ANUAL (\$)
1	Consumo energético de controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales (2.628 kW por año)	Und.	1	1.145.960	1.145.960
2	Consumo energético semáforo vehicular en policarbonato (3*200), (738 kW por año)	Und.	10	321.811	3.218.107
3	Consumo energético semáforo peatonal en policarbonato (3*200), (492 kW por año)	Und.	8	214.540	1.716.324
4	Costos de operación ANUALES en central de semáforos (incluye personal, programación y demás componentes)	Gb.	1	15.000.000	15.000.000
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL (Pesos colombianos)					21.080.390

Fuente: Elaboración propia (junio de 2016).

Los costos de mantenimiento: se basan en la limpieza y pintura de los semáforos, así como en la reparación de sus componentes electrónicos y de control que dependen netamente de la central de semáforos **figura 3.4** y además de los costos de señalización horizontal mencionados anteriormente en el paso peatonal “cebra”.

Figura 3.4. Moderna central de semáforos en Córdoba, Argentina



Fuente: Cejas, Sergio (2015).

- **Túnel peatonal**

Costos operacionales: Únicamente se basan en los costos de energía para el alumbrado del túnel, en un túnel de 100 m con un ancho de 5 m se necesitan aproximadamente 40 paneles LED de 40 W con medidas de 1,2 m x 0,3 m, con un consumo de 350 kW/año en una **vía arterial o troncal**:

$$\text{Consumo anual del túnel} = 350 \frac{\text{kW}}{\text{años}} * 40 = \mathbf{14\ 000} \frac{\text{kW}}{\text{año}}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo anual del túnel} &= 14\ 000 \frac{\text{kW}}{\text{año}} * \frac{\$ 436}{\text{kW}} \\ &= \mathbf{\$ 6.104.000 \text{ por año}} \end{aligned}$$

Para una **vía de dos carriles**:

$$\text{Consumo anual del túnel} = 350 \frac{\text{kW}}{\text{años}} * 6 = \mathbf{2\ 100} \frac{\text{kW}}{\text{año}}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo anual del túnel} &= 2\ 100 \frac{\text{kW}}{\text{año}} * \frac{\$ 436}{\text{kW}} \\ &= \mathbf{\$ 915.000 \text{ por año}} \end{aligned}$$

Costos de mantenimiento: Las actividades de mantenimiento en un túnel peatonal, **tabla 3.9 y 3.10** son similares a las de un puente peatonal como (limpieza, resanes, pintura acrílica etc.).

Tabla 3.9. Actividades de mantenimiento en túneles peatonales (vía de dos carriles)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	COSTO UNITARIO		SUBTOTAL
1	Lavado a máquina	m ²	150	\$	5.581	\$ 837.185
2	Lavado a mano	m ²	150	\$	4.228	\$ 634.231
3	Limpieza de drenajes	m	40	\$	5.074	\$ 202.954
4	Vinilo tipo 1 a 2 manos	m ²	50	\$	7.500	\$ 375.000
5	Reparaciones en mortero y juntas de dilatación	m ²	30	\$	16.236	\$ 487.090
TOTAL COSTOS DIRECTOS DE MANTENIMIENTO						\$ 2.536.460

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Tabla 3.10. Actividades de mantenimiento en túneles peatonales (vía arterial o troncal)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	COSTO UNITARIO		SUBTOTAL
1	Lavado a máquina	m ²	500	\$	5.581	\$ 2.790.617
2	Lavado a mano	m ²	500	\$	4.228	\$ 2.114.104
3	Limpieza de drenajes	m	40	\$	5.074	\$ 202.954
4	Vinilo tipo 1 a 2 manos	m ²	50	\$	7.500	\$ 375.000
5	Reparaciones en mortero y juntas de dilatación	m ²	250	\$	16.236	\$ 4.059.080
TOTAL COSTOS DIRECTOS MANTENIMIENTO						\$ 9.541.755

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

3.1.2. Análisis ambiental

Hoy por hoy, en un mundo cuyos paradigmas ambientales han cambiado, el desmedido impacto al medio ambiente ha ocasionado la pérdida de recursos naturales y una significativa desmejora en su calidad; por lo que en la actualidad es tendencia el desarrollo de proyectos, dispositivos y actividades que mitiguen, prevengan y corrijan los daños que produce el hombre a su ecosistema (entiéndase ecosistema como el espacio físico-temporal).

En este sentido, es fundamental la concepción de un análisis de este proyecto en términos ambientales. No obstante, el ciclo de vida de los productos y en general la manutención de los cuatro pasos peatonales aquí comparados **no será detallado**, puesto que éste no se relaciona directamente con el objetivo de la investigación, sin embargo a continuación se presenta un análisis superficial de los aspectos e impactos ambientales más relevantes.

3.1.2.1. Consumo energético

- **Semáforo peatonal**

El aspecto ambiental más relevante en este sistema de paso peatonal es el consumo energético, un consumo que aproximadamente **es de 1 230 kW/año, por cada lámpara de color** según la tienda **LEDIA Group**, encargada del suministro e instalaciones de semáforos y letreros luminosos **figura 3.5**.

Figura 3.5. Semáforos LED



Fuente: Geyer (2015).

No obstante, existen tecnologías que se han desarrollado para prevenir estos consumos **utilizando paneles solares** como fuentes energéticas, además, en Colombia, particularmente, *“ha habido una tendencia hacia los semáforos LED economizando un 80% comparado con los semáforos de lámparas halógenas convencionales”* [8], por lo que cada elemento llegaría a consumir **738 kW/año** si es vehicular o **492 kW/año** si es peatonal.

Es de mencionar que este aspecto trae consigo un impacto acumulativo en cuanto la gran cantidad de semáforos de una ciudad como Bogotá podría generar un consumo significativo de recursos naturales para la producción de energía eléctrica.

- **Túnel peatonal**

El consumo energético de un túnel dependerá de su longitud y del tipo de iluminación de la que goce. Si el túnel peatonal es de gran tamaño el consumo de energía puede llegar a ser alto, llegando a igualar en algunos casos al cruce por semáforos, **pero este impacto se puede prevenir utilizando diferentes tecnologías de iluminación como por ejemplo; claraboyas** que permiten la iluminación natural para el día, **figura 3.6**. Otra alternativa puede ser instalar paneles de tipo LED, cada uno de éstos puede consumir un máximo de **350 kW/año**. **Al igual que en el caso anterior, el impacto es acumulativo.**

Figura 3.6. Claraboyas y paneles de iluminación en el túnel peatonal de La Rebeca



Fuente: Transmilenio (2013).

- **Puente peatonal y paso peatonal “Cebra”**

Estos pasos peatonales usualmente son iluminados con el alumbrado público, por lo cual **el impacto relacionado no es de considerar en este análisis.**

3.1.2.2. Contaminación visual

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

La contaminación visual se relaciona con todas las situaciones, objetos o aquello que pueda perturbar el sentido de la vista del ser humano. En este sentido, en una metrópolis como Bogotá, una ciudad capital con serios problemas en esta materia, un transeúnte puede estar expuesto a las consecuencias que ello produce en cualquier semáforo o cebra.

- **Puente peatonal**

La obstrucción a la cuenca visual se refiere a un objeto, ya sea fijo o circunstancial, que no permita o impida la apreciación del paisaje de fondo para el ser humano. Así entonces, **un puente peatonal se ajusta muy bien a la definición teniendo en cuenta que en un medio ambiente urbano estos elementos son muy comunes, de gran tamaño, con estructuras que sobresalen.** Dicha obstrucción se agudiza en el sentido en que los medios de transporte a los que tiende una ciudad capital traen consigo la construcción de más estaciones, puentes y líneas.

- **Túnel peatonal**

Una estructura subterránea **no causa obstrucción a la cuenca visual**, y de ser construido y mantenido con los estándares de calidad y cumpliendo la legislación

vigente respecto a publicidad exterior visual fija, **tampoco generaría contaminación visual.**

3.1.2.3. Impacto auditivo

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

El aspecto ambiental más relevante en este ámbito se relaciona con el ruido (medido en decibeles) que pueda emitir un vehículo al verse interrumpido su recorrido en el semáforo o paso peatonal tipo cebra. Este impacto es acumulativo y directamente proporcional al tráfico.

- **Puente peatonal**

El ruido al que se encuentra expuesto un transeúnte en un puente **es el mismo al que se encuentra expuesto en una ciudad (Bogotá).**

- **Túnel peatonal**

Un túnel, debe ser analizado desde dos puntos de vista: El primero es el ruido (entiéndase como cualquier perturbación audible o no al oído humano) que puede generar el túnel o sus transeúntes al exterior del mismo y el segundo es el que puede llegar a los usuarios desde el exterior.

En el primero de los casos, no muy significativo, dependerá de la cantidad de transeúntes.

El segundo, por su parte si es significativo en la medida en que las vibraciones causadas por carros de carga o transporte de pasajeros (masivo) causan un impacto negativo sobre el oído de los usuarios. **Las alternativas para mitigar esto, son varias, entre las que se encuentran la insonorización del túnel, el aislamiento acústico de las losas de concreto sobre el túnel, entre otras.**

3.1.2.4. Contaminación atmosférica

- **Semáforo y Paso peatonal “Cebra”**

Indudablemente es notable la contaminación a la que se expone cada uno de los ciudadanos por el alto flujo de vehículos que emiten monóxido de carbono, **si se analiza en un semáforo peatonal, la contaminación es más alta a comparación de un paso peatonal “Cebra”, debido a que un vehículo se detiene en su totalidad por la luz roja y al iniciar desde una velocidad en ceros emite una mayor cantidad de gases,** generando así mayor polución y contaminación en la zona. El impacto sobre los seres humanos se refleja en su integridad física que pueda verse afectada en términos respiratorios.

- **Túnel y puente peatonal**

Los pasos peatonales que no obligan a la pérdida de velocidad por completo de los vehículos, evitan la emisión del monóxido de carbono correspondiente a la emisión durante la aceleración en el momento de ponerse en marcha, **así entonces la contaminación atmosférica termina siendo la misma de la que la ciudad ya padece** sin contemplar ninguno de los elementos involucrados en este análisis.

3.1.3. Predisposición de uso en los peatones

Aunque en cualquier proyecto o estudio de viabilidad se determine la construcción de cierto tipo de estructura con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población, **si ésta no ha contado con la perspectiva que tienen los usuarios o beneficiarios, dicho proyecto puede ser una pérdida de inversión de recursos**, es por lo que todas las construcciones deben contar con un diseño óptimo y una planeación que abarque cualquier tipo de futuro inconveniente que presente el uso de la misma.

3.1.3.1. Distancias y Tiempos de recorrido

Para realizar las mediciones de distancia **se hicieron mediciones con los pasos de una persona** de 1,7 m de altura, cada paso se midió en repetidas ocasiones y **su medida promedio es de 0,7 m**. En el caso de los pasos elevados y subterráneos se determinó una relación entre la distancia recorrida y el ancho de la vía, **ecuación 3.1**:

$$\textit{Relación efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}} \quad (3.1)$$

Entre mayor sea la relación efectiva de distancia, un peatón deberá caminar el número de veces que dicha relación indique, es decir, si el resultado de esta relación es **(n)** cuya unidad de medida es adimensional, el peatón debió caminar **(n)** veces la distancia del ancho de la vía para poder cruzarla.

- **Puente peatonal**

Los puentes peatonales son las estructuras evaluadas **con la mayor distancia de recorrido debido al gálibo que deben respetar** y en algunas ocasiones cuando éstos sólo cuentan con rampas para su acceso, hacen que se incremente su distancia y tiempo de recorrido, ésta es una de las razones por las que los ciudadanos no utilizan los puentes peatonales y prefieren exponer sus vidas cruzando las avenidas para así poder ahorrarse algunos minutos de trayecto durante el cruce.

- **Puente peatonal en Gachancipá (vía de dos carriles)**

Se realizaron unas mediciones de distancia y tiempo de recorrido en un puente peatonal ubicado en el municipio de Gachancipá, Cundinamarca, **figura 3.8**. Éste cruza la vía (Bogotá – Tunja) y se obtuvieron los siguientes datos:

$$\textit{Distancia de recorrido} = 200 \textit{ pasos}$$

$$\Rightarrow 200 * 0,7 \textit{ m} = \mathbf{140 \textit{ m}}$$

$$\textit{Tiempo de recorrido} = 1 \textit{ min } 46 \textit{ seg}$$

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}} = \frac{140 \textit{ m}}{7 \textit{ m}} = 20$$

- **Puente peatonal estación de “Av. El Dorado”, Bogotá D.C. (Vía arterial)**

Ubicado en la Av. NQS con Calle. 26 **figura 3.7**, es un paso elevado hecho en concreto cuyos accesos son únicamente mediante rampas, posee un gálibo de 4,5 m y atraviesa la Av. NQS de 13 carriles y un ancho aproximado de 48 m

$$\textit{Distancia de recorrido} = 252 \textit{ pasos}$$

$$\Rightarrow 252 * 0,7 \textit{ m} = \mathbf{176,4 \textit{ m}}$$

$$\textit{Tiempo de recorrido} = 2 \textit{ min } 10 \textit{ seg}$$

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}} = \frac{176,4 \textit{ m}}{48 \textit{ m}} = 3,67$$

Figura 3.7. Puente peatonal estación Av. El Dorado, Bogotá



Fuente: Elaboración propia (junio de 2016).

Figura 3.8. Puente peatonal de Gachancipá, Cundinamarca



Fuente: Elaboración propia (junio de 2015). La relación entre la distancia recorrida y el ancho de la vía que un puente atraviesa es cada vez mayor cuando son vías de pocos carriles, tal es el caso del paso elevado de Gachancipá, que para cruzar una vía de dos carriles con un ancho de 7 m es necesario recorrer la exorbitante distancia de aproximadamente 140 m, un paso peatonal elevado **totalmente innecesario** para este tipo de necesidad.

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

Las distancias recorridas en un cruce peatonal tipo semáforo y cebra dependen únicamente del ancho de la vía que éstos atraviesan por lo que:

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}} = 1$$

Es decir el peatón no debe caminar una distancia mayor a la que realmente necesita cruzar, sin embargo, **el tiempo de recorrido en un semáforo si se ve afectado** por los intervalos de tiempo de sus señales, haciendo esperar al usuario segundos o inclusive minutos de más para continuar con su trayecto. A continuación se presentan algunas mediciones hechas a este tipo de regulador peatonal.

- **Semáforo peatonal Calle 51 con carrera 13 (vía de dos carriles)**

Semáforo peatonal en rojo = 1 min

Semáforo peatonal en verde = 1 min

- **Avenida Caracas con calle 51 (vía troncal o arterial)**

Semáforo peatonal en rojo = 1 min 15 seg

Semáforo peatonal en verde = 45 seg

- **Avenida Calle. 80 con carrera 112a (vía troncal o arterial)**

Semáforo peatonal en rojo = 1 min 15 seg

Semáforo peatonal en verde = 45 seg

En ocasiones cuando se encuentran semáforos peatonales para cruzar avenidas principales como es el caso de la Avenida Caracas o Avenida Calle. 80, **el peatón puede quedar en la mitad del trayecto**, más si éste presenta dificultad o discapacidad de movimiento, alargando su tiempo de recorrido en gran medida. Estos tiempos de espera se asemejan a los tiempos de recorrido de un puente peatonal, por lo que en este tópico de evaluación se ve reflejado la poca efectividad de ambos tipos de pasos peatonales.

- **Túnel peatonal**

Analizando la distancia y tiempo de recorrido para un túnel peatonal con respecto a los pasos peatonales mencionados anteriormente, es notable que la distancia es más corta al compararla con un puente peatonal, pero por el contrario, si se compara con un semáforo o “Cebra” éste tiene mayor distancia de recorrido, **en ocasiones el tiempo de recorrido de un túnel puede aumentar, pero el ciudadano cruza con la tranquilidad y la seguridad que un túnel le puede brindar**, adicionalmente lo hace con una velocidad constante, sin obstáculos que hagan que su recorrido se vea interrumpido, como ya se había mencionado que puede presentarse en el cruce de un semáforo peatonal.

- **Túnel peatonal en Gachancipá (vía de dos carriles)**

Coincidentemente, en el municipio de Gachancipá se construyó un túnel, **figura 3.9**, que pretende realizar la misma función del puente peatonal de la figura 3.8. Estas dos estructuras separadas por una distancia de 300 m, atraviesan la misma carretera (Bogotá-Tunja), pero **es notable que la efectividad del túnel en comparación con el puente es mucho mayor:**

$$\textit{Distancia de recorrido} = 80 \textit{ pasos}$$

$$\Rightarrow 80 * 0,7 \textit{ m} = 56 \textit{ m}$$

$$\textit{Tiempo de recorrido} = 43 \textit{ s}$$

$$\textit{Relacion efect de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}} = \frac{56 \textit{ m}}{7 \textit{ m}} = 8$$

- **Paso subterráneo aledaño a la Universidad Javeriana (vía de 2 calzadas con 2 carriles c/u)... numeral 1.2.4...**

$$\textit{Distancia de recorrido} = 92 \textit{ pasos}$$

$$\Rightarrow 92 * 0,7 \textit{ m} = 64,4 \textit{ m}$$

$$\textit{Tiempo de recorrido} = 52 \textit{ s}$$

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}} = \frac{64,4 \textit{ m}}{22 \textit{ m}} = 2.93$$

Figura 3.9. Entrada al túnel peatonal de Gachancipá, Cundinamarca



Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).*

3.1.3.2. Seguridad vial para el peatón

Aunque se realiza una comparación entre los 4 tipos de pasos peatonales en cuestión, es debido mencionar la existencia de múltiples puntos críticos en la ciudad donde no hay ningún tipo de obra que regule, señalice o conduzca el flujo peatonal de la ciudad, de igual manera, **para dichos puntos críticos es necesario realizar una investigación comparativa como la que aquí se sustenta**, que le permita a las entidades públicas tomar la decisión objetiva del paso peatonal más efectivo en cada necesidad puntual.

- **Paso peatonal “Cebra”**

Un accidente vial ocurre en la ciudad de Bogotá por la falta de cultura, la imprudencia y la intolerancia tanto de peatones como de conductores, **son muy pocos los accidentes que tienen causas externas a errores humanos**; por lo que al momento de realizar un cruce donde sólo existe una señal horizontal a la que llaman “Cebra”, **el transeúnte se encuentra expuesto a diversos riesgos**, siendo un paso no muy seguro de cruzar que depende de la concentración y sentido de los implicados.

- **Semáforo peatonal**

Aunque un semáforo regula el flujo vehicular y peatonal con ciertos intervalos de tiempo, los transeúntes se encuentran expuestos a los mismos riesgos de una “cebra peatonal”, **tener que esperar un cambio a luz verde llena de ansiedad al ciudadano**; llevándolo a ser imprudente y aumentar las probabilidades de accidente.

- **Túnel y puente peatonal**

Estos pasos peatonales fueron diseñados precisamente para ofrecer una mayor seguridad para los peatones, sin tener en cuenta que en ocasiones los transeúntes prefieren correr el riesgo y atraviesan las avenidas sin usar estos sistemas de paso peatonal, **figura 3.10. El túnel y el puente son los pasos peatonales con mayor seguridad para los peatones con respecto a la accidentalidad vial**, pues éstos independizan el flujo peatonal del flujo vehicular, sin embargo, **con respecto al puente peatonal existe una gran aversión de parte de la ciudadanía**, debido a las condiciones de diseño, recorrido y funcionalidad que se han referenciado a lo largo del presente capítulo.

“La percepción del peatón al ver las escaleras en subida del puente es de pereza o desánimo. En el caso del túnel, primero se baja y al final del trayecto es que se toman las escaleras para subir. Este hecho propicia más al uso del túnel que del puente peatonal, por cuanto los peatones tienden a evaluar el esfuerzo físico que se requiere para cruzar la vía” [12].

Figura 3.10. *Imprudencia peatonal*



Fuente: *Colprensa (2014).* Este tipo de eventos es de gran frecuencia en la ciudad de Bogotá y el resto del país, son numerosos los puentes peatonales que cuentan con una distancia de recorrido extensa y los transeúntes con este tipo de actos no sólo pretenden cruzar de manera rápida una vía, sino también ingresar sin pagar a medios de transporte como Transmilenio.

3.1.3.3. Infraestructura para personas con discapacidad

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

Por tratarse de pasos peatonales sencillos que están sobre la superficie, las estructuras necesarias para las personas en condición de discapacidad no son tan complejas, pero si se realiza una evaluación general, muchos de estos pasos peatonales no cuentan con estas estructuras que **consiste en una pequeña rampa que permita el descenso y el ascenso a los andenes de la ciudad.** Con lo

anterior se relaciona que el desarrollo de este tipo de infraestructura no necesita gran inversión para tener en cuenta las personas discapacitadas en sus diseños.

- **Puente peatonal**

Los puentes peatonales tienen rampas de ascenso y descenso que cumplen con las pendientes estipuladas **por el decreto 279 de 2003**, pero como **estas estructuras deben respetar un gálibo de 4 a 5 m, dichas rampas son demasiado largas y generan un gran agotamiento físico al cruzarlas**. Además de las rampas, hay puentes que poseen ascensores pero no son muy frecuentes, éstos se pueden observar en algunos puentes que están conectados con estaciones de Transmilenio, pero inclusive el uso no lo hacen las personas a las que están destinados y es utilizado por personas que interrumpen el ascenso de personas discapacitadas

- **Túnel peatonal**

En un túnel peatonal es necesario construir rampas pero estas estructuras tienen menor distancia que las de un paso elevado y en ocasiones cuando hay un diseño óptimo, una persona discapacitada puede descender mientras también va cruzando dicho túnel, si se presentan pendientes muy pronunciadas en las que no se pueden implementar rampas que respeten el 12 % de inclinación (estipulado como el valor máximo de pendiente especificado por las “Normas Técnicas Colombianas”), también existen mecanismos conocidos como **Plataforma Salva-escalera, figura 3.11**, que consiste en colocar una plataforma para sillas de ruedas que permita el ascenso y descenso de personas discapacitadas por encima de una escalera convencional.

Figura 3.11. Plataforma Salva-escalera



Fuente: Savaria (2014).

3.1.4. Cuadro comparativo

En las tablas 3.11a y 3.11b se resumen las características de cada paso peatonal analizado en el presente capítulo

Tabla 3.11a. Cuadro comparativo general

CRUCE	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
PUENTE PEATONAL	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión inicial • Obstruye la cuenca visual del transeúnte • Incremento en las distancias y los tiempos de recorrido • Exposición al impacto auditivo generado en la ciudad 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrevaloración en la implementación de puentes peatonales • Mayor viabilidad de implementación en vías arteriales o de gran extensión transversal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Independiza los flujos vehiculares de los peatonales. • No requiere consumo energético en iluminación. • Ofrece seguridad vial al peatón. • Procesos de construcción que no interrumpen una vía existente. • Mitiga la emisión de CO proveniente de vehículos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco uso de los ciudadanos a causa de sus largos recorridos. • Meteorización de su estructura a causa de exposición a la intemperie. • Deterioro y contaminación proveniente del mal uso de los ciudadanos
SEMAFORO PEATONAL	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción del flujo vehicular. • Aumento de ruido generado por los vehículos. • Genera mayor emisión de gases producido por los vehículos que detienen su marcha. 	<ul style="list-style-type: none"> • La central de semáforos puede programarlos de acuerdo a los cambios de población y movilidad de la ciudad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil desarrollo de infraestructuras para discapacitados. • Sus distancias de recorrido dependen únicamente del ancho de la vía • Fácil construcción e instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas en el sistema por posibles cortes de energía en la zona. • Imprudencia de algunos usuarios que no respetan la luz roja del semáforo.

Fuente: *Elaboración propia (agosto de 2016).*

Tabla 3.11b. Continuación cuadro comparativo general

CRUCE	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
PASO PEATONAL "CEBRA"	<ul style="list-style-type: none"> • Inseguridad para el peatón. • Exposición al impacto auditivo generado en la ciudad. • Obliga a la detención de vehículos sin previo aviso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran cantidad de empresas capacitadas para realizar este tipo de señalización. • Gran mercado de los materiales necesarios para su implementación 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de inversión inicial y mantenimiento. • Distancias de recorrido sin aumentos. • No requiere consumo energético en iluminación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste de la señalización horizontal a causa del tránsito vehicular. • Altas velocidades de vehículos que puedan ocasionar accidentes.
TUNEL PEATONAL	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión inicial. • Costos de operación en seguridad y sistema de iluminación. • Dificultad de procesos constructivos en vías existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia de pasos subterráneos en el sistema Transmilenio. • Buen recibimiento proyectado por parte de la comunidad. • Alta demanda peatonal en la zona. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la movilidad vehicular y peatonal. • Ofrece refugio a climas extremos. • Mejora la logística y estética urbana. • Disminuye la accidentalidad peatonal. • Aprovechamiento del subsuelo y espacio público. • Mitiga la emisión de CO proveniente de vehículos. • Tiempos de recorrido moderados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción inviable de pasos elevados de parte de entidades públicas. • Deterioro de la infraestructura, por falta de cultura ciudadana.

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

3.1.5. Aporte al tránsito vehicular

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

Estos pasos peatonales obstaculizan el tránsito vehicular, generando represamientos y haciendo que el flujo vehicular se vea obligado a disminuir la velocidad intempestivamente, por lo que sus tiempos de recorrido aumentan y se convierte en una situación repetitiva e incómoda para los conductores, que en vías arteriales deberían transitar a una velocidad cómoda sin interrupciones. Aunque un semáforo o cebra representa una solución económica para regular el flujo peatonal, existen avenidas en las que hay numerosos semáforos, generando un importante problema para la movilidad de la ciudad... ver **capítulo 2 (Accidentalidad y movilidad)**...

- **Puente peatonal y túnel peatonal**

Con respecto al tránsito vehicular estos sistemas de paso peatonal aportan grandes soluciones, debido a que generan una individualidad de flujo tanto peatonal como vehicular, haciendo que la velocidad de los implicados no sea interrumpida por los transeúntes.

3.2. COMPARACIÓN PUNTUAL (CARRERA 12 CON AV. JIMÉNEZ)

Mediante ésta comparación se puede determinar el **tipo de paso peatonal óptimo para el sitio de diseño**, como ya se ha hecho énfasis anteriormente, un proyecto que requiera una alta inversión se justifica por los beneficios a mediano y largo plazo en cada uno de los aspectos de análisis.

3.2.1. Inversión económica

Se realiza una evaluación aproximada sobre los costos aproximados que llevaría la construcción de cada uno de los pasos peatonales en el punto de pre-diseño (**Costos en pesos colombianos, aproximados a 2016**).

3.2.1.1. Inversión inicial

- **Paso peatonal “Cebra”**

Teniendo en cuenta el ancho de la Av. Jiménez a la altura de la carrera 12, la cual cuenta con 5 carriles (4 exclusivos para Transmilenio y 1 carril mixto), **es necesario cerca de 90 metros lineales de señalización horizontal** para realizar el paso

peatonal tipo cebra, multiplicando dicha cantidad por los precios unitarios determinados en la **tabla 3.1** y adicionando los costos de rampas en andenes para personas discapacitadas se tiene:

$$\begin{aligned} CD &= \$ 370.000 + \$3.000.000 \text{ (rampas)} \\ &= \mathbf{3.370.000} \text{ (pesos colombianos)} \end{aligned}$$

- **Semáforo peatonal**

El cruce peatonal por semáforo es el que se encuentra actualmente en la entrada de la estación Av. Jiménez, éste regula el paso peatonal que cruza la avenida o que ingresa a Transmilenio, los costos aproximados que requiere el paso actual por semáforos se pueden observar en la **tabla 3.12**.

- **Puente peatonal**

Usando como referencia los costos encontrados en los contratos IDU 216 y 217 de 1998 se utiliza un puente con un costo aproximado para una vía con ancho similar al de la Av. Jiménez. Puente ubicado en la Carrera 7 con calle 154 **figura 3.12**.

$$CD = \$700.000.000$$

Tabla 3.12. Costos directos aproximados del cruce semaforizado de la Av. Jiménez con carrera 12

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	VR UNITARIO (\$)	VR TOTAL (\$)
1	Construcción base para poste de semáforo 80*80*80 (incluye excavación , anclaje en acero de 60000 psi, platinas, láminas soldadas y concreto 3000 psi de acuerdo a especificaciones técnicas de SIT, cargue y transporte e escombros)	Und.	8	488.323	3.906.584
2	controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales con posibilidad de ampliación hasta 8 grupos) reloj en tiempo real 8 programas automático semanal, programable con días festivos modos de operación coordinada con central	Und.	1	144.438.896	144.438.896
3	suministro e instalación semáforo vehicular en policarbonato (3*200), accesorios de fijación ménsula, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	2	3.642.654	7.285.308
4	suministro e instalación semáforo vehicular en policarbonato (3*200), accesorios de fijación a mástil, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	7	2.214.681	15.502.767
5	suministro e instalación semáforo peatonal en policarbonato (3*200), accesorios de fijación a mástil, lentes de policarbonato de 8", luces con sistema LED	Und.	7	2.962.540	20.737.780
6	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t2) de 6.5 m	Und.	2	2.874.548	5.749.096
7	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t1) de 3.6 m	Und.	4	1.509.971	6.039.884
8	Suministro e instalación poste de semáforo tipo ménsula (t1) de 5.0 m	Und.	2	1.784.936	3.569.872
9	Suministro e instalación de cable AWG 2*8	m	150	18.184	2.727.463
10	Suministro e instalación de cable AWG 3*16	m	150	10.736	1.610.687
11	Suministro e instalación de cable AWG 4*16	m	150	11.701	1.755.182
12	Reconformación de andenes y espacio público, (rampas, sardineles, etc.)	Glb.	1	3.000.000	3.000.000
13	Señalización horizontal en pintura de alto tráfico	Glb.	1	370.000	370.000
	TOTAL COSTOS DIRECTOS (Pesos colombianos)				216.693.357

Fuente: *Elaboración propia a partir de [6] (2009).*

Figura 3.12. Puente peatonal de la Carrera 7 con Calle 130



Fuente: Google Maps, Street View (noviembre de 2015).

- **Túnel peatonal**

Actualizando el presupuesto total de la **tabla 3.5** se tiene un costo en el año 2016 de **\$1.840.010.000** para un túnel peatonal de 100 m, lo que equivaldría a **\$18.001.000** el precio por ml, para el caso del sitio del pre-diseño es necesario una longitud de 30 m por lo que:

$$CD = \frac{\$ 18.001.000}{1m} * 30m$$

$$CD = \$ 390.030.000$$

3.2.1.2. Costos de operación y/o mantenimiento

- **Paso peatonal “Cebra”**

De la misma manera que en la comparación general, los costos de mantenimiento consisten en realizar la señalización horizontal nuevamente para la vía en cuestión **(No hay costos de operación)**.

$$C_{ma} = \$ 370.000$$

- **Puente peatonal**

El costo de mantenimiento para un puente peatonal hipotético en la Av. Jiménez se puede obtener con los costos de mantenimiento para un puente similar que queda igualmente sobre la Carrera 7, esta vez con calle 130 y cuyos costos de mantenimiento pueden observarse en la tabla 3.3. **(No existen costos de operación)**.

$$C_{ma} = \$ 4.681.000$$

- **Semáforo peatonal**

Costo operacional: Utilizando las mismas actividades descritas en la **tabla 3.7** se determina el costo total anual de operación, teniendo en cuenta las cantidades pertinentes para el cruce de la **Av. Jiménez**, como se muestra en la **tabla 3.13**.

Tabla 3.13. Costos de operación en un cruce semaforizado (Av. Jiménez)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	COSTO ANUAL UNITARIO (\$)	COSTO ANUAL (\$)
1	Consumo energético de controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales (2.628 kW por año)	Und	1	1.145.960	1.145.960
2	Consumo energético semáforo vehicular en policarbonato (3*200), (738 kW por año)	Und	9	321.811	2.252.677
3	Consumo energético semáforo peatonal en policarbonato (3*200), (492 kW por año)	Und	7	214.540	1.501.780
4	Costos de operación ANUALES en central de semáforos (incluye personal, programación y demás componentes)	GB	1	13.000.000	13.000.000
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL (Pesos colombianos)					17.900.417

Fuente: Elaboración propia, (2016).

Costos de mantenimiento: igualmente, se basan en la limpieza y pintura de los semáforos, así como en la reparación de sus componentes electrónicos y de control que dependen netamente de la central de semáforos y además de los costos de señalización horizontal mencionados anteriormente en el paso peatonal “cebra”, Esta vez para las cantidades de obra correspondientes al cruce de la Av. Jiménez con Cra. 12.

- **Túnel peatonal**

Costos operacionales: consisten únicamente en los costos energéticos:

$$\text{Consumo anual del tunel} = 350 \frac{\text{kW}}{\text{años}} * 14 = 4\ 900 \frac{\text{kW}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo anual del tunel} = 4\ 900 \frac{\text{kW}}{\text{año}} * \frac{\$ 436}{\text{kW}} = \$ 2.136.400 \text{ por año}$$

Costos de mantenimiento: los costos de mantenimiento para un túnel peatonal se reflejan en la **tabla 3.14** presentada a continuación.

Tabla 3.14. Actividades de mantenimiento en túneles peatonales (Av. Jiménez)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
1	Lavado a máquina	M2	250	5.581	1.395.250
2	Lavado a mano	M2	150	4.228	1.057.000
3	Limpieza de drenajes	ML	60	5.074	304.440
4	Vinilo tipo 1 a 2 manos	M2	50	7.500	375.000
5	Reparaciones en mortero y juntas de dilatación	M2	60	16.236	974.160
TOTAL COSTOS DIRECTOS DE MANTENIMIENTO					4.105.850
(Pesos colombianos)					

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

3.2.2. Análisis ambiental

3.2.2.1. Consumo energético

- **Semáforo peatonal**

El cruce actual de la avenida Jiménez cuenta con 9 semáforos vehiculares y 7 peatonales, en esta ocasión **las bombillas de los semáforos son halógenas** por lo que su consumo energético se incrementa hasta 5 veces en comparación con los de bombillas LED, estos consumos son de **3.690 kW/año** si es vehicular o **2.460 kW/año** si es peatonal, incluyendo el consumo hecho por el controlador de semáforos, en la **tabla 3.15** se presentan los consumos totales del cruce.

Tabla 3.15. Consumos energéticos del cruce semaforizado (Av. Jiménez)

ITEM	ACTIVIDAD	U.M.	CANT	CONSUMO ENERGETICO UNITARIO kW/año	SUBTOTAL CONSUMO ENERGETICO kW/año
1	Consumo energético de controlador c800VK con capacidad para 16 grupos vehiculares o peatonales	Und	1	2 268	2 268
2	Consumo energético semáforo vehicular HALÓGENO en policarbonato (3*200),	Und	9	3 690	32 210
3	Consumo energético semáforo peatonal HALÓGENO en policarbonato (3*200),	Und	7	2 460	17 220
TOTAL CONSUMO ENERGETICO (Pesos colombianos)					52 698

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

- **Túnel peatonal**

Para atravesar la Av. Jiménez es necesario un túnel peatonal con un largo de 30 m, la iluminación necesaria para éste consiste en cerca de 14 paneles LED de 1,2 m * 0,3 m, cada uno de estos paneles LED tiene un consumo aproximado anual de 350 kW/año según las especificaciones técnicas de algunos proveedores encontrados en el mercado.

$$\text{Consumo anual del tunel} = 350 \frac{\text{kW}}{\text{años}} * 14 = 4\ 900 \frac{\text{kW}}{\text{año}}$$

- **Puente y paso peatonal**

(No generan consumo energético)

3.2.2.2. Contaminación visual

- **Semáforo, puente, túnel y paso peatonal “Cebra”**

Corresponde al mismo análisis del... numeral 3.1.2.2...

3.2.2.3. Impacto auditivo

- **Semáforo, puente, túnel y paso peatonal “Cebra”**

Corresponde al mismo análisis del... numeral 3.1.2.3...

3.2.2.4. Contaminación atmosférica.

- **Semáforo, puente, túnel y paso peatonal “Cebra”**

Corresponde al mismo análisis del... numeral 3.1.2.4...

3.2.3. Predisposición de uso en los peatones

Un sistema de paso peatonal se vuelve atractivo para los ciudadanos por diferentes motivos, refiriéndose a la Calle 13 con Carrera 12 donde se pretende construir un túnel peatonal en reemplazo del semáforo peatonal, se analizan los motivos por los cuales estos sistemas podrían ser o no ser atractivos para los transeúntes, **entre éstos están las distancias y tiempos de recorrido, seguridad vial e infraestructura para discapacitados.**

3.2.3.1. Distancias y tiempos de recorrido

De igual manera... en el numeral 3.1.3.1... para evaluar la efectividad de los diferentes pasos peatonales en el sitio de pre-diseño, se realizaron mediciones de distancia por medio de pasos convencionales de una persona de 1,7 m de altura,

los cuales tienen una medida promedio de 0,7 m y de igual manera se evalúan mediante la **ecuación 3.1**.

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}}$$

- **Puente peatonal**

Para la evaluación de distancias y tiempos de recorrido de un puente peatonal hipotético en la Av. Jiménez se usaron parámetros de pre-diseño de puentes peatonales explicados... en el **numeral 3.2.5**...

$$\textit{Distancia de recorrido} = 154 \text{ m}$$

$$\textit{Tiempo de recorrido} = 2 \text{ min } 1 \text{ s}$$

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}}$$

$$\frac{154 \text{ m}}{27 \text{ m}} = 5,7$$

- **Túnel peatonal**

Se usa como referencia el túnel peatonal aledaño a la Universidad Javeriana, incrementando la distancia de éste con relación al cruce de la Av. Jiménez se tienen las siguientes mediciones:

$$\textit{Distancia de recorrido} = 70,4 \text{ m}$$

$$\textit{Tiempo de recorrido} = 57 \text{ s}$$

$$\textit{Relacion efectiva de distancia} = \frac{\textit{Distancia recorrida}}{\textit{Distancia de la vía}}$$

$$\frac{70,4 \text{ m}}{27 \text{ m}} = 2,6$$

Las distancias y tiempos de recorrido del túnel en comparación con un paso elevado **se reducen en un 55%**, superando ampliamente los beneficios que podría ofrecer un posible puente peatonal ubicado en la zona de pre-diseño.

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

Actualmente se encuentra un semáforo peatonal que **obstaculiza el recorrido tanto de los peatones como de los conductores en pequeños lapsos de tiempo**, en la mayoría de los casos los peatones llegan hasta la mitad del recorrido y deben esperar una vez más la señal verde del semáforo peatonal **figura 3.13**.

Figura 3.13. Represamiento de peatones en el semáforo peatonal de la Av. Jiménez



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Semáforo peatonal en rojo = 22 s

Semáforo peatonal en verde = 22 s

Al tiempo de espera en rojo se le suma el tiempo de recorrido para atravesar la vía (22 s), éste sería el más crítico tiempo de espera para el peatón:

Tiempo de recorrido = 44 s

3.2.3.2. Seguridad vial para el peatón

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

Se han mencionado los riesgos a los que está expuesto un peatón al cruzar estos dos tipos de cruces peatonales, más por el hecho de la imprudencia y error humano que por la naturaleza y eficiencia de dichos cruces, **es específicamente en este cruce (Av. Jiménez con carrera 12) en donde se ven reflejadas en mayor intensidad todas éstas imprudencias y riesgos.**

Los tiempos de espera del semáforo son de 22 s, lo que produce impaciencia y ansiedad en los transeúntes para cruzar las vías de Transmilenio, arriesgando de manera imprudente sus vidas **figura 3.14**, esta situación fue comprobada durante los aforos realizados para el pre-diseño... **capítulo 5 (Aforos de movilidad y demanda)**...

Figura 3.14. Imprudencia peatonal en el cruce de la Av. Jiménez



Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

En la **figura 3.14** se ilustra como una persona trata de cruzar hacia la carrera 12 a través de 2 buses articulados, que normalmente se encuentran represados por la luz roja del semáforo, un sin número de estas situaciones se pueden observar a diario en esta zona, **por lo que un semáforo peatonal o un cruce tipo cebra NO representan una garantía a la seguridad vial del peatón.**

- **Puente peatonal**

Un puente peatonal podría cumplir el objetivo de independizar el flujo vehicular del peatonal, disminuyendo los riesgos para las dos partes implicadas, pero con los tiempos y distancias de recorrido tan exagerados de éste, perdería su objetivo inicial y **la poca predisposición que tendrían los peatones para cruzarlos harían que el puente peatonal NO fuera una solución a la seguridad vial en éste sector.**

- **Túnel peatonal**

Un túnel por el contrario cuenta con **tiempos de recorrido menos extensos** e independizaría los flujos de movilidad, el túnel peatonal de la javeriana tiene una muy buena demanda de uso y las condiciones de este túnel serían similares a las que tendría el de la Av. Jiménez, **los accesos al sistema integrado Transmilenio se harían a través de dicho túnel** y sus entradas estarían diseñadas para cumplir con el caudal de personas observado durante los aforos de movilidad y demanda, **así el sector contaría con LA SOLUCIÓN MÁS ÓPTIMA al desorden que allí se presenta.**

3.2.3.3. Infraestructura para personas con discapacidad

Aunque durante los aforos de movilidad y demanda no se observaron cantidades significativas de personas con discapacidad, los carros de transporte de mercancía, carros de ventas ambulantes, ciclas, etc. son muy frecuentes en el cruce de la Av. Jiménez con carrera 12, siendo así necesario un efectivo diseño y adecuada implementación de rampas o infraestructura para personas con discapacidad y demás.

- **Semáforo y paso peatonal “Cebra”**

Ahora bien, las infraestructuras que estos sistemas prestan para las personas discapacitadas, ciclas o para carros de transporte de mercancía “zorras” consisten en **pequeñas rampas** que permiten el fácil flujo de las personas discapacitadas y de los comerciantes que por allí transitan, pero es incómodo para éstos cuando deben **esperar varios segundos mientras que la luz del semáforo permite el cruce**, adicionalmente al cruzar **se encuentran con los vehículos que quedan represados por los semáforos de esta zona** y se ven obligados a esperar más tiempo o a atravesarse por pequeños espacios que quedan entre vehículos.

- **Puente peatonal**

Las rampas de un puente peatonal que cumplan con las especificaciones técnicas son de una extensa longitud, **de los 154 m de longitud que tendría un puente hipotético, 124 m corresponden únicamente a las rampas** por lo que no sería nada fácil transportar mercancía, o que una persona con discapacidad atravesara un puente peatonal en este sitio.

- **Túnel peatonal**

Un túnel peatonal posee un tipo de infraestructura para discapacitados similar al de un puente peatonal, pero las rampas de acceso son mucho más cortas y como fue explicado anteriormente, un peatón tiende a preferir descender primero y luego subir.

3.2.4. Aporte al tránsito vehicular

- **Paso peatonal “Cebra”**

Implementar únicamente una cebra peatonal en el lugar de pre-diseño para intentar mejorar la movilidad vehicular de ese punto, sería una solución anárquica con la cual **se dejaría al azar la seguridad del peatón**.

- **Semáforo peatonal**

Desde los planteamientos iniciales de este proyecto de grado **se ha mencionado la gran interrupción a la movilidad de los articulados y carros particulares que**

producen los dos semáforos que allí se ubican, figura 3.15, durante una señal roja del **semáforo del costado sur** del cruce, pueden quedar represados hasta 6 articulados de Transmilenio, de los cuales la mayoría de veces, más de la mitad de estos vehículos se encuentra de nuevo con una nueva señal roja, esta vez del **semáforo del costado norte** del cruce.

Figura 3.15. Represamiento de articulados ocasionados por el semáforo peatonal



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

- **Puente y túnel peatonal**

Indudablemente para el aporte a la movilidad está la opción de un puente o túnel peatonal, que permita independizar el flujo vehicular del flujo peatonal, ofreciendo una seguridad para ambas partes y favoreciendo la movilidad del sector, **siendo el túnel la mejor opción.**

3.2.5. Modelación del diseño de un puente peatonal ubicado en el punto de pre-diseño (calle 13 con carrera 12)

Se realiza la modelación de un puente peatonal hipotético con el que se pretende exponer como sería el funcionamiento de un paso elevado en este punto de la ciudad, con este modelo se puede evidenciar la distancia que recorrería una persona al utilizar dicho puente, lo cual parece una solución poco opcional para mejorar el flujo en este punto de la ciudad. El programa de modelación utilizado es AutoCAD en el que se hizo un diseño de un puente peatonal convencional con las siguientes condiciones de pre-dimensionamiento.

- **Ancho de la vía**

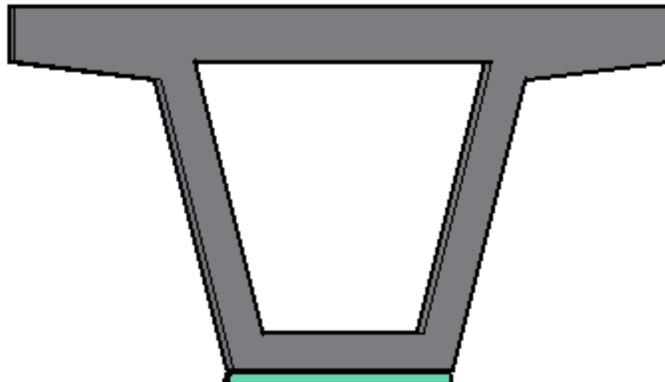
El ancho de la vía que el puente esquemático pretende cruzar es de **28 m** sin aceras, se obtuvo mediante la herramienta *Google Earth* y fue confirmada por una medición en campo hecha en el sitio real de ubicación del puente, **figura 3.17.**

- **Dimensiones del puente**

Para el dimensionamiento básico del puente se utilizaron las especificaciones técnicas del “**Decreto 279 de 2003 para Puentes Peatonales**”.

- **Gálibo:** Teniendo en cuenta el tránsito de la calle 13 que consta de articulados de Transmilenio y vehículos particulares en la calzada pública, además en concordancia con las especificaciones del IDU, el gálibo del puente será de **5 m** medidos a partir de la rodadura.
- **Pendiente de rampas:** Las pendientes de las rampas para el acceso del puente peatonal no pueden superar el 12 % para el respeto de las condiciones de las personas discapacitadas que usarían el puente. **Para el presente diseño se utilizara una pendiente de 8%, figura 3.19.**
- **Ancho de rampas:** Para un fácil flujo de personas se usa el ancho recomendado de **2,40 m**, medido de borde a borde.
- **Longitud total del puente:** Teniendo en cuenta el ancho de la vía y las longitudes resultantes de las rampas con pendientes de 8%; el largo total resultante del puente es de **154 m**.
- **Cajón Transversal:** Se usa un cajón transversal típico de un puente peatonal de concreto **figura 3.16.**

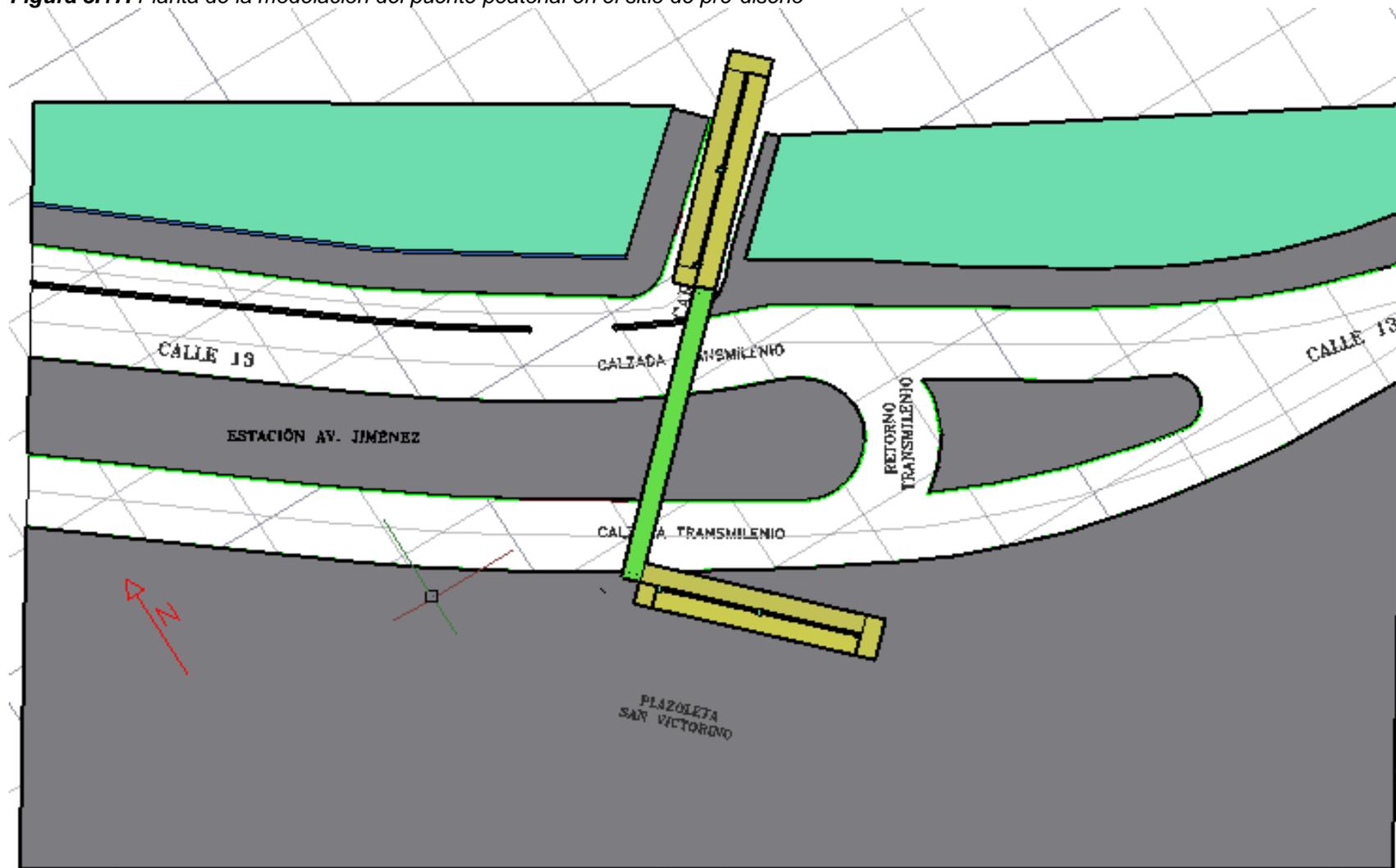
Figura 3.16. Cajón transversal del puente peatonal



Fuente: Elaboración propia, (Julio 2016).

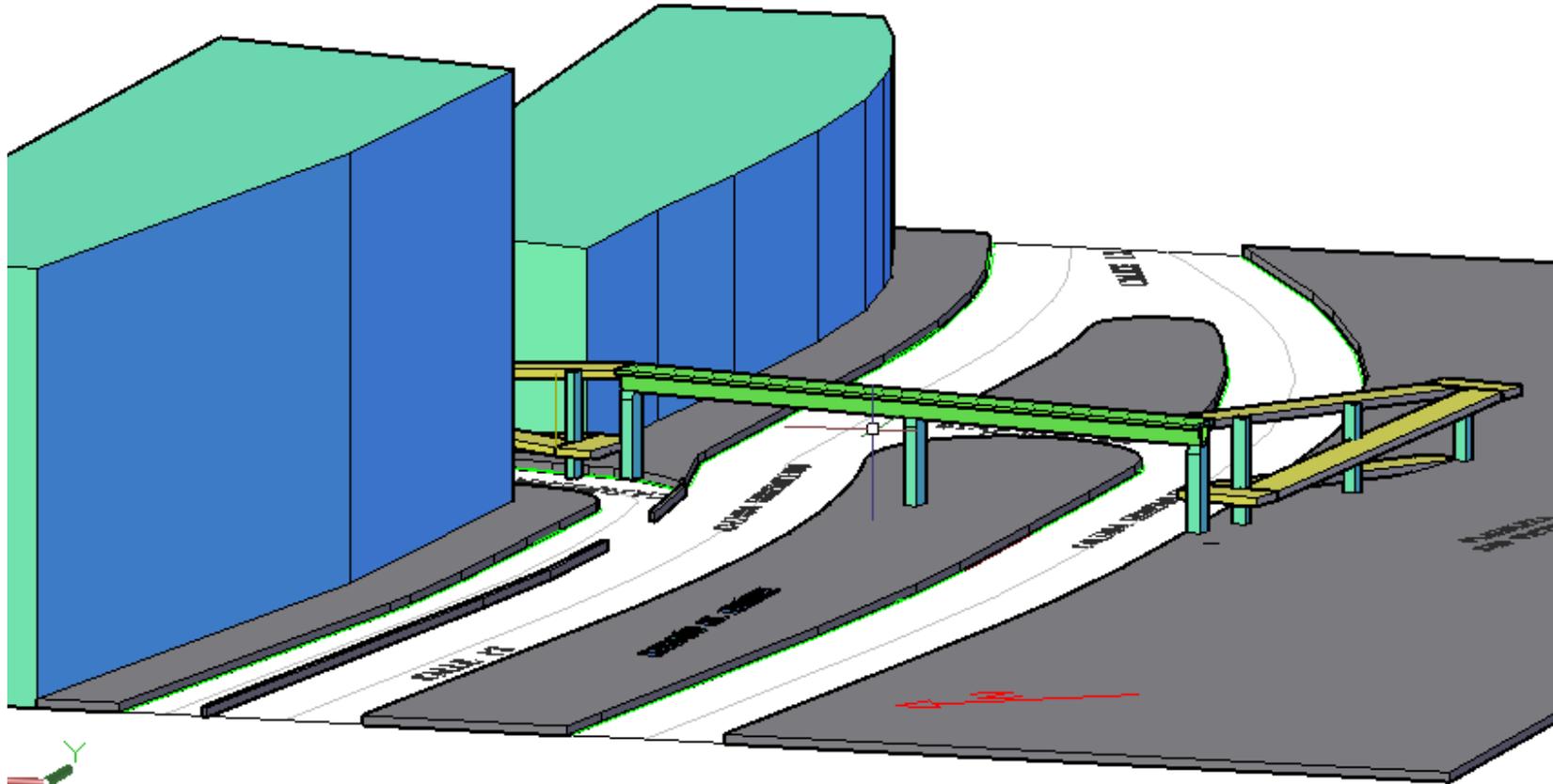
- **Columnas:** Se ubicaron las columnas de tal manera que no obstaculizaran ni interrumpieran el tránsito tanto peatonal como vehicular, sus secciones transversales son similares a las de otros puentes peatonales en la ciudad.
- **Aceras, vías y construcciones:** Para el dimensionamiento de estas estructuras, se utilizó el plano diseño de la Estación de San Victorino del contrato IDU 504 de 2001, **figura 3.18.**

Figura 3.17. Planta de la modelación del puente peatonal en el sitio de pre-diseño



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

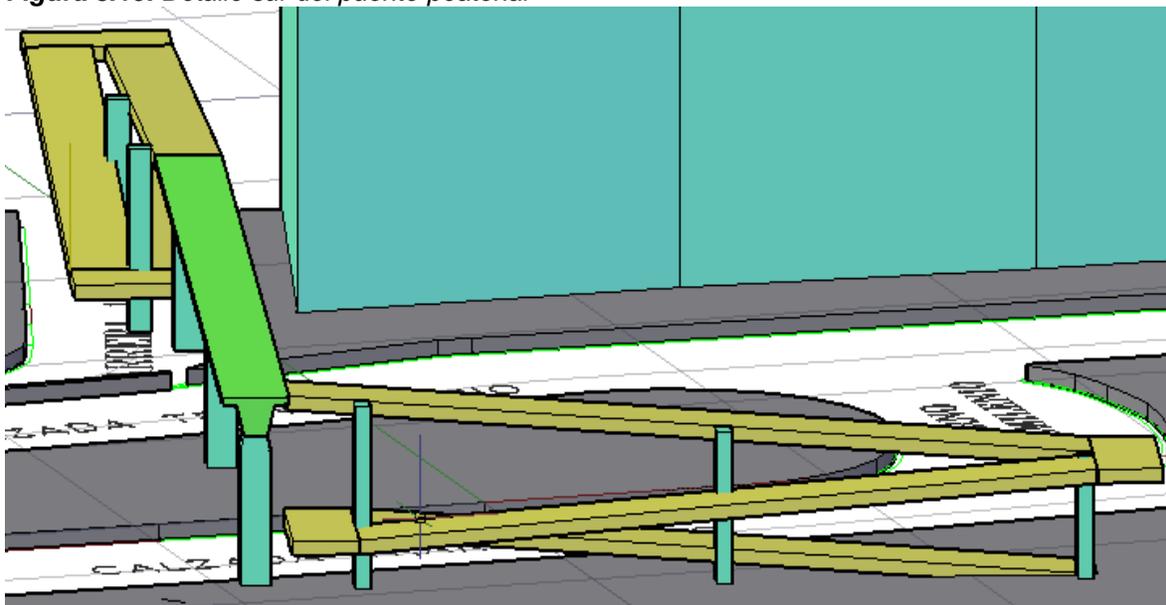
Figura 3.18. Perspectiva occidental del modelo del puente peatonal en la Av. Jiménez



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016). En color gris se puede observar las aceras actuales de la plaza de San Victorino, la Av. Jiménez y la carrera 12, en color azul las edificaciones en el costado norte del cruce peatonal, las rampas de acceso al puente tienen un color amarillo y en color verde está la superestructura.

El modelo de solución que ofrece un puente peatonal ocupa gran cantidad de espacio público, genera un gran impacto a la cuenca visual del peatón, tiene tiempos y distancias de recorrido muy altos y su infraestructura para personas con discapacidad no es muy efectiva, inclusive, los accesos al sistema integrado de transporte no podrían hacerse mediante rampas debido al poco espacio disponible.

Figura 3.19. Detalle sur del puente peatonal



Fuente: Elaboración propia (julio 2016).

3.3. ANÁLISIS DE ENCUESTAS

Con el objetivo de conocer la opinión de los posibles usuarios del túnel en estudio, se realizaron dos encuestas; una de éstas se realizó directamente en el sector donde se pretende construir el túnel peatonal y la otra encuesta se realizó por medio de la red social “Facebook”.

A continuación se presenta un análisis sobre las encuestas realizadas.

3.3.1. Encuesta en sitio de pre-diseño

Esta encuesta se realizó en sitios cercanos al punto de estudio y a usuarios de Transmilenio que hacen uso del paso peatonal ubicado en la Calle 13 con carrera 12, **contiene 10 preguntas** en las que se involucran **tiempos de recorrido, visualización, estética, uso del paso peatonal existente y el paso peatonal propuesto**., Adicionalmente, se involucran los puntos de vista tanto ambientales como económicos, tal como lo muestra el esquema de encuesta incluido en el **anexo A**, esto con el fin de conocer la opinión de los usuarios de Transmilenio y transeúntes de la zona para tener una conclusión clara con respecto a la factibilidad de construir un túnel peatonal en dicho punto de estudio, **tabla 3.16**, esta encuesta se le realizó a un total de **30 personas**.

Tabla 3.16. Resultados globales de encuestas en sitio de pre-diseño

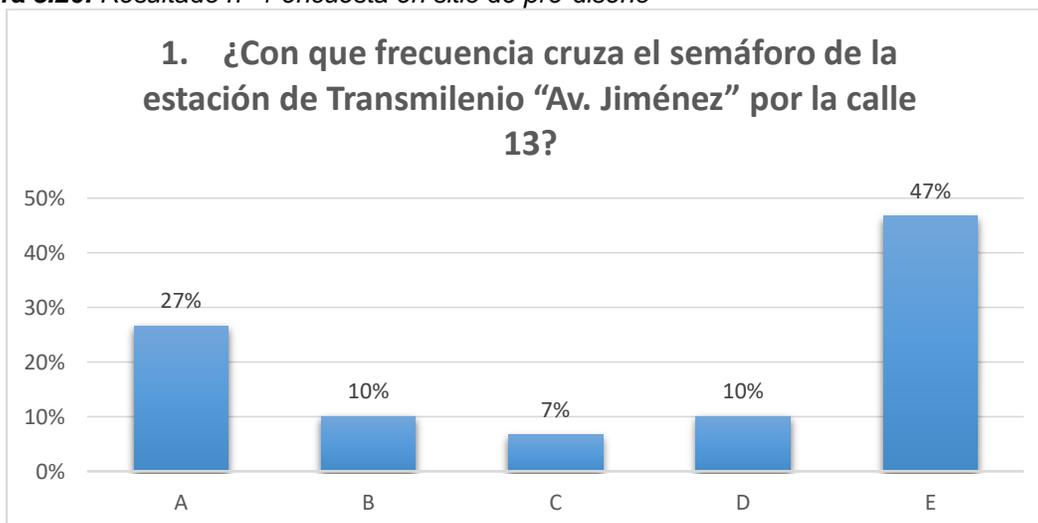
RESULTADOS ENCUESTA EN PUNTO DE ESTUDIO					
	A	B	C	D	E
1. ¿Con que frecuencia cruza el semáforo de la estación de Transmilenio “Av. Jiménez” por la calle 13?	27%	10%	7%	10%	47%
2. Qué cantidad de articulados usualmente ve estacionados por la luz roja cuando cruza dicho semáforo?	47%	53%	0%	-	-
3. ¿Cuánto tiempo en promedio cree que le toma esperar el cambio de la luz del semáforo generalmente?	10%	47%	30%	13%	-
4. Cuan útil considera usted mejorar el flujo tanto peatonal como vehicular en este punto de la ciudad?	50%	47%	3%	-	-
5. Si en este punto peatonal de la ciudad se construyera un túnel peatonal, ¿Cuánto tiempo cree que le tomaría cruzar este túnel?	10%	23%	23%	43%	-
6. Si se construye un túnel peatonal en este punto de la ciudad, ¿usted haría uso de este?	97%	3%	-	-	-
7. ¿Qué tan seguro le parece cruzar el semáforo de la estación de Transmilenio “Av. Jiménez por la calle 13?”	3%	7%	50%	30%	10%
8. ¿Que tan seguro le parece cruzar un túnel peatonal es este punto de la ciudad (Calle 13 con Carrera 12)?	23%	30%	47%	0%	0%
9. ¿Qué tanto cree usted que le aportaría al aspecto visual de la ciudad la construcción de un túnel peatonal en este punto (Calle 13 con Carerra 12)?	83%	13%	3%	-	-
10. ¿Considera usted que la construcción de un tunel en este punto (Calle 13 con Carrera 12) le aporta al sector del comercio?	47%	33%	20%	-	-

Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).*

- **Respuesta n° 1**

En la **figura 3.20** se observa que el porcentaje más alto de los transeúntes encuestados, fue para la respuesta **E: esporádicamente hacen uso de este paso peatonal**, respuesta que se esperaba no obtuviera el mayor porcentaje, debido a que son personas que no conocen el constante tránsito de personas y tal vez tampoco conocen la necesidad de tener un túnel peatonal en este punto de la ciudad, pero tampoco se puede subestimar sus opiniones y puntos de vista, puesto que son de gran importancia para el desarrollo de este proyecto.

Figura 3.20. Resultado n° 1 encuesta en sitio de pre-diseño

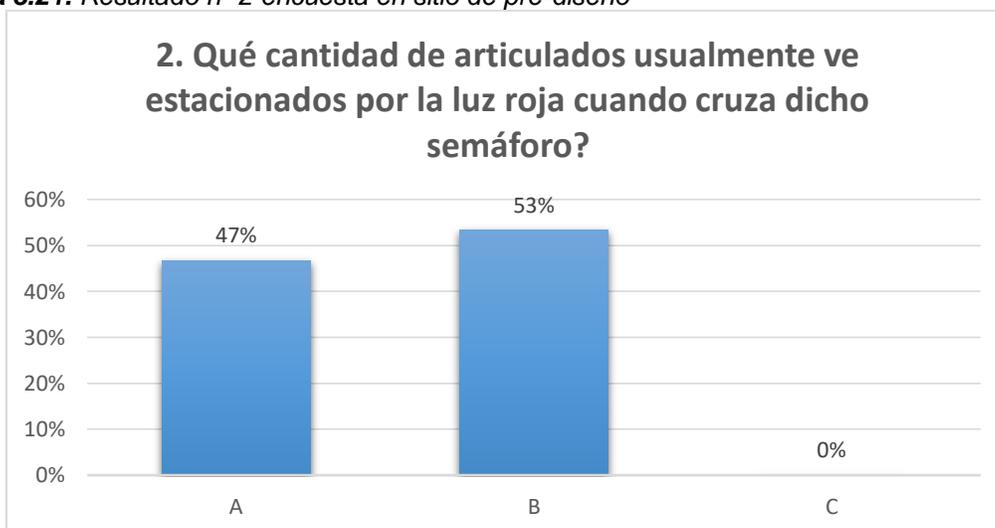


Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).* Respuestas: (A). Todos los días, (B). Entre 2 y 4 veces a la semana, (C). Una vez por semana, (D). Pocas veces al mes, (E). Esporádicamente.

- **Respuesta n° 3**

El resultado obtenido de la pregunta 2 afirma que frecuentemente existe una gran cantidad de articulados que se represan a causa del semáforo en el paso peatonal, **figura 3.21**, entre mayor es el número de articulados represados existe una mayor probabilidad de que éstos queden represados en el segundo semáforo del cruce peatonal y de que obstruyan el paso peatonal. Este tipo de necesidad es la causa del planteamiento de uno de los objetivos de este proyecto, el cual es reducir los tiempos de recorrido de los buses del sistema Transmilenio que transitan por la Calle 13.

Figura 3.21. Resultado n° 2 encuesta en sitio de pre-diseño

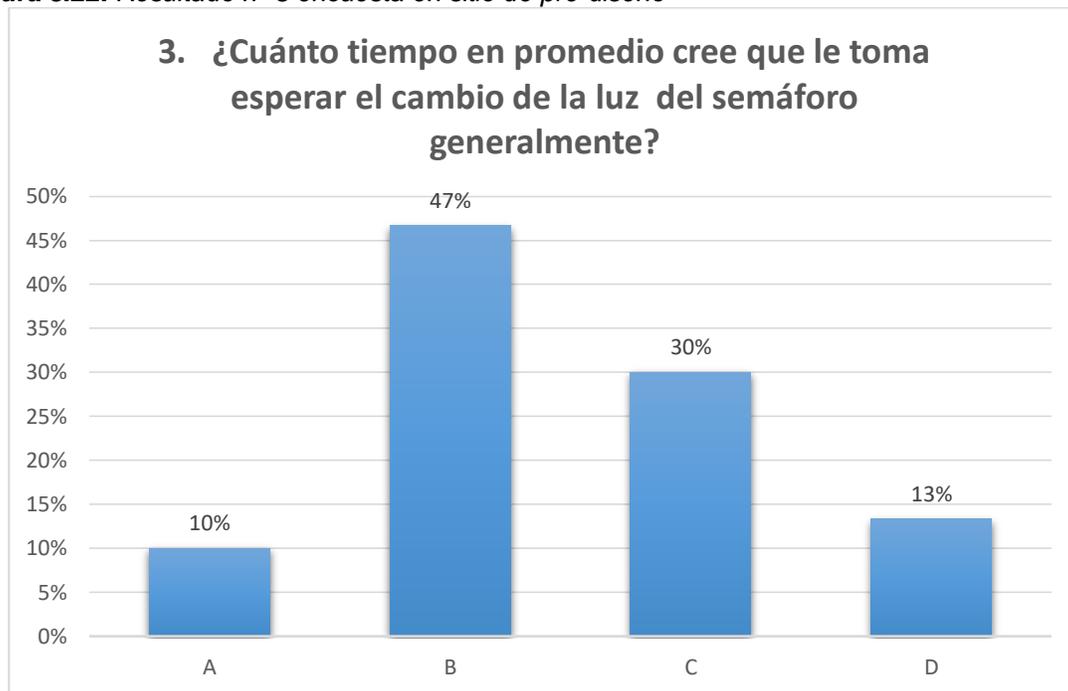


Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).* Respuestas: (A). Más de 3 articulados, (B). 1 o 2 articulados, (C). Ningún articulado.

- **Respuesta n° 3**

Al momento de analizar los resultados de la **figura 3.22** se observa que la intención de los usuarios fue de **comunicar la impaciencia de ellos en el momento de esperar el cambio de luz del semáforo**, ya que la respuesta con mayor porcentaje es entre 3 y 5 minutos. Se cronometró el tiempo real en el cruce peatonal y se obtuvo un tiempo de 22 segundos de espera para el cambio de luz. **Este tipo de ansiedad que genera la espera de una señal verde para avanzar, es la que causa molestias y retrasos en los tiempos de los usuarios**, muchos de éstos no esperan los escasos 22 segundos y atraviesan de manera incorrecta el cruce peatonal.

Figura 3.22. Resultado n° 3 encuesta en sitio de pre-diseño



Fuente: *Elaboración propia (mayo de 2016).* Respuestas: (A). 5 o más minutos, (B). Entre 3 y 5 minutos, (C). Entre 1 y 3 minutos, (D). 1 minuto o menos.

- **Respuesta n° 4**

Los porcentajes de respuesta para la pregunta 4; **figura 3.23**, son muy concretos con respecto a lo que solicitan los transeúntes de la zona, pues son conscientes del alto flujo de personas que usan este paso peatonal y también son conscientes del represamiento de articulados que genera el mismo, **por lo que se considera entre útil y muy útil el mejoramiento del flujo tanto peatonal como vehicular.**

Figura 3.23. Resultado n° 4 encuesta en sitio de pre-diseño

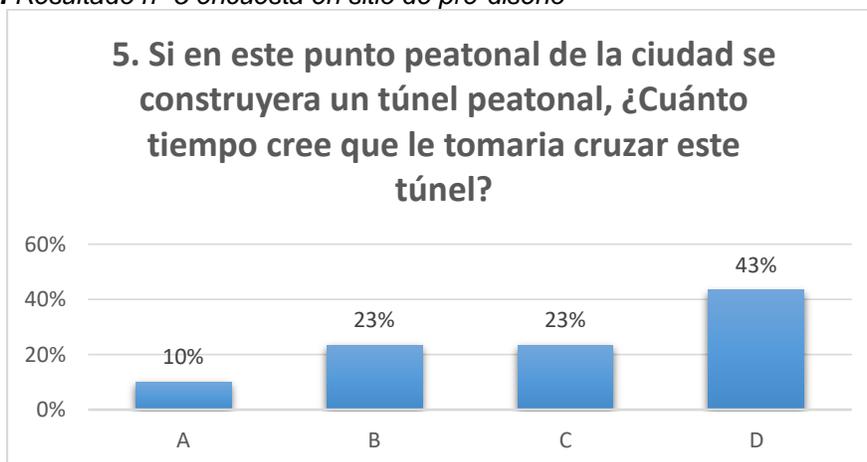


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016). Respuestas: (A). Muy útil, (B). Útil, (C). Inútil.

- **Respuesta n° 5**

Los usuarios consideran que el tener un túnel peatonal en este punto de la ciudad reducirá notablemente su tiempo de recorrido **figura 3.24**, si se compara con el tiempo de recorrido que ellos asumen en el paso peatonal existente se puede observar que la diferencia de recorrido está entre 2 y 3 minutos, **aunque de cierta manera el tiempo de recorrido del semáforo actual es algo menor al de un hipotético túnel, el último cuenta con un flujo constante de personas durante todo su trayecto**, por lo que la ansiedad y estrés causado por la espera de una señal verde no existiría.

Figura 3.24. Resultado n° 5 encuesta en sitio de pre-diseño

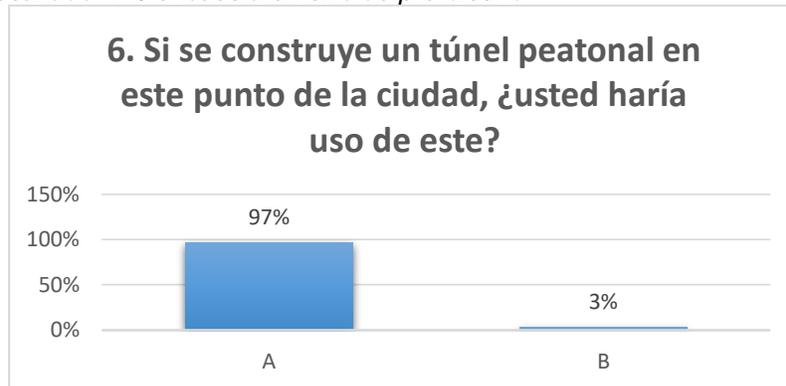


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016). Respuestas: (A). 5 minutos o más, (B). entre 3 y 5 minutos, (C). menos de 3 minutos, (D). 1 minuto o menos.

- **Respuesta n° 6**

Mediante... el **capítulo 5... (Aforos de movilidad y demanda)** se ha comprobado la enorme cantidad de personas que podrían usar un túnel en este lugar, sin embargo, se evaluó la perspectiva que tienen los transeúntes sobre cruzar dicho túnel; **hubo un gran porcentaje de respuestas favorables, figura 3.25, concluyendo que en el momento de construir un túnel peatonal en este punto de la ciudad, éste tendrá un alto recibimiento por parte de los ciudadanos,** teniendo en cuenta que de un 100%, el 97% preferiría hacer uso de éste.

Figura 3.25. Resultado n° 6 encuesta en sitio de pre-diseño

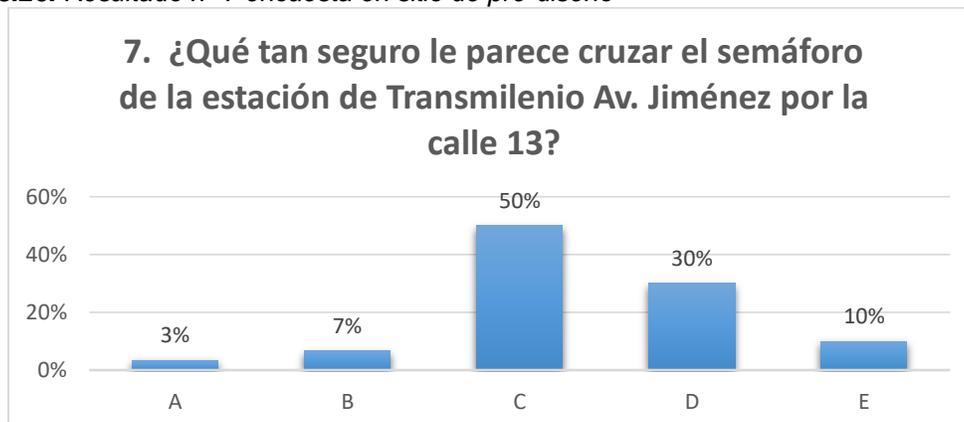


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016). Respuestas: (A). si, (B). no.

- **Respuesta n° 7**

La mitad de los encuestados fue imparcial con respecto a la seguridad en el cruce peatonal, sin embargo, un 40% de las respuestas está entre inseguro y muy inseguro, **figura 3.26, estas opiniones se derivan de aquellas personas que constantemente transitan por este lugar de la ciudad** y son conscientes de los diversos riesgos de tránsito a los que se exponen los usuarios de Transmilenio y comerciantes que usan constantemente este paso peatonal.

Figura 3.26. Resultado n° 7 encuesta en sitio de pre-diseño

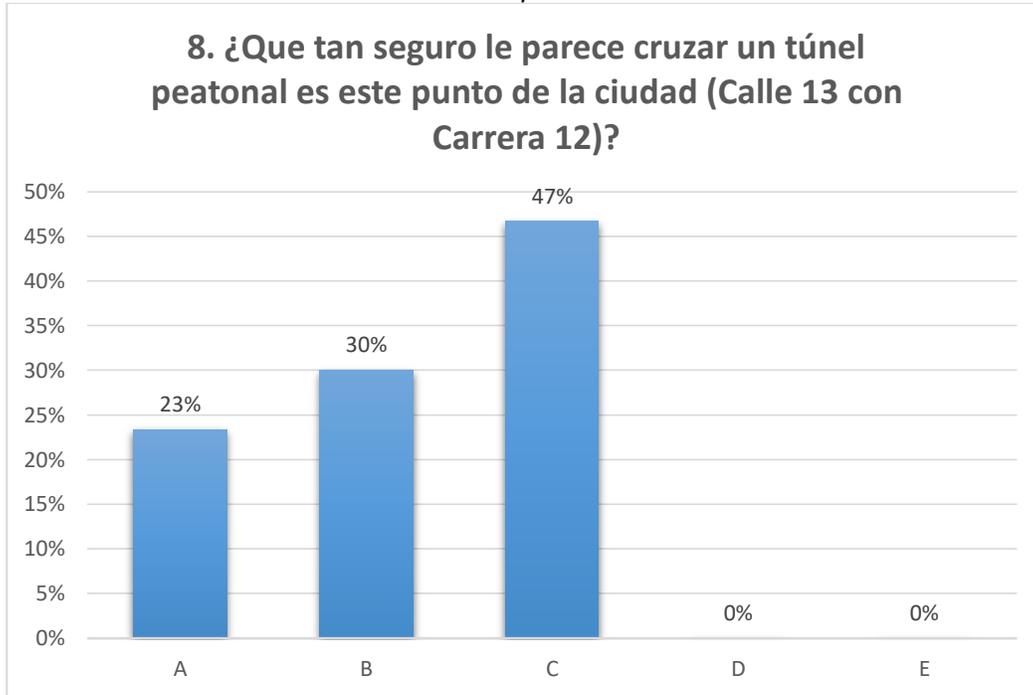


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016). Respuestas: (A). Muy seguro, (B). seguro, (C). Normal, (D). inseguro, (E). Muy inseguro.

- **Respuesta n° 8**

Comparando estas opiniones con las de la **pregunta N° 7**, se observa una similitud en cuanto a la respuesta “normal”, pero esta vez un 53% de los encuestados consideran que el tener un túnel peatonal en esta zona de la ciudad generaría más seguridad **figura 3.27**. Los usuarios se sentirían más cómodos cruzando un paso subterráneo que evita los incidentes y represamientos de tránsito, confirmando aún más la viabilidad de construir un túnel peatonal en este punto de la ciudad.

Figura 3.27. Resultado n° 8 encuesta en sitio de pre-diseño



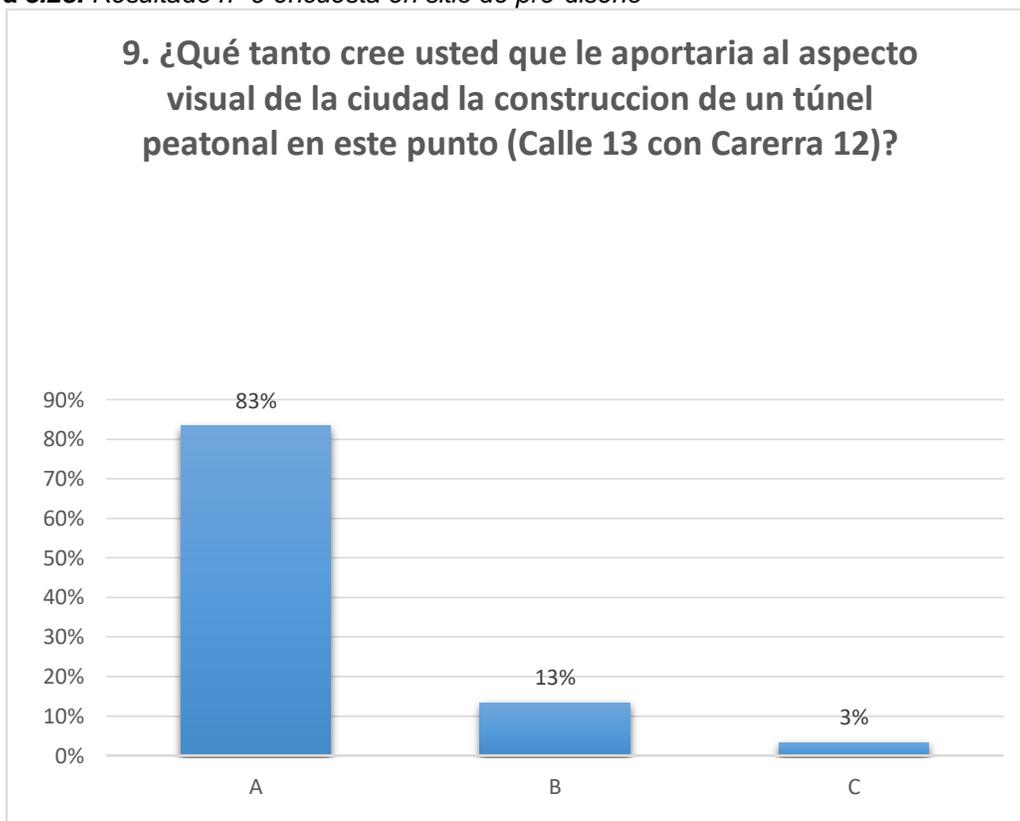
Fuente: *Elaboración propia (Mayo de 2016).* Respuestas: (A). Muy seguro, (B). seguro, (C). Normal, (D). Inseguro, (E). Muy inseguro.

- **Respuesta n° 9**

Es evidente que las construcciones siempre tienden a estar guiadas hacia lo novedoso y estético para los usuarios, y más en estos puntos de la ciudad, donde el alto tránsito de personas se puede confundir o asimilar como un desorden urbano.

Las infraestructuras que tienen un óptimo uso del suelo urbano y ocupan muy poco espacio público nivelarían el aspecto visual en un sector atiborrado de construcciones antiguas, estaciones de Transmilenio, comercio informal, vehículos, etc., por lo que los transeúntes consideran que la construcción de este tipo de pasos peatonales aportaría en gran medida a la ciudad de Bogotá **figura 3.28; este aporte sería efectivo siempre y cuando el túnel cuente con un buen aspecto visual y mantenimientos periódicos referenciados por las normas vigentes.**

Figura 3.28. Resultado n° 9 encuesta en sitio de pre-diseño



Fuente: *Elaboración propia (Mayo de 2016).* Respuestas: (A) Le aporta en gran medida, (B) Le aporta en poca medida, (C) No le aporta.

- **Respuesta n° 10**

En el centro de la capital colombiana el sector más dinámico es el comercial, por lo que también se incluye este tipo de pregunta en dicha encuesta, con relevancia la respuesta con mayor porcentaje afirma que la construcción de un túnel peatonal en este punto de la ciudad le aportaría en gran medida al sector comercial **figura 3.29**, **no sólo porque sea posible un aumento significativo en el comercio, sino también porque muchos de estos comerciantes utilizan a diario y varias veces al día este paso peatonal para transportar mercancía.**

Es de esperar que muchos se sientan seguros con un cruce subterráneo que les dé más tranquilidad y libertad durante el transporte de mercancía o de pequeños carros ambulantes que usan para su sustento diario.

Figura 3.29. Resultado n° 10 encuesta en sitio de pre-diseño



Fuente: *Elaboración propia (Mayo de 2016).* Respuestas: (A). Le aportan en gran medida, (B). le aportan en poca medida, (C). No le aportan.

3.3.2. Encuesta general.

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos de este proyecto es sustentar la importancia del desarrollo de infraestructura subterránea peatonal en la ciudad de Bogotá, se realizó una encuesta por medio de redes sociales conocidas como **Facebook y Whatsapp**. La encuesta consta de 10 preguntas en las que se busca comparar la efectividad de los diferentes tipos de pasos peatonales existentes. En estas preguntas se incluyen temas de seguridad, medio ambiente, beneficios sociales, flujo vehicular y flujo peatonal, adicional también se incluyen dos preguntas abiertas en las que los encuestados aportan su opinión con respecto a los beneficios que pueden obtener en el momento de aumentar el desarrollo de infraestructura subterránea peatonal y los beneficios que recibirá la movilidad por la misma causa. Para los resultados de esta encuesta se obtuvieron datos significativos que acreditan el Túnel peatonal como uno de los pasos peatonales más seguros y cómodos para el usuario **tabla 3.17**.

Tabla 3.17. Resultados de encuesta general.

RESULTADOS DE LA ENCUESTA GENERAL					
¿Cuál de los 4 metodos de regulacion cree usted que...	Túnel peatonal	Semáforo peatonal	Puente peatonal	Paso peatonal (Cebra)	Ninguno paso peatonal
1. es el más recurrente en la ciudad de Bogotá?	28%	28%	28%	11%	6%
2. produce más agotamiento físico al cruzarlo?	56%	0%	17%	11%	17%
3. es más seguro en cuanto a accidentalidad peatonal?	85%	0%	5%	5%	5%
4. es más seguro en cuanto a vandalismo?	35%	25%	25%	5%	10%
5. tiene más tiempo de recorrido?	45%	15%	20%	10%	10%
6. hace más eficiente la movilidad?	75%	5%	10%	5%	5%
7. más aporta a la estética visual de la ciudad?	70%	5%	10%	5%	10%
8. debería ser el más recurrente en la ciudad?	80%	10%	5%	0%	5%
9. genera menos impacto ambiental en su funcionamiento?	42%	5%	16%	11%	26%
10. tiene más facilidades de uso para personas discapacitadas?	80%	10%	5%	0%	5%

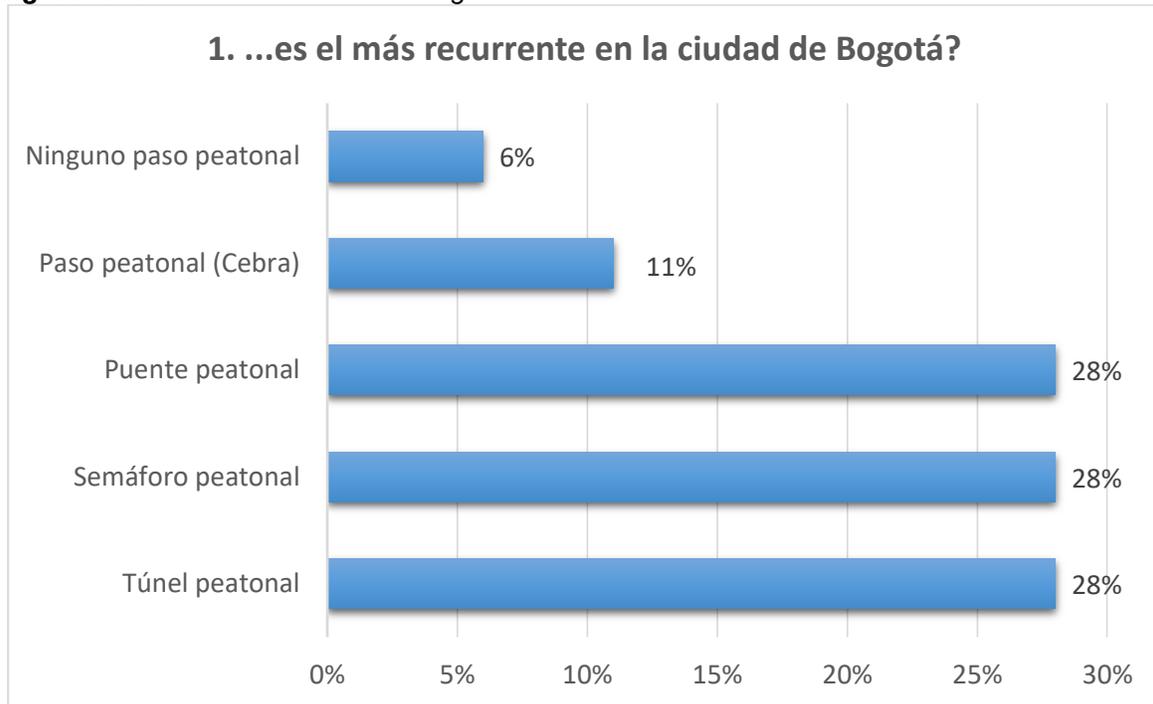
Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 1**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **figura 3.30**, se observa que los ciudadanos perciben que en Bogotá existen cantidades similares entre túneles peatonales, puentes peatonales y semáforos peatonales, pero existe un estudio realizado por el **IDU (Instituto de Desarrollo Urbano)**, donde presentan un inventario de pasos peatonales elevados, “con un total de 409 Puentes peatonales existentes en Bogotá en el año 2015” [11].

También existe un informe publicado por El Tiempo donde revelan la cantidad de semáforos peatonales para el año 2008, con un total de **3733 módulos de paso peatonal** y teniendo en cuenta el análisis e investigación realizado en este proyecto de grado, la cantidad de **túneles peatonales públicos** no supera ni el 10% de los puentes existentes y mucho menos el de los semáforos.

Figura 3.30. Resultado n° 1 encuesta general

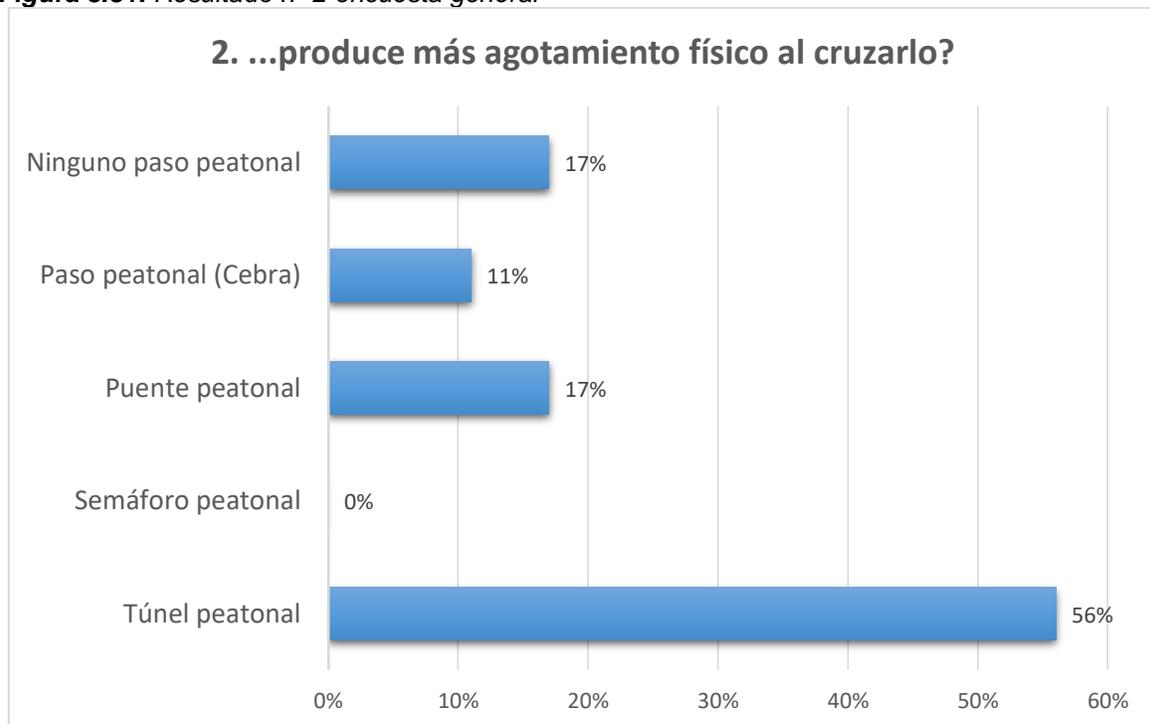


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 6**

Este tipo de porcentaje subjetivamente alto hacia el túnel peatonal en la figura **3.31** es debido a que la gran mayoría de ciudadanos conoce y ha transitado por los túneles construidos por Transmilenio para comunicar estaciones, por ejemplo **Ricaurte y Av. Jiménez**, estos túneles tienen recorridos muy extensos debido a las necesidades que deben satisfacer, ésto se vuelve incómodo para los usuarios y por tal razón se relaciona como uno de los pasos peatonales que produce más agotamiento físico, sin embargo, se ha conocido las diferencias abismales entre las distancias recorridas en pasos elevados y en pasos subterráneos mencionados... en los **numerales 3.1.3.1 y 3.2.3.1**... Adicionalmente, es importante conocer que esta causa podría ser una de las excusas utilizadas por los transeúntes para no hacer uso de estas infraestructuras subterráneas, por lo cual desde que se ha venido desarrollando este proyecto, se identificó que ésta es una de las grandes dificultades a las que se debe dar solución dentro del pre-diseño.

Figura 3.31. Resultado n° 2 encuesta general



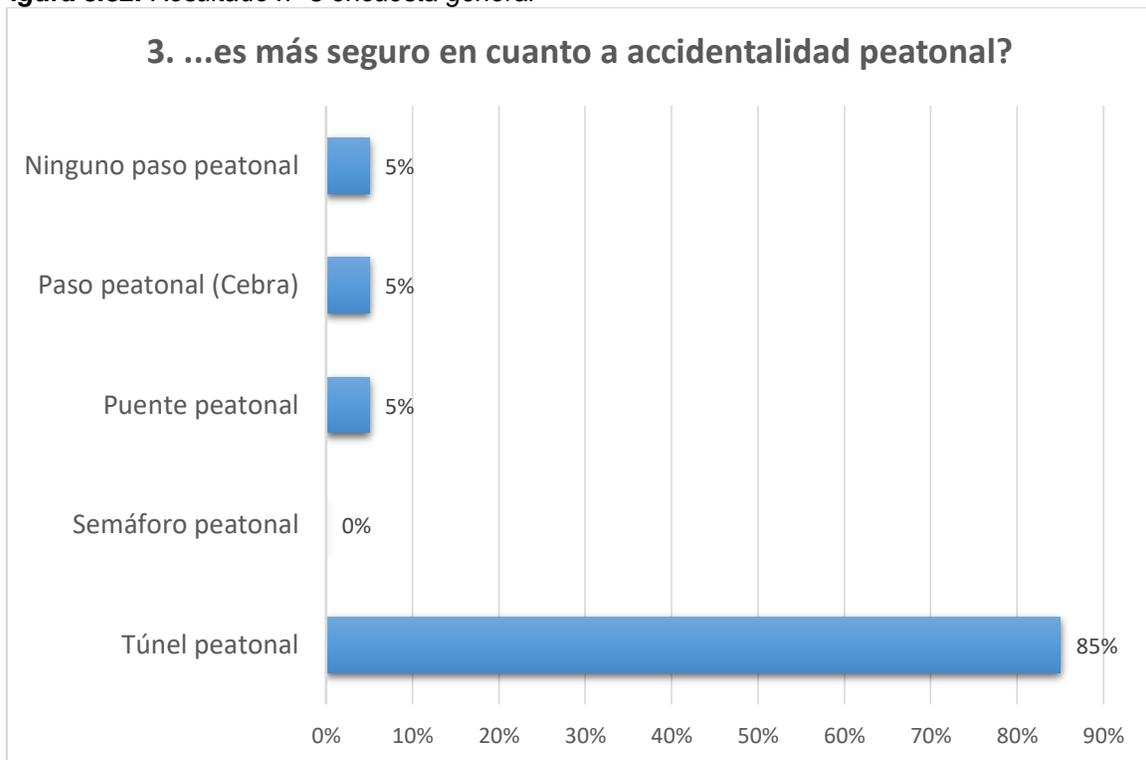
Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 3**

Durante el desarrollo de este proyecto se ha mencionado en diferentes ocasiones las causas por las que se crea el objetivo de construir más túneles peatonales, entre estas causas está la accidentalidad peatonal, lo cual es evidente en los resultados de esta pregunta.

Teniendo un 85% de favorabilidad por parte de los ciudadanos figura 3.32, que consideran el túnel peatonal como el paso peatonal que les ofrece mayor seguridad ante accidentes y riesgos de tránsito.

Figura 3.32. Resultado n° 3 encuesta general

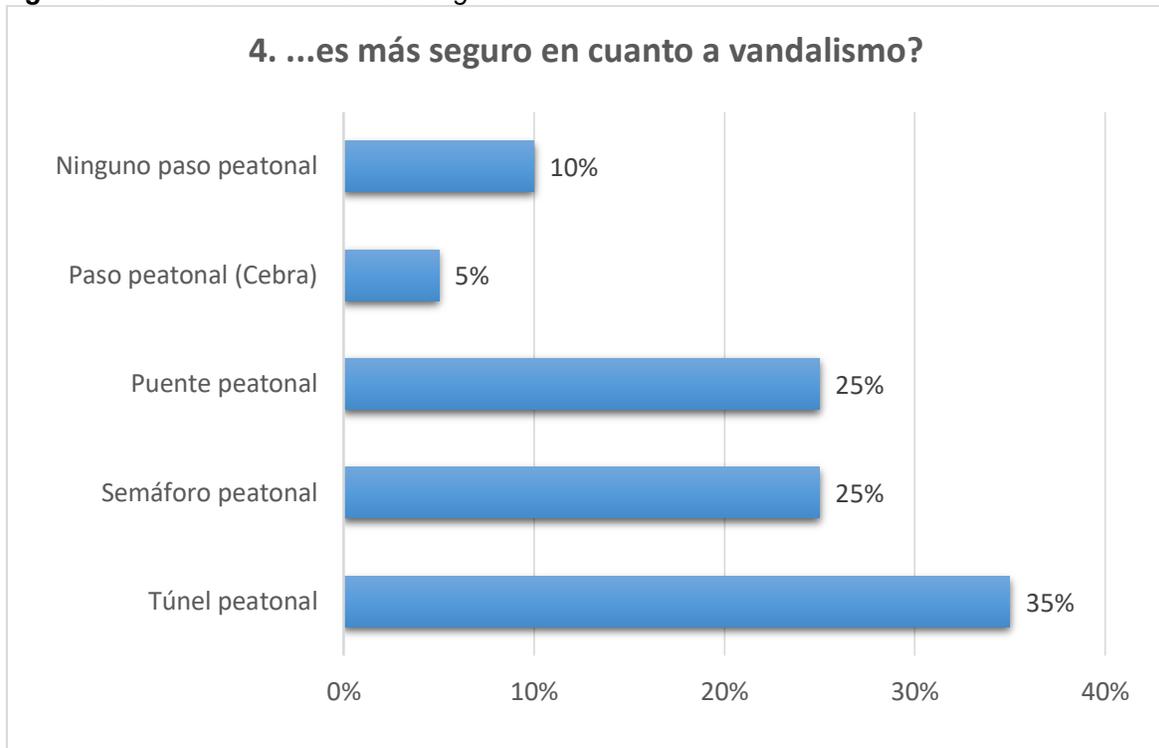


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 4**

Bogotá es considerada una ciudad muy insegura según la opinión de los ciudadanos, por lo que en los resultados de esta pregunta **figura 3.33**, los porcentajes están muy cerca entre tres tipos de pasos peatonales, las personas encuestadas consideran más seguro un túnel peatonal, pero no por ser una estructura subterránea, los encuestados expresan que **este paso podría ser más seguro siempre y cuando mantenga una vigilancia permanente, donde incluya personal policial o seguridad privada, cámaras de vigilancia, iluminación, entre otros.**

Figura 3.33. Resultado n° 4 encuesta general

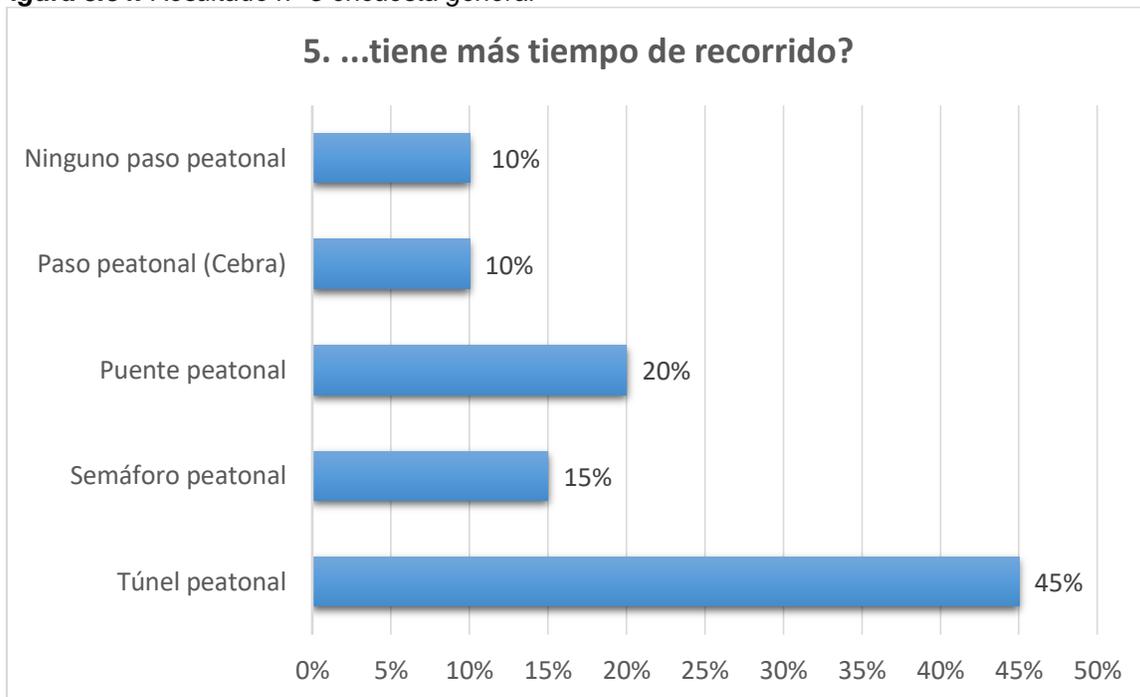


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 5**

La causa por la que en esta pregunta se obtiene un mayor porcentaje en la opción de Túnel peatonal en la **figura 3.34**, es **exactamente la misma causa mencionada en el análisis de la pregunta 2**, debido a que las personas encuestadas tienen mayor conocimiento e identifican los túneles peatonales con los algunos existentes, construidos para Transmilenio; túneles con grandes distancias de recorrido.

Figura 3.34. Resultado n° 5 encuesta general

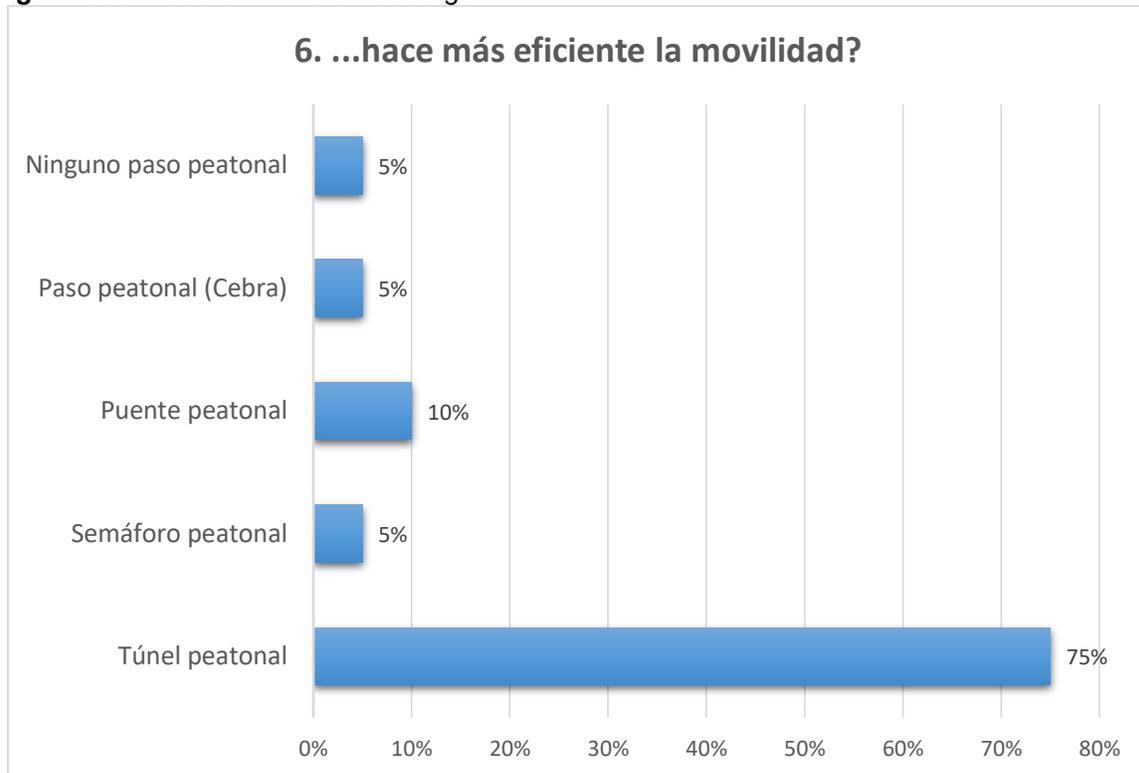


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 6**

Entre los objetivos de este trabajo de grado se ha mencionado un aspecto que favorece a la ciudad con la construcción de túneles peatonales; y es mejorar la movilidad, ya que ésta es una de las grandes falencias que tiene Bogotá y a la que los ciudadanos buscan soluciones constantemente. Se observa que un 75% de los encuestados está en total acuerdo con uno de los objetivos presentados por este proyecto de grado **figura 3.35, no sólo en el lugar de pre-diseño sino en diversos lugares de la ciudad en los que es viable el reemplazo de semáforos netamente peatonales por el de pasos subterráneos.**

Figura 3.35. Resultado n° 6 encuesta general

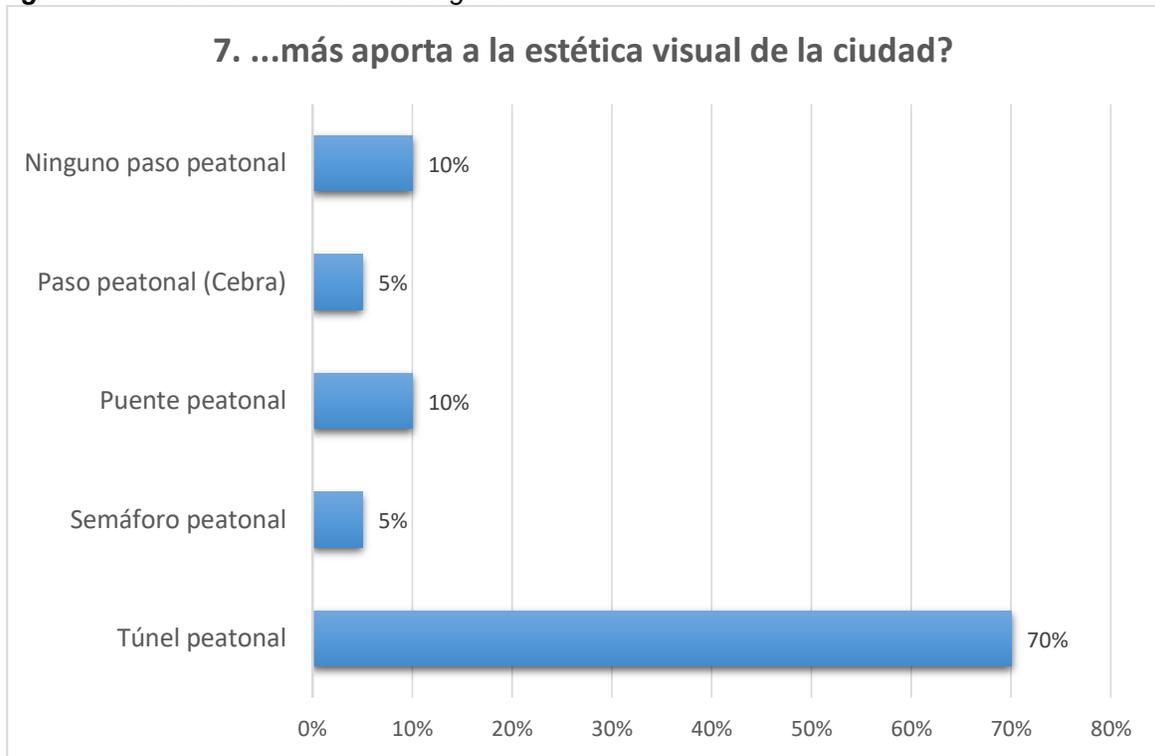


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 7**

El aprovechamiento del suelo y el espacio público que tiene la construcción de túneles peatonales hace que la ciudad tenga un aspecto de orden público y flujos peatonales moderados, totalmente lo opuesto a un semáforo peatonal que represa cierta cantidad de peatones y vehículos, causando desmanes, desorganización e impactando la estética visual de la ciudad, **esta gran diferencia entre los pasos peatonales implicados** es una de las razones por las que los encuestados relacionan los túneles peatonales como pasos peatonales que le aportan más a la estética visual de la ciudad **figura 3.36**.

Figura 3.36. Resultado n° 7 encuesta general

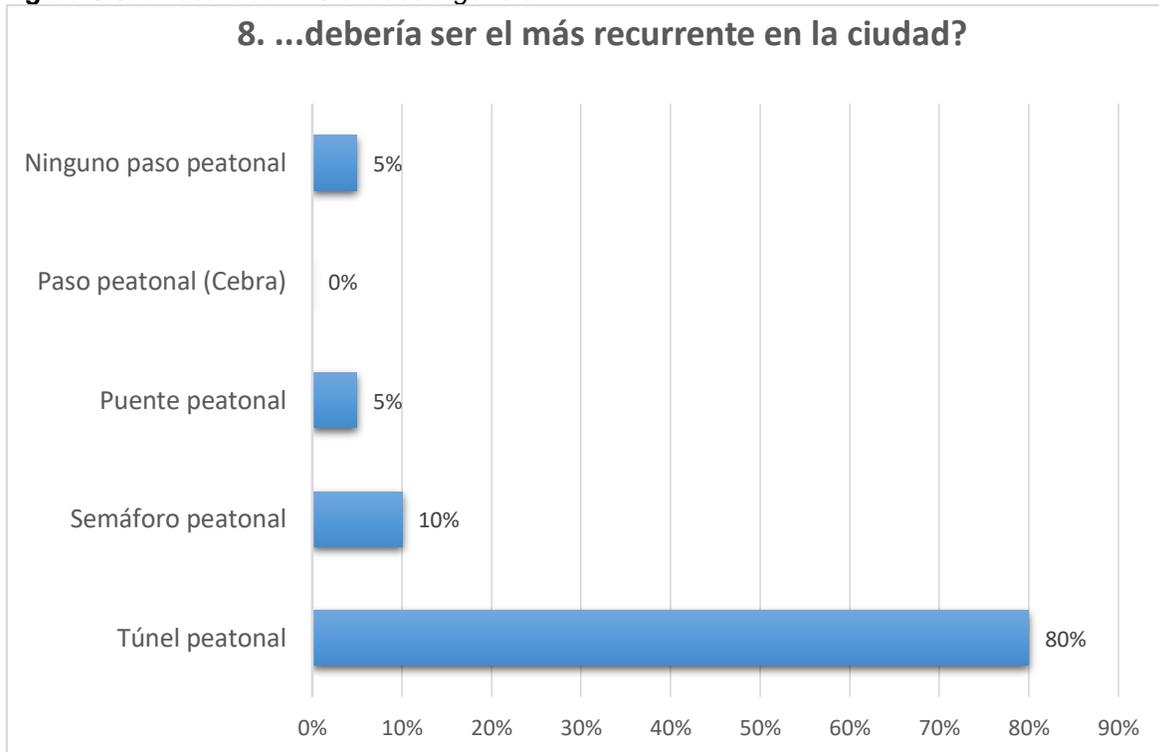


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 8**

Comparando estos resultados con los de algunas respuestas anteriormente mencionadas, **es evidente que los ciudadanos consideran que un Túnel peatonal les ofrece más seguridad en cuanto a accidentalidad y vandalismo, beneficios para el rápido flujo peatonal y vehicular, estética visual más agradable, entre otros.** Por estas razones el 80% de los encuestados consideran que en la ciudad de Bogotá debería existir más túneles peatonales en comparación con semáforos, puentes y pasos peatonales (Cebra) **figura 3.37.**

Figura 3.37. Resultado n° 8 encuesta general

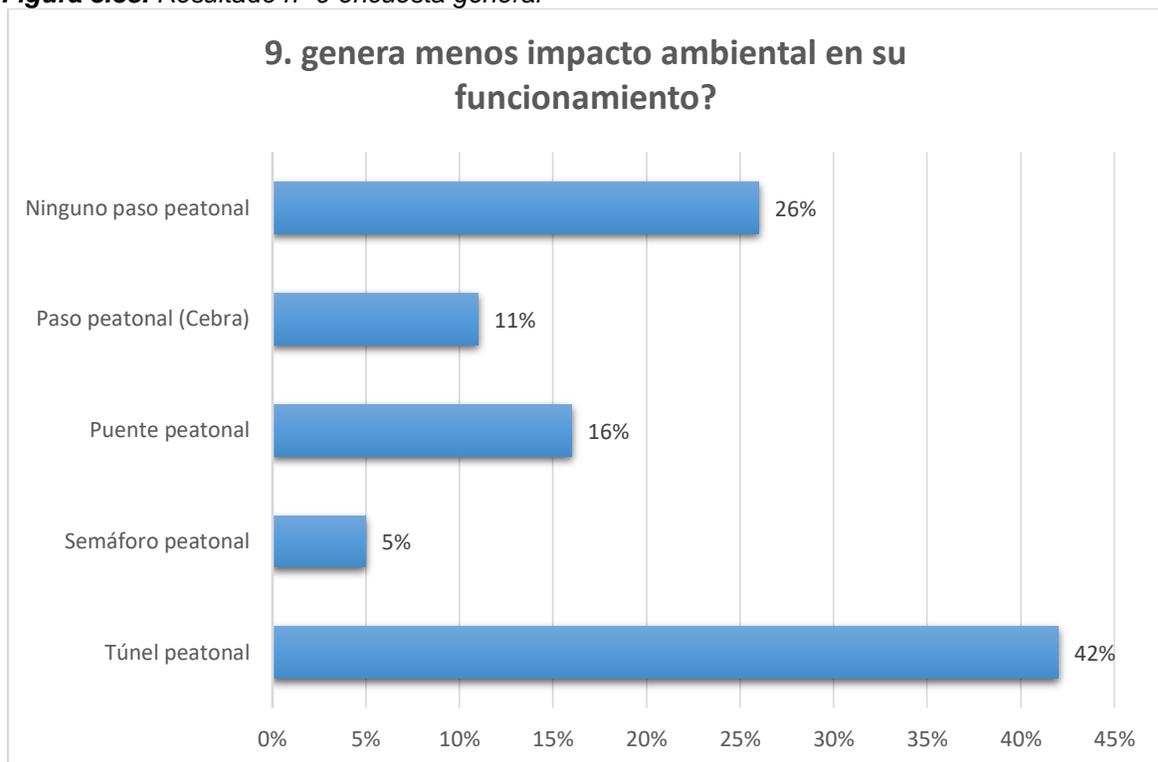


Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 9**

En esta pregunta el impacto ambiental se refiere a aquellos daños secundarios que pueden generar inconformidad para los ciudadanos, como fue mencionado... en el **numeral 3.1.2...** estos impactos corresponden únicamente a los de operación y no al ciclo de vida total del producto, entre éstos está; concentraciones mayores de gas por la desaceleración de vehículos en los semáforos y cruces peatonales superficiales (cebra), contaminación auditiva a causa del ruido de los vehículos, etc. estas respuestas tienen coincidencia con lo que se pretendía sustentar; **figura 3.38** y es que los pasos peatonales que generan menos daño ambiental son los puentes peatonales y los túneles, sin embargo, no quiere decir que estos impactos desaparezcan, si no que usando estos métodos se ayuda a prevenir gran parte de éstos.

Figura 3.38. Resultado n° 9 encuesta general



Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

- **Respuesta n° 10**

Observando los pasos peatonales modernos y teniendo en cuenta el resultado obtenidos en la pregunta 10, **figura 3.39**, es notable que la mayoría cuentan con un acceso o una facilidad de flujo para personas con discapacidad, pero si se entra en detalle, un puente peatonal genera un gran agotamiento físico por sus distancias de recorrido, en un semáforo o un paso peatonal (cebra) estas personas tienen que esperar de manera incomoda entre la multitud, adicionalmente, al cruzar lo deben hacer de forma rápida para no tener el riesgo de ser investidos por un vehículo. **Todos los eventos mencionados anteriormente se pueden mitigar en un túnel peatonal, que ofrece menores distancias de recorrido, tranquilidad durante el trayecto, sistemas más confortables de descenso y ascenso e independencia de flujos vehiculares y peatonales.**

Figura 3.39. Resultado n° 10 encuesta general.



Fuente: Elaboración propia (mayo de 2016).

Utilizando cada una de las características positivas y negativas, determinadas a lo largo del presente capítulo. Se plantea una matriz DOFA para la implementación de un túnel peatonal en el lugar de pre-diseño, presentada en la **tabla 4.18**.

3.4. MATRIZ DOFA

Tabla 3.18. Matriz DOFA para el pre-diseño del túnel

<p>MATRIZ DOFA DE TUNEL PEATONAL “AV. JIMÉNEZ”</p>	<p>FORTALEZAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mejora la movilidad vehicular y peatonal. 2. Ofrece refugio a climas extremos. 3. Mejora la logística y estética urbana. 4. Disminuye la accidentalidad peatonal. 5. Aprovechamiento del subsuelo y espacio público. 6. Mitiga la emisión de CO proveniente de vehículos. 7. Tiempos de recorrido moderados. 	<p>DEBILIDADES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Costos de inversión inicial. 2. Costos de operación en seguridad y sistema de iluminación. 3. Dificultad de procesos constructivos en vías existentes.
<p>OPORTUNIDADES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tendencia de pasos subterráneos en el sistema Transmilenio. 2. Buen recibimiento proyectado por parte de la comunidad. 3. Alta demanda peatonal en la zona. 	<p>ESTRATEGIAS (FO):</p> <ol style="list-style-type: none"> 4.3. Generar un diseño óptimo que satisfaga la alta demanda peatonal y Reduzca los riesgos de accidentalidad. 5.1. Aprovechar la tendencia en pasos peatonales subterráneos que incentiven al uso del subsuelo capitalino. 6.3. Motivar al cambio del actual paso peatonal para reducir la emisión de gases producida por los vehículos que afecta la salud de los ciudadanos que por allí transitan. 	<p>ESTRATEGIAS (DO):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.2. Dar a conocer los múltiples beneficios ante la comunidad de usuarios que justifique su inversión inicial. 3.1. Recomendar un proceso constructivo viable que no genera represamientos vehiculares y aumente la tendencia actual de pasos subterráneos
<p>AMENAZAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Construcción injustificada de pasos elevados de parte de entidades públicas. 2. Deterioro de la infraestructura, por falta de cultura ciudadana. 	<p>ESTRATEGIAS (FA):</p> <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Analizar la estética visual de la zona para que influya en la construcción de un paso subterráneo en comparación de uno elevado. 7.1. Teniendo en cuenta el ancho de la vía, demostrar el alto tiempo de recorrido y agotamiento físico que genera cruzar un puente peatonal. 	<p>ESTRATEGIAS (DA):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Demostrar la similitud de costos iniciales entre un puente y un túnel peatonal. 2.2. Mantener en perfectas condiciones de limpieza y mantenimiento el túnel para incentivar a la comunidad al cuidado del mismo.

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

3.5. CONCLUSIONES

- Entre menor es la distancia de la sección transversal de una vía, menor es la viabilidad de utilizar un paso peatonal elevado (puente peatonal). La relación entre el ancho de la vía y la distancia que un transeúnte debe cruzar en un puente peatonal se hace mayor; provocando que los ciudadanos no estén dispuestos a cruzarlos.
- Los costos directos de inversión inicial de un túnel peatonal son bastante similares a los de un puente, inclusive, comparando la relación costo-beneficio de ambos; es notable que los túneles representan una mejor solución en la conducción de caudales peatonales, es por esto que se recomienda que las entidades públicas evalúen y comparen cada uno de los beneficios inherentes a la necesidad del proyecto, antes de construir “elefantes blancos”.
- El semáforo peatonal ubicado en el lugar de pre-diseño es un importante obstáculo en la movilidad tanto peatonal como vehicular, la ansiedad que produce la espera de una señal verde ocasiona inconvenientes e imprudencias que arriesgan constantemente la vida de numerosos transeúntes en la zona
- Los costos de mantenimiento de un semáforo peatonal son elevados, más si éste posee bombillas de tipo halógenas como en el caso del cruce peatonal de la carrera 12 con Av. Jiménez, debido a la exorbitante cantidad de semáforos existentes en Bogotá, éstos representan un gasto significativo para el presupuesto de la ciudad
- Los resultados de la encuesta, tanto puntual como general, muestran unos porcentajes muy altos de favorabilidad hacia los túneles peatonales por parte de los ciudadanos, sin embargo, la mayoría los califica como pasos peatonales con grandes recorridos y que ocasionan agotamiento físico; esto es debido a que los relacionan con túneles de gran longitud como el de la estación Ricaurte, el cual debido a las necesidades que satisface; posee un gran recorrido
- Los pasos peatonales tipo “Cebra” representan la solución más económica a la movilidad peatonal, sin embargo, como no cuentan con un método de regulación o paso desnivel; son también los de mayor riesgo para los peatones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. A.C.I. PROYECTOS S.A. Estudios y diseños de la estación intermedia de San Victorino, ubicado sobre el corredor de la calle 13 entre la carrera 10 y la Avenida Caracas. Bogotá D.C.: IDU, 2003. Contrato IDU de 2003.
- [2]. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Decreto 279. (23 de Septiembre de 2003). Por el cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital. Bogotá D.C.: Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2003.
- [3]. CASTAÑEDA GUTIÉRREZ, Mónica Liliana. Evaluación comparativa de los pasos peatonales elevados y subterráneos para Bogotá. Trabajo de grado Ingeniera Civil, Bogotá D.C.: Universidad de La Salle, 2010. 164 p.
- [4]. C.E.I. S.A. Informe presupuesto etapa de factibilidad. Bogotá D.C.: IDU, 2006. Contrato IDU 030 de 2006.
- [5]. CODENSA S.A. Tarifas de energía CODENSA. Tarifario de enero. 2016 <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas> [Consulta: 13 de Julio de 2016]
- [6]. CONSORCIO INTEGRAL. Informe final de interventoría. Bogotá D.C.: IDU, 2009 Contrato 127 de 2007.
- [7]. CONSTRUCMA LTDA. Informe final de interventoria. Bogotá D.C.: IDU, 1998 Contratos 216 y 217 de 1998.
- [8]. GROUP LEDIA. Iluminación Sostenible LED. Ahorre energía. 2013. <http://lediagroup.com/iluminacion-eficiente/semaforos-iluminacion-led-más-ahorro-y-menos-contaminacion>. [Consulta: 22 de Junio de 2016].
- [9]. MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Manual de señalización vial. Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Vias, 2004.
- [10]. PLACAS MODULARES S.A. Evaluación y diagnostico estructural, puente peatonal Cra 80 Calle 37 sur. Bogotá: IDU, 2000. Contrato IDU 337 e 2000.
- [11]. SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO URBANO DE BOGOTÁ. Inventario de puentes - actualización 2015. Bogotá D.C. IDU, 2015.
- [12]. URAZÁN BONELLS Carlos F.; TORRES PRADA, Adolfo C. y SÁNCHEZ COTTE, Édgar H. (2013). El rol de los pasos peatonales subterráneos como alternativa en los actuales esquemas de planeación urbana. En: Tecnura. Octubre-Diciembre de 2013. vol.17. no 38. p.97-108.
- [13]. VÁZQUEZ, María Angélica, para El Tiempo. Las razones de por qué faltan y sobran semáforos en Bogotá. 2008. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4489262> [Consulta: 20 de Junio de 2016]

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO EN EL ÁREA DE PRE-DISEÑO

Uno de los aspectos de mayor importancia en el diseño y construcción de cualquier tipo de infraestructura, es el conocimiento sobre el comportamiento de los suelos, ya sea en el momento de la aplicación de las cargas de la estructura o en una posible actividad sísmica; por esta razón se incluye como cuarto capítulo la **Caracterización geotécnica de los suelos en el área de pre-diseño**. Como ha sido mencionado en capítulos anteriores, a parte del pre-diseño en la Cra.12 con Cll. 13 también se identificarán varios puntos críticos en la ciudad de Bogotá, en los que el pre-diseño ayudaría en gran medida, siendo ésta, la ciudad de estudio donde se pretende aportar en la optimización de la movilidad; a continuación se presenta una **caracterización de suelos general (Macro-localización)** de Bogotá, seguido de la **caracterización de suelos puntual (Micro- localización)** en la zona de pre-diseño.

Los estudios geotécnicos obtenidos... en el **numeral 4.2...** corresponden a información secundaria tomada de contratistas públicos, por tal razón el carácter de esta información limita el presente proyecto a un pre-diseño y únicamente a analizar dichos estudios, datos o parámetros consultados.

4.1. MACRO-LOCALIZACIÓN

“La sabana de Bogotá está ubicada en la parte axial de la Cordillera Oriental y comprende la Cuenca Hidrográfica Alta del río Bogotá; fisiográficamente está conformada por un altiplano o superficie plana con una altura promedio de 2.600 m.s.n.m. la cual es rodeada por montañas con alturas hasta los 3.600 m.s.n.m.” [14].

Con respecto al comportamiento similar de los suelos durante un sismo y de manera que pueda definirse allí recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes, se aprobó el decreto **523 del 16 de diciembre de 2010**; en el cual se adopta la microzonificación sísmica de Bogotá, se fijan las zonas geotécnicas, **tabla 4.1, y anexo B** y las zonas de respuesta sísmica de la ciudad como se muestra en la **tabla 4.2** y el **anexo C**.

Tabla 4.1a. Descripción de las zonas geotécnicas

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnicos general
Cerros A	roca de arenisca	Formaciones de Areniscas	Cerros de alta pendiente	Areniscas duras	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones de ciclo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas.
Cerros B	Roca de arcillolita	Formaciones de Arcillolitas	Cerros de moderada a alta pendiente	Arcillolitas blandas	Rocas de moderada competencia y susceptible a la meteorización. Problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas.
Piedemonte A	Suelo coluvial y aluvial norte	Coluviones y Complejos de Conos Aluviales	Piedemonte	Gravas arcillo arenosas compactadas	Suelos de alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas.
Piedemonte B	Suelo coluvial y aluvial centro			Gravas areno arcillosas compactadas	
Piedemonte C	Suelo coluvial y aluvial sur			Gravas areno arcillosas compactadas	
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta lacustre	Planicie	arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresible.
Lacustre B	Suelo lacustre blando			Arcillas limosas blandas	
Lacustre C	Suelo lacustre aluvial			Arcillas arenosas firmes	
Aluvial	Suelo aluvial grueso a medio	Terraza Baja aluvial y Complejo de Conos Aluviales.	Planicie	Arenas arcillosas sueltas a compactadas	Suelos de mediana a alta capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a ciclo abierto.

Fuente: Decreto 523 (16 de Diciembre de 2010).

Tabla 4.1b. Continuación de la Descripción de las zonas geotécnicas

Llanura A	Suelo de Llanura lacustre	Llanura de inundación	Llanura	Arenas sueltas y arcillas limosas blandas	Suelos de moderada capacidad portante y compresible, susceptibles a licuación.
Llanura B	Suelo de Llanura aluvial			Arenas sueltas y arcillas arenosas duras	
Cauce	Cauce activo o antiguo	Cauces Activos	Piedemonte y Planicie	Gravas arenosas sueltas a compactadas	Suelos de baja a mediana capacidad portante, susceptibles a licuación y problemas de estabilidad de taludes.
Depositos	Suelo de ladera	Depositos de Ladera	Cerros	Gravas arenos arcillosas compactadas	Suelos de mediana capacidad portante susceptible a problemas de estabilidad de taludes.
Residual	Suelo residual	Suelo residual	Cerros	Arcillas gravo arenosas firmes	Suelos de mediana a alta capacidad portante con posibles problemas de estabilidad de taludes.
Basura	Relleno de basuras	Relleno de Basuras	Piedemonte y Planicie	Basuras	Materiales heterogeneos, que acuerdo con su disposicion pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes.
Relleno	Relleno de excavación	Rellenos de excavación	Piedemonte y Planicie	Rellenos heterogeneos	Materiales heterogeneos, que acuerdo con su disosicion pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes
Excavación	Excavación especial	Excavaciones especiales	Piedemonte	Gravas arenosas sueltas a compactadas	Zonas de explotación de agregados en el Rio Tunjuelo, susceptibles a problemas de estabilidad de taludes

Fuente: Decreto 523 (16 de Diciembre de 2010).

Mediante la **tabla 4.1** se definen los nombres a partir del tipo de geología, la geotecnia y la geomorfología, además, también se explica el comportamiento que pueden tener estos suelos. Teniendo estas definiciones y conociendo la microzonificación que tiene la ciudad de Bogotá, se ubica en el mapa de zonas geotécnicas, mapa que se muestra en el **anexo B**.

En la **tabla 4.2** determinan las condiciones generales de diseño sismo-resistente en cada zona de respuesta sísmica.

Tabla 4.2. Descripción de las zonas de respuesta sísmica

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerro	-	< 0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	> 750	< 10	Topográfico
Piedemonte A	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arena arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 - 750	10 - 80	Topográfico, amplificación
Piedemonte B	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arena arcillosa	300 - 750	10 - 30	Topográfico, amplificación
Piedemonte C	< 50	0.3-0.6				
Lacustre-50	< 50	1.0-1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	< 175	> 80	Amplificación
Lacustre-100	50-100	1.5-2.5				Amplificación
Lacustre-200	100-200	2.5-3.5				Amplificación
Lacustre-300	200-300	3.5-4.5				Amplificación
Lacustre-500	300-500	4.5-6.5				Amplificación
Lacustre Aluvial-200	100-200	2.0-3.0	Suelo lacustre con intercalaciones de aluvial: Arcillas limosas o limos arcillosos con lentes de turba y capas de arenas compactas	< 200	> 60	Amplificación
Lacustre Aluvial-300	200-300	3.0-4.0				Amplificación
Aluvial-50	< 50	0.4-0.8	Suelo aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos sectores se encuentran lentes de arenas limpias	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial-100	50-100	0.8-1.2				Amplificación, licuación
Aluvial-200	100-200	1.2-2.5				Amplificación, licuación
Aluvial-300	200-300	2.5-4.0				Amplificación, licuación
Depósito Ladera	6-25	< 0.3	Depósitos de ladera con espesores superiores a 6 m de composición variable.	Variable según depósito	Variable según el tipo de depósito	Topográfico

Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2010.

De acuerdo a esta clasificación es posible definir parámetros que se incluyen directamente en el diseño estructural para determinar el espectro de diseño, los parámetros que se pueden definir según la zona a evaluar son: **periodo inicial**,

periodo corto, periodo largo de sismo, aceleración espectral, aceleración máxima, aceleración nominal y los factores de ampliación de la aceleración.

Sobre los suelos de Bogotá existen diversos estudios, que son aplicables a dar una idea inicial sobre el comportamiento de éstos; Jorge Alberto Rodríguez presento un informe para la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá Colombia, sobre la **Evaluación de las Propiedades Dinámicas de los Suelos de Bogotá para Análisis de Respuesta Dinámica**”, en el cual concluye que al analizar los suelos en diferentes tipos de la ciudad, se puede ver cómo van variando las propiedades de los materiales en función de la distancia con respecto a los bordes de la cuenca de sedimentación y aclara que esto se debe a la variación en la energía de depositación que se ve reflejada en mayores relaciones de vacíos y menor rigidez.

Adicionalmente Jorge Alberto Rodríguez realizó una comparación de los resultados obtenidos con datos reportados en la literatura (Ishibashi y Zhang, 1993) que muestra las tendencias de comportamiento evaluadas en los suelos del perímetro de la cuenca de la sabana, éstos son relativamente **rígidos y de origen predominantemente aluvial** o de **abanicos de depositación** en el lago de la sabana son similares a los reportados en la literatura. Los suelos más blandos de origen lacustre, en los que se tienen **limos y arcillas, con horizontes muy orgánicos y con aporte de cenizas volcánicas**, presentan diferencias con lo esperado a partir de ensayos realizados en otros suelos, estos suelos blandos presentan una estructura y composición particulares, que pueden ser la razón de dichas diferencias, las cuales también pueden estar relacionadas con el proceso de muestreo y ensayo. Los resultados obtenidos al hacer ensayos con un procedimiento adecuado, sobre muestras razonablemente buenas, son muy similares a los reportados en la literatura, y dado que se han evidenciado limitaciones en las muestras y procedimientos de ensayo, se puede concluir que el comportamiento dinámico de los suelos de Bogotá no es significativamente diferente que los reportados en la literatura para otros suelos, teniendo en cuenta su plasticidad, estado y niveles de esfuerzos. Por otra parte obtener buenos resultados en los ensayos dinámicos de laboratorio es muy difícil y para efectos prácticos siempre es recomendable tomar como referencia los valores reportados en la literatura y tener en cuenta la variabilidad intrínseca en estos datos. También se hace evidente la necesidad de obtener mejores muestras y realizar los ensayos de manera muy cuidadosa y oportuna.

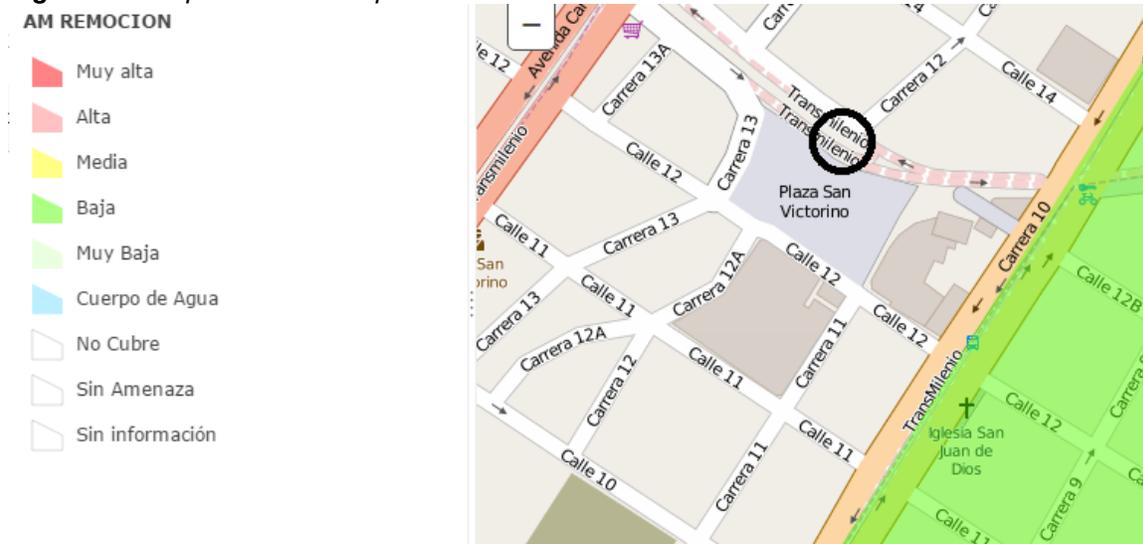
De acuerdo a las recomendaciones propuestas por Jorge Alberto Rodríguez es necesario realizar un estudio más exacto en el área a construir, debido a que existen literaturas que asemejan el comportamiento de los suelos de la capital colombiana pero no son del todo precisos. Una alternativa es realizar estudios de campo para verificar el tipo de suelo y su comportamiento, sin dejar de lado el aporte que ofrece la literatura, de esta manera se garantiza la calidad de la estructura y su durabilidad. Debido a las anteriores recomendaciones,... en el **numeral 4.2 Micro localización...** se realiza una investigación más precisa en el lugar donde se pretende ejecutar el pre-diseño para el túnel peatonal. No obstante se debe tener

en cuenta que el tipo de suelo que más se encuentra en la ciudad de Bogotá es aquel que está compuesto de limos y arcillas, los cuales representa una gran inestabilidad y para el que se deben hacer estudios más minuciosos llegando a tener una idea precisa respecto al método de construcción y el diseño de cimentaciones de las estructuras.

4.2. MICRO-LOCALIZACIÓN

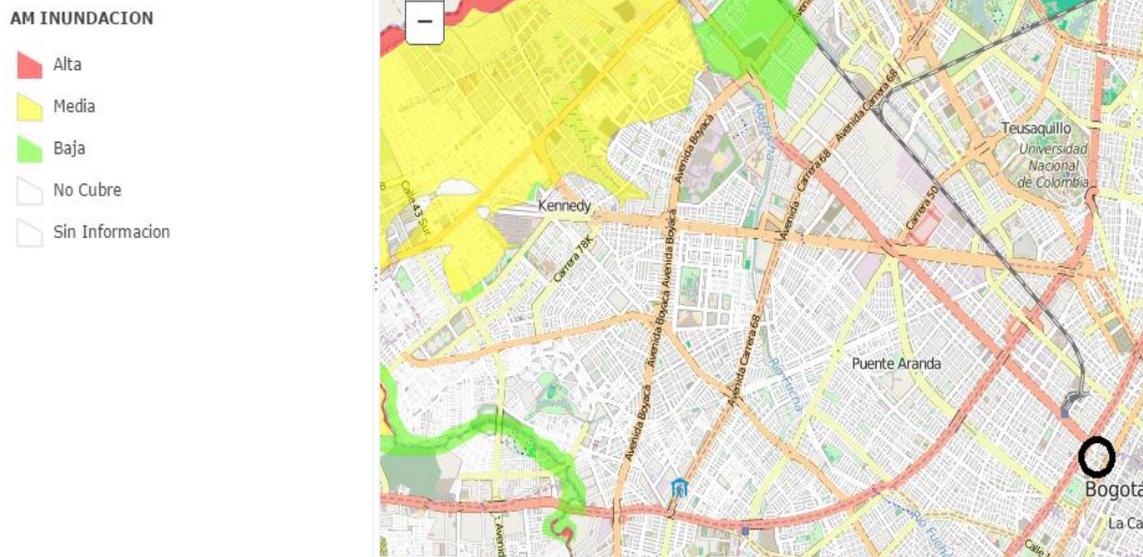
El sitio escogido para realizar el pre-diseño se encuentra localizado en la ciudad de **Bogotá, en la Av. calle 13 con Cra. 12**, más exactamente en el cruce peatonal que tiene la estación Av. Jiménez de Transmilenio que conecta la Plaza de la Mariposa con la Cra. 12. Como se mencionó en la introducción del presente capítulo, mediante la micro-localización se pretende dar a conocer el tipo de suelo que se encuentra exactamente en este sitio, se investigó en diferentes bases de datos e informes sobre sondeos y ensayos in situ hechos por contratistas del estado, estos ensayos consisten en sondeos de penetración estándar con los que se determinaron diferentes parámetros y columnas geotécnicas. En primera instancia se hace una evaluación de los posibles riesgos a los que estaría sometido el pre-diseño, de acuerdo a su ubicación, **figura 4.1 y 4.2** y a los estudios de amenaza llevados a cabo por el **Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER)**. Posteriormente se realiza una localización en los planos de Microzonificación Sísmica y Zonas Geotécnicas de Bogotá D.C. obteniendo las **figuras 4.3 y 4.4**.

Figura 4.1. Mapa de amenaza por remoción en masa



Fuente. *Elaboración propia a partir de [10] (Junio de 2016).* El círculo en el mapa representa la zona de pre-diseño, la cual no presenta ninguna amenaza de remoción en masa.

Figura 4.2. Mapa de amenaza por inundación



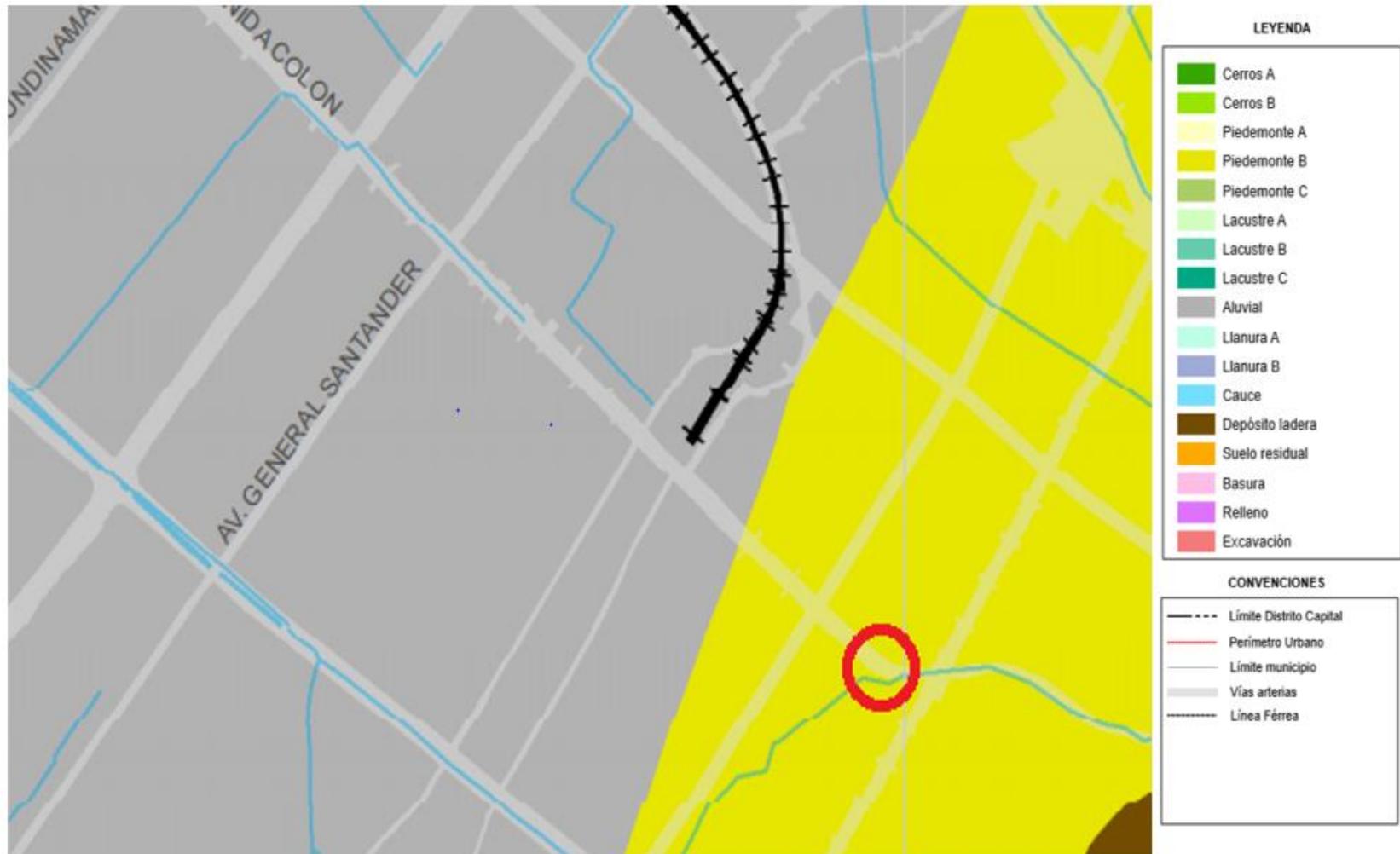
Fuente: *Elaboración propia a partir de [10] (Junio de 2016).* El círculo en el mapa representa la zona de pre-diseño, la cual no presenta ninguna amenaza para inundación.

La figura 4.3 es un acercamiento del **anexo B** con el fin de ubicar el pre-diseño del túnel en una de las zonas geotécnicas. El sitio de dicho pre-diseño se encuentra en la Av. Colón (Cll. 13) y entre carreras 10 y 14 (Av. Caracas), por lo que se ubica en la zona **Piedemonte B**, mediante la **tabla 4.1** se observa que corresponde a **depósitos** en su mayoría **coluviales y aluviales**, es decir, suelos transportados por agua y gravitación; estos suelos **aunque poseen alta capacidad portante son inestables en excavación o cuando se generan altas presiones intersticiales como en lluvias intensas**. Piedemonte B está compuesto en su mayoría por **gravas areno arcillosas compactadas**. Sin embargo, en lo **numerales 4.2.1 y 4.2.2** se puede observar una descripción más precisa de la composición del suelo.

De igual forma la **figura 4.4** es un acercamiento del **anexo C**, según éste, se encuentra en a la Zona de Piedemonte B, al cual le corresponde las siguientes condiciones de diseño:

- Espesor del depósito < 50 m: las características de sus suelos coluviales y aluviales llegan a una profundidad menor de 50 m.
- Periodo fundamental del suelo: 03 – 06 s, con el cual se pueden obtener los efectos locales de un sismo sobre el suelo.
- Descripción geotécnica general: se confirman las características aluviales y coluviales de sus depósitos, cantos y gravas con matriz arcillo arenosa y areno arcillosa. En las columnas estratigráficas del estudio de suelos en el numeral 4.2.1 se confirman las características del suelo que se mencionan en la tabla 4.2.
- Velocidad de onda promedio 50m: 300 – 750 m/s, la velocidad de onda es usada dentro de una correlación en la **ecuación 4.18**, y sus valores son determinados mediante la **tabla 4.18**.

Figura 4.3. Ubicación del sitio de pre-diseño en el mapa de Zonas Geotécnicas



Fuente: Elaboración propia a partir de [3] (Junio de 2016). La zona de pre-diseño se señala con un círculo.

Figura 4.4. Ubicación del sitio de pre-diseño en el mapa de Microzonificación sísmica



Fuente: Elaboración propia a partir de [3] (Junio de 2016). La zona de pre-diseño se señala con un círculo.

En el decreto 523 de 2010 se menciona la necesidad de evaluar la estabilidad de taludes, aunque dentro de las recomendaciones no se incluye nada sobre licuación. **Se decide realizar una evaluación del riesgo a la licuación debido a las características de sus suelos coluviales... numeral 4.2.3.**

4.2.1. Estudio de suelos de la estación Av. Jiménez, Transmilenio (2004)

En el mapa de Microzonificación de Bogotá se puede realizar un análisis respecto al tipo de suelo en este sitio, pero al tener en cuenta las recomendaciones de Jorge Alberto Rodríguez, es necesario realizar un análisis más exacto para determinar los componentes que se encuentran en el suelo. Debido a que es un **pre-diseño** y éste se limita a obtener la información de suelos de parte de un **estudio o sondeo ya existente**, a continuación se presenta los estudios y columnas geotécnicas realizadas por el contratista A.C.I. Proyectos S.A., quienes presentaron los estudios de suelos pertinentes para la construcción de la estación de Transmilenio Av. Jiménez en el año 2004.

Según el contratista, para esta zona se realizaron 4 sondeos SPT (*standard penetration test*), mediante los cuales se investigó hasta una profundidad de 8,00 m, ubicados en las siguientes abscisas que se muestran en la **tabla 4.3.**

Tabla 4.3. Sondeos SPT estación Av. Jiménez

Sondeo No	Profundidad (m)	Abscisa
ST-01	8.00	K0+345
ST-02	8.00	K0+300
ST-03	8.00	K0+250
ST-04	8.00	K0+210

Fuente. IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) (2004).

La localización de cada sondeo se hizo dentro de la zona aledaña a la ubicación del túnel de transferencia actual de la estación Av. Jiménez, tal y como pueden observar en el **plano 1.** En cada una de las investigaciones se realizaron **Ensayos de penetración Standard** para lo cual se utilizó una toma-muestra tipo **Split-Spoon** que se hincó mediante la caída libre de 30 pulg., con un martillo de 140 lb de peso. Igualmente se recuperaron muestras representativas de los materiales encontrados, alteradas e inalteradas con tubos *Shelby*, para la realización de laboratorios que consistieron básicamente en:

- Humedad natural.
- Granulometría.
- Limite líquido.
- Limite plástico.

- Consolidación.
- Gravedad específica
- Resistencias al corte

En el sondeo *ST-01*, las condiciones del subsuelo, las distribuciones y agrupaciones de los estratos hechas por el contratista, incluyendo la carpeta asfáltica y del relleno granular se presenta en la siguiente columna geotécnica, **tabla 4.4**.

Tabla 4.4. Columna 1 de parámetros geotécnicos (estación Av. Jiménez)

Profundidad (m)	Descripción
0,00 - 0,15	Carpeta asfáltica
0,15 - 0,45	Relleno compactado conformado por grava y arena, con desechos de materiales de construcción.
0,45 - 8,00	Grava arcillosa gris de humedad media y densidad media. Sus propiedades geo-mecánicas son las siguientes: Clasificación U.S.C.: GC, Humedad natural: 11 – 15%, Porcentaje de finos: 13 – 21%, Limite líquido: 31 – 34%, Limite plástico 15 – 17%, Nspt: 10 – 25 golpes/pie

Fuente: A.C.I. Proyectos S.A. (2004).

- “En las perforaciones realizadas no se detectó nivel freático” [1].

Con respecto a los datos que se suministraron por medio del IDU, se puede tener una idea sobre el tipo de suelo y el comportamiento que éstos van a tener durante y después de la construcción; y de esta manera determinar un método constructivo y recomendaciones para una cimentación, no obstante se tiene en cuenta el informe desarrollado por esta misma entidad donde explica el método y algunas especificaciones sobre el **túnel existente que conecta la estación entre el vagón sur – norte y el vagón oriente – occidente**, las cuales pueden ser adaptadas para el desarrollo de este **pre-diseño**.

Las condiciones del subsuelo encontradas en los sondeos *ST-02*, *ST-03* y *ST-04* son muy similares y su descripción estratigráfica en profundidades promedio se muestra en la **tabla 4.5**. De igual manera que en la **tabla 4.4** el contratista discrimina también la carpeta asfáltica existente y el relleno compactado.

Tabla 4.5. Columna 2 de parámetros geotécnicos (estación Av. Jiménez)

Profundidad (m)	Descripción
0,00 – 0,15	Carpeta asfáltica
0,15 – 0,45	Relleno compactado conformado por grava y arena, con desechos de materiales de construcción.
0,45 – 8,00	Arcilla limosa habana y café de plasticidad media a alta, humedad media y baja y consistencia media. De acuerdo con los resultados obtenidos, en campo y en laboratorio sus propiedades físicas se pueden resumir en: Clasificación U.S.C.: CL y CH, Humedad natural: 15 – 26%, Limite líquido: 48 – 53%, Limite plástico: 18 – 28%, Nspt: 8 – 19 golpes/pie

Fuente: A.C.I. Proyectos S.A. (2004).

- “En las perforaciones realizadas no se detectó nivel freático” [1].

De acuerdo a los estudios que desarrollo el contratista, se concluye que las excavaciones requeridas para el túnel que conectará la estación de la AV. Jiménez, se llevará a cabo sobre **arcilla de consistencia media a firme**. Las propiedades geo-mecánicas de este estrato son las siguientes:

- **“Peso unitario: 1,9 t/m³”**
- **Condiciones a corto plazo (condiciones no drenadas)**
- **Ángulo de fricción: 0°**
- **Cohesión (resistencia al corte no drenado): 0.7 kg/cm²” [1].**

- Condiciones a largo plazo:

La excavación para el túnel *Box Culvert* fue realizada a cielo abierto, los taludes tuvieron una inclinación de $\frac{1}{4} H - 1V$. Las paredes del *Box* fueron diseñadas para soportar el empuje activo de un relleno con un ángulo de fricción de 30° y un peso unitario de 1,9 t/m³. Para el efecto se seleccionó un recebo granular que cumplió con estas características, **este material fue compactado a una densidad no inferior, al 90% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.**

4.2.2. Estudio de suelos de la primera línea del metro de Bogotá (2015)

Existe un estudio geotécnico más reciente que se realizó para el diseño y trazado de la primera línea del metro de Bogotá cuyo contrato fue celebrado en 2013, este estudio consiste en una serie de sondeos hechos en todas las estaciones que comprenden dicho diseño, desde la estación Portal Américas (Av. calle 43 sur con

Cra. 87) hasta la estación CII. 127 (CII. 124 con Cra. 9). Dentro de la planeación de las futuras estaciones del metro, existen 2 relativamente cerca al lugar de pre-diseño del presente proyecto:

- **Estación San Victorino**

Para esta estación se realizaron 3 sondeos SPT con los que se determinaron **dos columnas de parámetros geotécnicos, tabla 4.6 y tabla 4.7** del suelo ubicado en la zona de la Cra.10 entre calles 10 y 12. La localización de los sondeos se puede observar en el **plano 1**.

El contratista presenta una leyenda expuesta en la **figura 4.5** para las columnas geotécnicas, en la que se describe cada tipo de suelo de acuerdo a su composición.

Figura 4.5. Leyenda de descripción del suelo para las figuras 4.6, 4.7, 4.8, y 4.9.



Fuente: Consorcio L1 (2015).

Tabla 4.6. Columna 1 de parámetros geotécnicos (estación San Victorino)

SG-1	UNIDADES GEOTÉCNICAS	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS				
		DENSIDAD NATURAL γ (t/m ³)	COHESIÓN EFECTIVA C' (t/m ²)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO ϕ' (°)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN CARGA E (t/m ²)	COEFICIENTE DE REACCIÓN LATERAL K_h (t/m ²)
0.00 0.90	RELLENO	2	0	26	600	800
10.20	Qcc11 (33%) Qcc21 (53%) Qcc22 (14%)	1.9	1.1	22	2000	2550
13.20 3.70	Qcc13 (57%) Qcc12 (30%) Qcc23 (13%)	2	0.9	33	4450	4200
14.20 5.96	Qcc12 (42%) Qcc11 (29%) Qcc21 (5%) Qcc23 (5%) Qcc3 (19%)	2	1.2	31	3950	3900
22.20 2.66	Qcc3 (65%) Qcc13 (35%)	2	0.8	36	6750	6050
23.20 3.40	Qcc22 (100%)	2	1.5	22	2250	2750
24.20 3.61	Tpb1 (100%)	2.1	4	24	9000	9000
25.20 24.00	Tpb2 (100%)	2.4	6	26	50000	62500

Fuente: Consorcio L1, (2015).

Los anteriores parámetros geotécnicos corresponden únicamente al sondeo SM-01. Los parámetros para los sondeos SM-02 y SM-03 de la estación San Victorino se exponen en la **tabla 4.7**, debido a la similitud de sus condiciones han sido distribuidas en profundidades promedio.

Tabla 4.7. Columna 2 de parámetros geotécnicos (estación San Victorino)

SG-2	UNIDADES GEOTÉCNICAS	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS				
		DENSIDAD NATURAL γ (t/m ³)	COHESIÓN EFECTIVA C' (t/m ²)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO ϕ' (°)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN CARGA E (t/m ²)	COEFICIENTE DE REACCIÓN LATERAL K_h (t/m ²)
2.40	RELLENO	2	0	28	600	800
2.40	Qcc21 (100%)	1.85	1	18	1750	2250
2.40	GMA (100%)	1.5	0.2	10	450	200
4.05	Qcc21 (100%)	1.85	1	1.8	1750	2250
4.05	GMA (100%)	1.5	0.2	10	450	200
3.85	Qcc21 (81%) Qcc3 (11%) Qcc11 (8%)	1.9	1	21	2450	2800
3.85	GMA (100%)	1.5	0.2	10	450	200
1.98	Qcc22 (89%) Qcc21 (31%)	1.9	1.3	21	2100	2800
1.98	GMA (100%)	1.5	0.2	10	450	200
1.98	Qcc22 (73%) Qcc12 (27%)	2	1.4	24	2650	2950
4.66	Qcc11 (64%) Qcc21 (36%)	1.9	1	25	2050	2750
4.66	GMA (100%)	1.5	0.2	10	450	200
3.24	Qcc11 (61%) Qcc22 (25%) Qcc21 (14%)	2	1.1	28	2200	2850
3.24	GMA (100%)	1.5	0.2	10	450	200
2.63	Qcc22 (58%) Qcc21 (42%)	1.9	1.3	20	2050	2550
6.31	Qcc12 (43%) Qcc3 (37%) Qcc11 (11%) Qcc21 (9%)	2	1.1	32	4850	4550
6.31	Qcc11 (49%) Qcc23 (22%) Qcc13 (17%) Qcc22 (12%)	2	1.2	29	3050	3350
6.07	Qcc23 (53%) Qcc22 (47%)	2	1.8	24	3050	3150

Fuente: Consorcio L1 (2015).

- Estación Lima

De igual manera que en la estación San Victorino, existen dos columnas geotécnicas, esta vez obtenidas a partir de 5 sondeos hechos por el contratista en la Cra. 10 entre calles 16 y 18. La localización de dichos sondeos se puede observar

en el **plano 1** Por las características de sus suelos, los sondeos **SM-04** y **SM-07** conforman la primera columna geotécnica de la estación Lima, **tabla 4.8**.

Tabla 4.8. Columna 1 de parámetros geotécnicos (estación Lima)

SG-1	UNIDADES GEOTÉCNICAS	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS				
		DENSIDAD NATURAL γ (t/m ³)	COHESIÓN EFECTIVA C' (t/m ²)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO ϕ' (°)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN CARGA E (t/m ²)	COEFICIENTE DE REACCIÓN LATERAL k_h (t/m ²)
1.10	RELLENO	2	0	28	600	800
1.50 m	42% Qoc21 40% Qoc22 18% Qoc23	1.94	1.4	21	2310	2675
2.70	86% Qoc3 14% Qoc23	2	1.1	36	7150	6290
3.90	54% Qoc12 46% Qoc11	2	1.2	30	3030	3270
4.70	Qoc21	1.85	1	18	1750	2250
5.80	76% Qoc3 24% Qoc13	2	0.8	37	7050	6270
7.00	Qoc22	2	1.5	22	2250	2750
8.20	75% Qoc3 25% Qoc23	2	1.2	34	6710	5940
13.00	89% Qoc23 11% Qoc3	2	1.9	27	4180	3860
15.40	Qoc3	2	0.9	37	7700	6750
17.00	Qoc23	2	2	26	3750	3500

Fuente: Consorcio L1 (2015).

La siguiente **tabla 4.9** corresponde a la distribución de las características de los sondeos SPT: **SM-05**, **SM-06**, **SM-08**, en estos sondeos lo estratos de grava se

encuentran a una mayor profundidad, por lo que el contratista decide separarlos de los sondeos SM-04 y SM- 07.

Tabla 4.9. Columna 2 de parámetros geotécnicos (estación Lima)

SG-2	UNIDADES GEOTÉCNICAS	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS				
		DENSIDAD NATURAL γ (t/m ³)	COHESIÓN EFECTIVA C' (t/m ²)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO ϕ' (°)	MÓDULO DE DEFORMACIÓN EN CARGA E (t/m ²)	COEFICIENTE DE REACCIÓN LATERAL K_h (t/m ²)
0.00	RELLENO	2	0	28	600	800
1.10	52% Qcc22 48% Qcc12	2	1.4	26	2950	3110
2.40	71% Qcc21 29% Qcc11	1.9	1	21	1890	2470
4.00	Qcc12	2	1.3	31	3700	3500
7.00	Qcc22	2	1.5	22	2250	2750
8.00	Qcc22	2	1.5	22	2250	2750
18.00	81% Qcc23 19% Qcc11	2	1.8	27	3460	3400
27.20	Qcc3	2	0.9	37	7700	6750
37.00	Qcc23	2	2	26	3750	3500
40.00	74% Qcc3 26% Qcc23	2	1.2	34	6670	5900
47.00	Qcc23	2	2	26	3750	3500
50.00	Qcc23	2	2	26	3750	3500

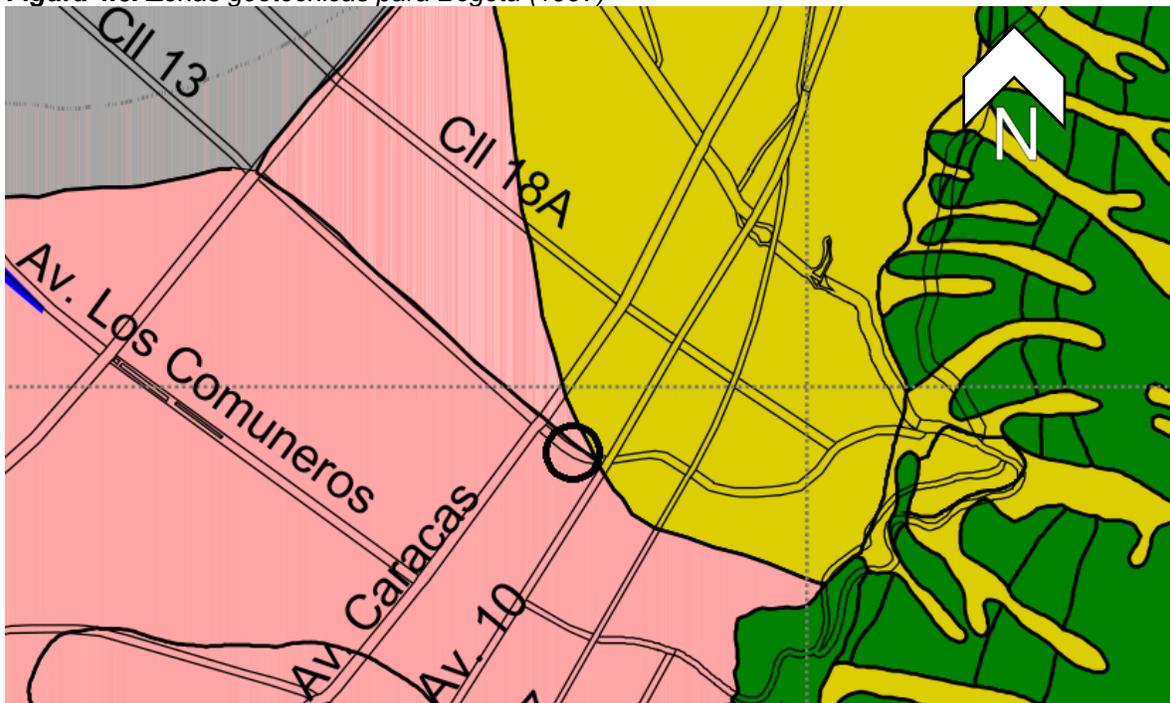
Fuente: Consorcio L1 (2015). A diferencia de los sondeos hechos para la estación San Victorino, en lima se puede observar un aumento significativo de estratos conformados por arenas.

4.2.3. Análisis de parámetros geotécnicos a partir de la información secundaria

Las descripciones de los suelos determinados mediante los sondeos SPT en ambos estudios (Transmilenio y Metro de Bogotá), **son muy semejantes** a las descripciones generales aportadas por la limitación del mapa de zonas Geotécnicas del Decreto 523 de 2010. La zona Piedemonte B está sustancialmente compuesta por gravas con matrices arcillo arenosas o areno arcillosas, esta naturaleza del suelo es evidenciada en los sondeos ST-01, SM-04, SM-05, SM-06, SM-07 y SM-08, **véase plano 1**, sin embargo, en los sondeos hechos para la futura estación San Victorino del Metro de Bogotá, en los sondeos SM-01, SM-02 y SM-03 se observa una ausencia casi total de gravas y una presencia significativa de arenas firmes.

La distribución geotécnica de 1997 se ajusta de una forma más adecuada a la variación del suelo en la zona estudiada, en ésta se evidencia un cambio en sus características a partir de la CII. 13 tal como se observa en la **figura 4.10**.

Figura 4.6. Zonas geotécnicas para Bogotá (1997)



Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá (1997). La zona de pre-diseño se ubica mediante un círculo, allí se observa el cambio en las características del suelo. La zona geotécnica aledaña al norte del círculo corresponde a Piedemonte y al sur se encuentra la zona geotécnica Suelos Duros

Es usual que cada contratista o consultor realice un estudio geotécnico de acuerdo a las incidencias propias de cada proyecto, por lo que el enfoque y análisis de los resultados presentados en los informes varía en cada estudio. Para un debido análisis se hace necesario que las características de datos técnicos presentados sean uniformes; por lo que de las columnas geotécnicas obtenidas de los estudios

de suelo de Transmilenio y el Metro de Bogotá, **tablas 4.4 – 4.9**, se complementarán sus datos faltantes, llegando a tener los siguientes parámetros geotécnicos para cada columna:

- Descripción del suelo
- Densidad Natural: $\gamma(t/m^3)$
- Resistencia al corte no drenado: $C_u(t/m^2)$
- Ángulo de rozamiento interno: $\varphi(t/m^2)$
- Módulo de elasticidad: $E(t/m^2)$
- Módulo de elasticidad: $G(t/m^2)$
- Resistencia a la compresión simple: $q_u(t/m^2)$

Cada uno de los parámetros geotécnicos anteriores, es posible estimarlo mediante el número de golpes (N/pie) de los ensayos de penetración estándar ya mencionados. Dichas estimaciones pueden hacerse con ayuda de diversas correlaciones determinadas por varios autores, **para esto es necesario realizar una corrección por energía del valor N/pie** obtenido en campo y ajustarlo a la eficiencia que cada autor propone en la correlación.

4.2.3.1. Corrección del número de golpes SPT (N/pie)

Las ecuaciones de relación entre los parámetros geotécnicos y el N_{spt} que se utilizarán dentro de este análisis serán las que utilizan una eficiencia del 60% (N_{60}). Por lo que a continuación se presenta la **ecuación 4.1** con la que se corrige el número de golpes SPT obtenido en campo.

$$N_{60} = N_{spt} * Cn * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \quad (4.1)$$

Donde:

N_{60} = Número de golpes corregido a una eficiencia de 60%

Cn = Corrección por confinamiento

η_1 = Corrección por eficiencia del martinete

η_2 = Corrección por longitud de la barra

η_3 = Corrección por revestimiento del muestreador

η_4 = Corrección por diámetro de perforación

- **Corrección por confinamiento en suelos granulares**

El valor de N_{spt} se ve afectado por la presión de sobrecarga efectiva correspondiente a cada estrato. Su valor se corrige mediante el factor Cn , para el que existen varias ecuaciones empíricas **ecuaciones 4.2, 4.3... 4.7b**, en las que se relaciona σ'_0 = esfuerzo efectivo (calculado a mitad de estrato) y P_a = presión atmosférica \approx (100 kN/m^2), en consecuencia, el valor de Cn varía de acuerdo a la profundidad de cada estrato y se calculará únicamente para los estratos de suelos granulares.

- Relación de Schmertmann:

$$C_n = \frac{32,5}{10,2 + 20,3 \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \quad (4.2)$$

- Relación de Liao y Whitman:

$$C_n = \left[\frac{1}{\left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \right]^{0,5} \quad (4.3)$$

- Relación de Skempton:

- Arena fina normalmente consolidada

$$C_n = \frac{2}{1 + \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \quad (4.4a)$$

- Arena gruesa normalmente consolidada:

$$C_n = \frac{1,7}{2 + \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \quad (4.4b)$$

- Arena gruesa normalmente consolidada:

$$C_n = \frac{1,7}{0,7 + \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \quad (4.4c)$$

- Relación de Seed:

$$C_n = 1 - 1,25 \log \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right) \quad (4.5)$$

- Relación de Peck:

$$C_n = 0,77 \log \left[\frac{20}{\left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \right] \left(\text{para } \frac{\sigma'_0}{P_a} \geq 0,25 \right) \quad (4.6)$$

- Relación de Bazaraa:

$$C_n = \frac{4}{1 + \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \left(\text{para } \frac{\sigma'_0}{P_a} \leq 0,75 \right) \quad (4.7a)$$

$$C_n = \frac{4}{3,25 + \left(\frac{\sigma'_0}{P_a} \right)} \left(\text{para } \frac{\sigma'_0}{P_a} > 0,75 \right) \quad (4.7b)$$

Donde:

C_n = Factor de corrección por confinamiento

σ'_0 = Esfuerzo efectivo; P_a = Presión atmosférica

- **Corrección por eficiencia del martinete**

Corresponde a la energía aplicada en cada golpe, su eficiencia depende del tipo de martinete usado por las normas técnicas de cada país, **tabla 4.10. Con una mayor energía se obtendrá un menor número de golpes N_{spt} .**

Tabla 4.10. Eficiencia del martinete por países

País	Tipo de martinete	Liberación del martinete	(%)
Japón	Toroide	Caída libre	78
	Toroide	Cuerda y polea	67
Estados Unidos	Martillo de seguridad	Cuerda y polea	60
	Toroide	Cuerda y polea	45
China	Toroide	Caída libre	60
	Toroide	Cuerda y polea	50
Argentina	Toroide	Cuerda y polea	45
Colombia	Toroide	Cuerda y polea	45

Fuente: *Das Braja M. (2012).*

El número de golpes obtenido en los ensayos SPT maneja una energía del 45% correspondiente a la eficiencia de Colombia, por lo que el factor η_1 para obtener una energía del 60 % (N_{60}) se presenta en la **ecuación 4.8** y es para todos los estratos de cualquier estudio de suelos:

$$\eta_1 = N_{spt1} * e_1 = N_{spt2} * e_2 \quad (4.8)$$

Donde:

η_1 = Factor por eficiencia del martinete

e = Eficiencia del ensayo *in situ*

N_{spt} = Número de golpes/pie en campo

Entonces:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= N_{spt} * 45\% = N_{spt} * 60\% \\ &\gg \eta_1 = \frac{45\%}{60\%} \\ &\gg \eta_1 = \frac{3}{4} \end{aligned}$$

- **Corrección por longitud de la barra**

Braja M. Das presenta unos factores, **tabla 4.11**, que pueden ser utilizados para la corrección de acuerdo a la longitud de barra. **Este factor dependerá de la profundidad de perforación de cada estrato dentro de las columnas estratigráficas respectivas.**

Tabla 4.11. Factor de corrección para longitud de la barra

Longitud de la barra (m)	η_2
> 10	1
6 - 10	0,95
4 - 6	0,85
0 - 4	0,75

Fuente: Das Braja M. (2012).

- **Corrección por revestimiento del mostrador**

De la misma forma, el revestimiento del muestreador afecta el número de golpes SPT por lo que se muestran los revestimientos normalmente utilizados en ensayos *in situ* en la **tabla 4.12**.

Tabla 4. 12 Factor de corrección para revestimiento de muestreador

Tipo	η_3
Muestreador estándar	1
Con recubrimiento para arena y arcillas densas	0,8
Con recubrimiento para arena suelta	0,9

Fuente: Das Braja M. (2012).

- **Corrección por diámetro de perforación**

Se presenta el factor de corrección por el diámetro de perforación que incide en el número de golpes SPT, **tabla 4.13** encontrada en el texto de Das Braja M. Este factor cambiará por sondeos, sólo si éstos utilizan varios diámetros de perforación.

Tabla 4.13. Factor de corrección para diámetro de perforación

Diámetro	η_4
60 - 120	1
150	0,8
200	0,9

Fuente: Das Braja M. (2012).

- **Resultados**

Aplicando las correcciones del N_{spt} anteriormente explicadas, se presenta los resultados para el Estudio de suelos de la estación Av. Jiménez Transmilenio (2003) presentados en las columnas estratigráficas de la tabla 4.4 y 4.5. Para los Estudios de suelo de la primera línea del metro de Bogotá (2015)... del **numeral 4.2.2**... **NO** se realizó corrección al número de golpes SPT, debido a que para la obtención de los parámetros restantes se utilizarán relaciones que no involucran **N_{60}** .

- **Corrección de golpes N_{SPT} de la columna geotécnica 1 de Transmilenio (tabla 4.4).**

Debido a que el suelo de esta columna corresponde a **grava arcillosa** y las relaciones de Skempton están destinadas únicamente a arenas, este autor no se utilizará para obtener los valores de esta corrección. En la **tabla 4.14** se obtienen las demás correcciones por confinamiento las cuales se utilizan de manera general para cualquier estrato granular. La relación del esfuerzo vertical efectivo a mitad de estrato con la presión atmosférica es la siguiente:

$$\frac{\sigma'_0}{P_a} = \frac{8,0725 \text{ t/m}^2}{10,19 \text{ t/m}^2} = 0,79$$

Como la relación anterior es mayor a 0,75; para el autor Bazaraa se utilizará la ecuación 4.7b.

Tabla 4.14. Resultados de corrección por confinamiento

CORRECCIÓN POR CONFINAMIENTO				
Liao whitman	Seed	Peck	Bazaraa (4.7b)	Schmertman
1,12	1,13	1,08	0,99	1,24

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

Se adopta un valor promedio de 1,11. En la **tabla 4.15** se presentan las demás correcciones y el N_{60} obtenido mediante la **ecuación 4.1** para el número de golpes más bajo (**$N_{SPT}=10$**), para los sondeos en estratos de grava se utiliza un revestimiento de punta maciza, sin embargo, dentro de la información consultada no es claro si el contratista utiliza este tipo de revestimiento; por lo que este factor de corrección es adoptado con un valor de 1

Tabla 4.15. Obtención del N_{60} para la columna geotécnica 1 de la estación Av. Jiménez

CORRECCIÓN DE N_{SPT} COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 1 TRANSMILENIO								
Revestimiento: para arenas y arcillas densas					Diámetro :de perforación = 100 mm			
Prof. inicial	Prof. final	N_{60}	Nspt	Cn	η_1	η_2	η_3	η_4
0,45	8,00	8	10	1,12	0,75	0,95	1	1

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

- **Corrección de golpes N_{SPT} de la columna geotécnica 2 de Transmilenio (tabla 4.5).**

La descripción del suelo en esta columna corresponde a un suelo fino (arcilla limosa); por lo que en primera instancia la corrección por confinamiento no es necesario calcularla y su valor será igual a 1.

En la **tabla 4.16** se presentan las demás correcciones y el N_{60} obtenido mediante la **ecuación 4.1**, para el número de golpes más bajo (**$N_{SPT}=8$**).

Tabla 4.16. Obtención del N_{60} para la columna geotécnica 2 (estación Av. Jiménez)

CORRECCIÓN DE NSPT COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 1 TRANSMILENIO								
Revestimiento: para arenas y arcillas densas					Diámetro: de perforación = 100 mm			
Prof. inicial	Prof. final	N_{60}	Nspt	Cn	η_1	η_2	η_3	η_4
0,45	8,00	6	8	1,00	0,75	0,95	1,00	1,00

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

- **Corrección columnas geotécnicas del estudio de suelos del Metro (tablas 4.6 – 4.9).**

Los parámetros geotécnicos faltantes se obtendrán de las **ecuaciones 4.17 y 4.19**; debido a esto no es necesario corregir el número de golpes N_{SPT} para dichas columnas geotécnicas. Sus resultados pueden observarse al final del... **numeral 4.2.3.**

4.2.3.2. Correlaciones a partir de N_{60} y columnas geotécnicas finales

Una vez corregido N_{SPT} es posible estimar los parámetros geotécnicos mediante correlaciones que usan N_{60} . De las múltiples ecuaciones determinadas empíricamente para estas estimaciones, se presenta a continuación las correlaciones que se utilizaron en el presente análisis y sus respectivos autores, mencionados en el texto de Das Braja:

- **Resistencia al corte no drenado C_u (t/m^2)**

Este parámetro geotécnico resulta de la resistencia al corte en condiciones no drenadas de un suelo fino y *“tiene aplicación en los análisis de estabilidad a corto plazo de obras construidas con o sobre depósitos de arcilla, en los que se considera que el tiempo transcurrido hasta el final de la construcción, es insuficiente para la disipación del exceso de presión intersticial”* [4]. A continuación se presentan dos **ecuaciones 4.9 y 4.10** entre el N_{60} y la resistencia al corte no drenado:

- Correlación de Terzagui y peck

$$C_u(t/m^2) = 0,625 * N_{60} \quad (4.9)$$

- Correlación de Hara

$$C_u(t/m^2) = (0,29N_{60}^{0,72})P_a \quad (4.10)$$

Donde:

C_u = Resistencia al corte no drenado

N_{60} = Numero de golpes SPT corregido al 60 % de eficiencia

P_a = Presión atmosférica

- **Ángulo de rozamiento interno ϕ (°)**

Correspondiente al ángulo de fricción entre las partículas de los suelos, está ligado al ángulo de reposo de un material. Depende del tamaño y forma de las partículas, usualmente su valor es determinado por ensayos de laboratorio (corte directo o ensayo triaxial), para la determinación de este parámetro se usarán las **ecuaciones 4.11, 4.12 y 4.13**.

- Correlación de Peck, Hanson y Thornburn

$$\phi'(^{\circ}) = 27,1 + 0,30N_{60} - 0,00054N_{60}^2 \quad (4.11)$$

- Correlación de Schemertmann

$$\phi'(^{\circ}) = \tan^{-1} \left[\frac{N_{60}}{12,2 + 20,3 \left(\frac{\sigma'_{\theta}}{P_a} \right)} \right]^{0,34} \quad (4.12)$$

Donde:

ϕ' = Ángulo de rozamiento interno

N_{60} = Número de golpes SPT corregido al 60 % de eficiencia

P_a = Presión atmosférica

- Correlación de Hatanaka y Uchida

$$\phi'(^{\circ}) = \sqrt{20N_{60}} + 20 \quad (4.13)$$

- **Módulo de elasticidad E (t/m²)**

Indicando la relación entre el esfuerzo y la deformación longitudinal de un material, **ecuaciones 4.14, 4.15 y 4.16**. Es un parámetro de suma importancia en el cálculo de asentamientos elásticos

- Correlación de Danziguer (para arcillas)

$$E (T/m^2) = 91,74N_{60} \quad (4.14)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad longitudinal

N_{60} = Numero de golpes SPT corregido al 60 % de eficiencia

$$E(T/m^2) = 40 + [120(N_{60} - 6)] \text{ (si } N_{60} > 15) \quad (4.15)$$

$$E(T/m^2) = [120(N_{60} - 6)] \text{ (si } N_{60} \leq 15) \quad (4.16)$$

- **Módulo de elasticidad transversal G (t/m²)**

De igual manera que el módulo de elasticidad E, esta vez se relacionan esfuerzos **cortantes** con la deformación. Su estimación se puede realizar mediante la **ecuación 4.17** que depende del módulo de elasticidad E y el módulo de Poisson, **tabla 4.17**, o bien, con la correlación de la **ecuación 4.18**.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (4.17)$$

Tabla 4.17. Valores del módulo de Poisson para distintos tipos de suelo

Tipo de suelo	Descripción	Módulo de Poisson (ν)
Arcilla	Suave	0,35 - 0,40
	Media	0,30 - 0,35
	Dura	0,20 - 0,30
Arena	Suelta	0,15 - 0,25
	Media	0,25 - 0,30
	Densa	0,25 - 0 35

Fuente: Budhu, Muni (2004).

- Correlación de Kokusho y yoshida

$$G \text{ (t/m}^2\text{)} = V_s^2 \left(\frac{\gamma}{g^2} \right) \quad (4.18)$$

Donde:

G = Módulo de elasticidad transversal (t/m³)

V_s = Velocidad de propagación de ondas de corte transversales (m/s), **tabla 4.18**.

γ = Peso específico (kN/m³)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

Tabla 4. 18 Velocidad de propagación de las ondas de corte transversales

Tipo de suelo	Vs
Arena fina	$V_s = 49N_{60}^{0,25} * \sigma_{v0}'^{0,14}$
25% de grava	$V_s = 56N_{60}^{0,25} * \sigma_{v0}'^{0,14}$
50% de grava	$V_s = 60N_{60}^{0,25} * \sigma_{v0}'^{0,14}$
General	$V_s = 55N_{60}^{0,25} * \sigma_{v0}'^{0,14}$

Fuente: Devincenzi M. (2004).

- **Resistencia a la compresión simple q_u (t/m²)**

Este parámetro se obtiene mediante un ensayo de compresión simple y corresponde al máximo esfuerzo axial normal que se le aplica a una muestra de

suelo antes de que ésta falle. La metodología de prueba es similar a los ensayos en probetas de concreto. Para estimar su valor se puede hacer mediante la **ecuación 4.19**.

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (4.19)$$

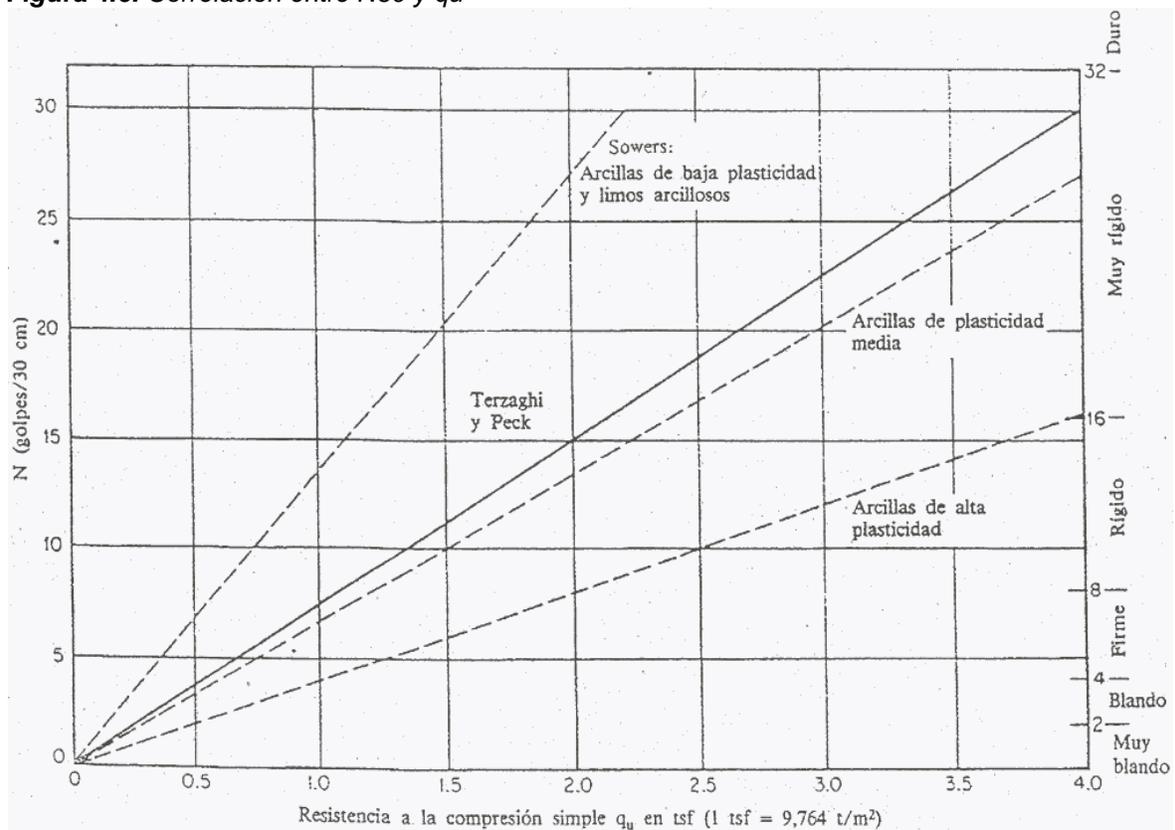
Donde:

C_u = Resistencia al corte no drenado
 q_u = Resistencia a la compresión simple

O de igual forma, existen 2 correlaciones, **tabla 4.19 y figura 4.7** con las que se puede determinar q_u :

- *Department of Navy*

Figura 4.6. Correlación entre N_{60} y q_u



Fuente: *Department of Navy (1982)*.

- Correlación de Hara

Tabla 4.19. Correlación de Hara entre N_{60} y q_u

N_{60}	Consistencia	Resistencia a la compresión simple q_u
<2	Muy blanda	<25
2 - 8	Blanda	25 - 8
8 - 15	Media	80 - 15
15 - 3	Firme	150 - 4
>30	Muy firme	>400

Fuente: Das Braja M. (2012).

- Resultados

- Correlaciones para el estudio de suelos Av. Jiménez... numeral 4.2.1.

Ahora bien en la **tabla 4.20** se presentan las condiciones iniciales del suelo y en la **tabla 4.21** las correlaciones realizadas para la primera columna geotécnica de los estudios de suelos de Transmilenio.

Tabla 4.20. Condiciones iniciales columna geotécnica 1 (estación Av. Jiménez)

Descripción del suelo	Prof. ini. (m)	Prof. fin. (m)	Densidad seca (t/m^3)	Esfuerzo vertical (t/m^2)	N_{60}
Grava arcillosa gris de humedad media y densidad media.	0,45	8	1,9	8,07	6

Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (agosto de 2016).

Tabla 4.21. Resultados de correlaciones columna geotécnica 1 (estación Av. Jiménez)

Ángulo de fricción interna (°)	Resistencia al corte no drenado (t/m^2)		Módulo de deformación E (t/m^2)	Módulo de deformación G (t/m^2)	Resistencia a la compresión simple (t/m^2)				
Peck	Schmertman	Hatanaka	Terzagui y Peck	Hara	Danziger	Begueman	Kokusho y Yoshida	Braja Das	Navy
29	33	28	N/A	N/A	N/A	1680	584	8,2	11,7

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

Para la segunda columna geotécnica se muestran las condiciones iniciales del suelo, **tabla 4.22** y las correlaciones calculadas, **tabla 4.23**.

Tabla 4.22. Condiciones iniciales columna geotécnica 2 (estación Av. Jiménez)

Descripción del suelo	Prof. ini. (m)	Prof. fin. (m)	Densidad seca (t/m ³)	Esfuerzo vertical (t/m ²)	N ₆₀
Arcilla limosa habana y café de plasticidad media a alta, humedad media y baja y consistencia media.	0,45	8	1,9	8,07	6

Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (agosto de 2016).

Tabla 4.23. Resultados de correlaciones columna geotécnica 2 (estación Av. Jiménez)

Peck	Schmerman	Hatana ka	Resistencia al corte no drenado (t/m ²)		Módulo de deformación E (t/m ²)		Módulo de deformación G (t/m ²)	Resistencia a la compresión simple (t/m ²)	
			Terzagui y Peck	Har a	Danziger	Begueman	Kokusho y Yoshida	Braja Das	Navy
29	31	27	3,75	10,7	550	N/A	204	6,3	8,79

Fuente: Elaboración propia (agosto de 2016).

Resumiendo y agrupando los valores promedio para cada parámetro tenemos las dos siguiente **columnas geotécnicas finales, tablas 4.24 y 4.25.**

Tabla 4.24. Columna geotécnica final 1 (estación Av. Jiménez)

Profundidad (m)	Descripción	Densidad natural (t/m^3)	Cohesión efectiva (t/m^2)	Ángulo de rozamiento interno ($^{\circ}$)	Módulo de elasticidad longitudinal $E = (t/m^2)$	Módulo de elasticidad transversal $G = (t/m^2)$	Resistencia a la compresión simple (t/m^2)
0.45-8.00	Grava arcillosa gris de humedad media y densidad media.	1,9	N/A	30	1680	684	8,2

Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (agosto de 2016).

Tabla 4.25. Columna geotécnica final 2 (estación Av. Jiménez)

Profundidad (m)	Descripción	Densidad natural (t/m^3)	Cohesión efectiva (t/m^2)	Ángulo de rozamiento interno ($^{\circ}$)	Módulo de elasticidad longitudinal $E = (t/m^2)$	Módulo de elasticidad transversal $G = (t/m^2)$	Resistencia a la compresión simple (t/m^2)
0.45-8.00	Arcilla limosa habana y café de plasticidad media a alta, humedad media y baja y consistencia media	1,9	3,75	29	550	204	6,3

Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (agosto de 2016).

- **Correlaciones para el estudio de suelos del metro... Numeral 4.2.2.**

De las columnas de parámetros geotécnicos presentados en el estudio de suelos para la primera línea del metro, en la estación de San Victorino y en la estación Lima, se completarán los datos de módulo de resistencia transversal G con la ecuación 4.17 y resistencia a la compresión simple con la ecuación 4.19. Se presentan las tablas 4.26, 4.27, 4.28 y 4.29.

Tabla 4.26. Columna geotécnica final 1 (estación San Victorino)

Profundidad (m)	Densidad natural (t/m^3)	Cohesión efectiva (t/m^2)	Ángulo de rozamiento interno ($^\circ$)	Módulo de elasticidad longitudinal $E = (t/m^2)$	Módulo de elasticidad transversal $G = (t/m^2)$	Resistencia al corte no drenado (t/m^2)
0,00 - 0,90	2,00	0,00	28	600	405	0,0
0,90 - 11,10	1,90	1,10	22	2000	1350	2,2
11-10 - 14,80	2,00	1,00	33	4450	3004	2,0
14,80 - 20,70	2,00	1,30	31	3950	2666	2,6
20,70 - 23,30	2,00	1,50	36	6750	4556	3,0
23,30 - 24,70	2,00	1,50	22	2250	1519	3,0
24,70 - 26,00	2,10	0,90	24	9000	6075	1,8
26,00 - 50,00	2,40	2,00	26	50000	33750	4,0

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (agosto de 2016).

Tabla 4.27. Columna geotécnica final 1 (estación Lima)

Profundidad (m)	Densidad natural (t/m^3)	Cohesión efectiva (t/m^2)	Ángulo de rozamiento interno ($^\circ$)	Módulo de elasticidad longitudinal $E = (t/m^2)$	Módulo de elasticidad transversal $G = (t/m^2)$	Resistencia al corte no drenado (t/m^2)
0,00 - 1,10	2,00	0,0	28	600	405	0,0
1,10 - 9,70	1,94	1,4	21	2310	1560	2,8
9,70 - 16,30	2,00	1,1	36	7150	4826	2,2
16,30 - 19,80	2,00	1,2	30	3030	2045	2,4
19,80 - 21,50	2,00	1	18	1750	1181	2,0
21,50 - 25,30	1,85	0,8	37	7050	4759	1,6
25,30 - 27,00	2,00	1,5	22	2250	1519	3,0
27,00 - 32,40	2,00	1,2	34	6710	4529	2,4
32,40 - 45,40	2,00	1,9	27	4180	2821	3,8
45,40 - 47,00	2,00	0,9	37	7700	5197	1,8
47,00 - 50,00	2,00	2,0	26	3750	2531	4,0

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (agosto de 2016).

Tabla 4.28. Columna geotécnica final 2 (estación San Victorino)

Profundidad (m)	Densidad natural (t/m^3)	Cohesión efectiva (t/m^2)	Ángulo de rozamiento interno ($^{\circ}$)	Módulo de elasticidad longitudinal (t/m^2)	Módulo de elasticidad transversal (t/m^2)	Resistencia al corte no drenado (t/m^2)
0,00 - 2,40	2	0	28	600	405	0
2,40 - 3,89	1,85	1	18	1540	1039,5	2
3,89 - 4,32	1,5	0,2	10	450	303,75	0,4
4,32 - 8,37	1,85	1	1,6	1750	1181,25	2
8,37 - 9,70	1,5	0,2	10	450	303,75	0,4
9,70 - 13,65	1,9	1	21	2450	1653,75	2
13,65 - 14,11	1,5	0,2	10	450	303,75	0,4
14,11 - 16,10	1,9	1,3	21	2100	1417,5	2,6
16,10 - 16,82	1,5	0,2	10	450	303,75	0,4
16,82 - 18,62	2	1,4	24	2550	1721,25	2,8
18,62 - 23,28	1,9	1	25	2050	1383,75	2
23,28 - 24,05	1,5	0,2	10	450	303,75	0,4
24,05 - 27,29	2	1,1	2	2200	1485	2,2
27,29 - 27,60	1,5	0,2	10	450	303,75	0,4
27,60 - 30,32	1,9	1,3	20	2050	1383,75	2,6
30,32 - 36,54	2	1,1	32	4850	3273,75	2,2
36,54 - 43,36	2	1,2	29	3050	2058,75	2,4
43,36 - 50,03	2	1,8	24	3050	2058,75	3,6

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (agosto de 2016).

Tabla 4.29. Columna geotécnica final 2 (estación Lima)

Profundidad (m)	Densidad natural (t/m^3)	Cohesión efectiva (t/m^2)	Ángulo de rozamiento interno ($^{\circ}$)	Módulo de elasticidad longitudinal (t/m^2)	Módulo de elasticidad transversal (t/m^2)	Resistencia al corte no drenado (t/m^2)
0,00 - 1,10	2	0	28	600	405	0
1,10 - 3,40	1,94	1,4	26	2950	1991,25	2,8
3,40 - 7,50	1,9	1	21	1890	1275,75	2
7,50 - 9,00	2	1,3	31	3700	2497,5	2,6
9,00 - 18,00	2	1,5	22	2250	1518,75	3
18,00 - 27,70	2	1,5	27	2460	1660,5	3
27,70 - 32,50	2	0,9	37	7700	5197,5	1,8
32,50 - 40,90	2	2	26	3750	2531,25	4
40,90 - 47,00	2	1,2	34	6670	4502,25	2,4
47,00 - 50,00	2	2	26	3750	2531,25	4

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (agosto de 2016).

4.2.3.3. Susceptibilidad a la licuación

Las características coluviales del suelo en la ubicación de la zona de pre-diseño, **figura 4.3 y 4.4** y una posible sobrecarga causada por un movimiento sísmico, provocaría que los suelos en cuestión perdieran su capacidad portante, haciendo vulnerable una construcción; por lo que es de suma importancia evaluar el riesgo a la licuación que allí se pueda presentar. Con los parámetros geotécnicos obtenidos en los estudios de suelo... **numeral 4.2.1 y 4.2.2...** y los coeficientes espectrales de diseño del anexo C obtenido de la Alcaldía Mayor de Bogotá (Decreto 523 de 2010), se presenta una evaluación del fenómeno de licuación, **figura 4.8.**

Figura 4.7. Fenómeno de licuación en suelos granulares durante un sismo en Nueva Zelanda



Fuente: University of Edinburg (2001).

La licuación **es un fenómeno que se presenta generalmente en arenas** (aunque los suelos cohesivos presentan en algunos casos susceptibilidad a ésta) debido al incremento de la presión intersticial (presión de poros; u). **El incremento de estas presiones es causado por el aumento de las cargas a las que está sometido el mismo, como en el caso de un sismo de gran magnitud.**

Las características del suelo no permiten la disipación de energía “*con el incremento de la presión de poros genera la disminución del esfuerzo efectivo (σ'), la cual finalmente se reduce a cero cuando la relación de presión de poros es igual al esfuerzo total (σ). Tal estado del suelo da como resultado el fenómeno de la licuación, que es un estado en que el suelo pierde su resistencia al corte*” [11].

Existen características generales en los suelos que pueden inclinarlo hacia una posible condición de licuación, en la NSR-10, se plantean varias **cualidades de un suelo susceptible**:

- Depósitos coluviales y fluviales saturados o cercanos a la saturación
- Arenas sueltas de baja densidad con alta presencia de limos. Arenas muy densas son más resistentes a la licuación
- Suelos granulares con granos redondeados y bien gradados
- Cuando existe un número de golpes SPT corregido muy alto, la densidad del suelo es lo suficientemente alta para no presentar licuación

Kramer y Stewart en su texto presentan unos **parámetros para suelos finos** con susceptibilidad a este fenómeno:

- Contenidos de arcilla menores a 15%
- Límite líquido (LL) < 35%
- Humedad natural (W) < 41%
- Índice de liquidez Li < 0,75

Cuando los suelos de interés tienen una o varias características anteriores, se hace necesario evaluar el riesgo de una forma más directa y objetiva.

- **Cálculo del factor de seguridad del riesgo a la licuación**

Como cualquier evaluación de riesgo a fenómenos o amenazas; **este fenómeno se evalúa mediante una relación** entre la amenaza de cargas externas que pueden llevar a una eventual licuación y la resistencia del suelo a la misma, **ecuación 4.20**.

$$FS = \frac{CSR}{CRR} \quad (4.20)$$

Donde:

CSR = Relación de esfuerzo cíclico

CRR = Relación de resistencia cíclica

- **Relación de esfuerzo cíclico (CSR)**

El suceso de cargas amenazante es nombrado **relación de esfuerzo cíclico** o CSR (*Cyclic Stress Ratio* en inglés) Bozorgnia y Bertero definen esta relación de la siguiente manera, **ecuación 4.21**.

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} \quad (4.21)$$

Donde:

τ_{cyc} = Esfuerzo cortante cíclico

σ'_{v0} = Esfuerzo efectivo

El esfuerzo cortante cíclico se toma generalmente del 65% de su valor más alto, proveniente de los sismos registrados históricamente. Es calculado mediante la aceleración máxima en la superficie (a_{max}), **para Bogotá estas aceleraciones pueden obtenerse del decreto 523 de 2010**. También se involucra el factor de reducción r_d de la aceleración espectral que afecta de manera sustancial su magnitud, esta dependerá de la profundidad a la que se evalúe el estrato, por lo que en la **ecuación 4.22**.

$$\begin{aligned}
 CSR &= \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_0} \\
 &= 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} r_d
 \end{aligned}
 \tag{4.22}$$

Donde:

τ_{cyc} =Esfuerzo cortante cíclico

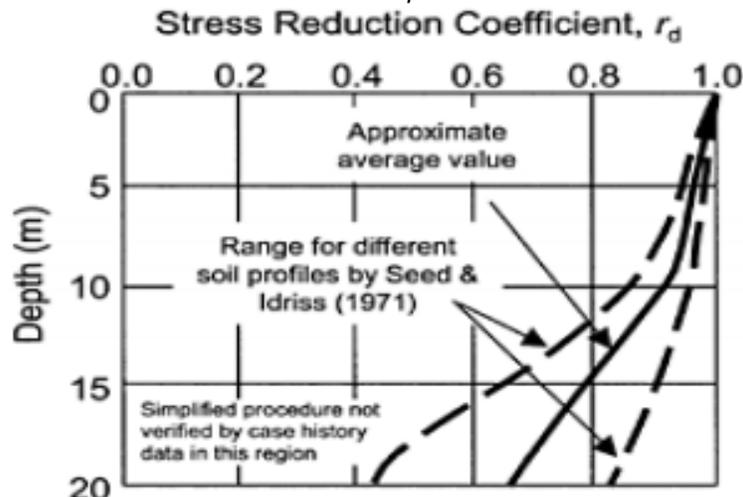
σ_0 = Esfuerzo total

σ'_0 = Esfuerzo efectivo

g = Aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

r_d = Factor de reducción de la aceleración espectral, **figura4.9**.

Figura 4.8. Factor de reducción de la aceleración espectral r_d

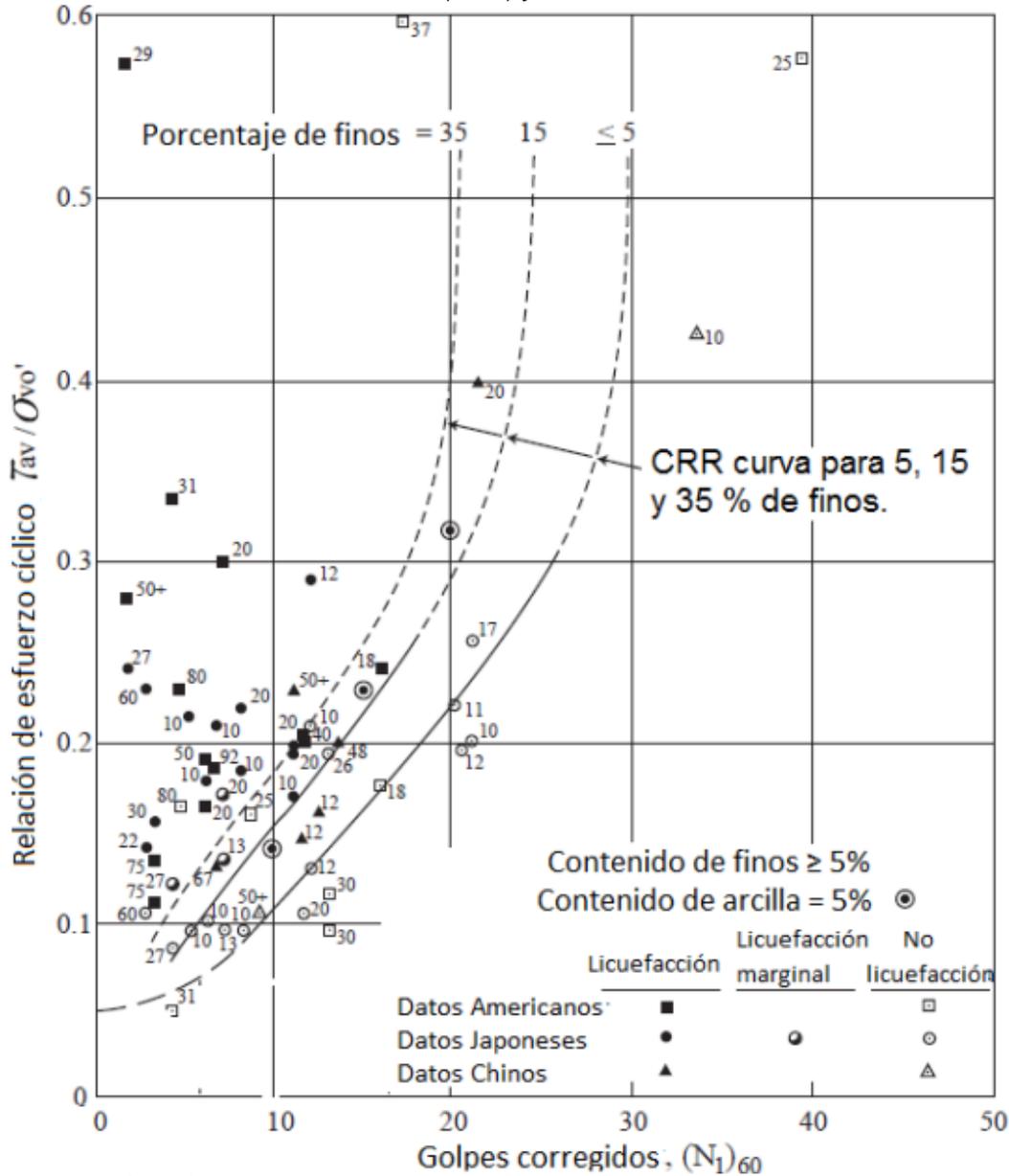


Fuente: Bozorgnia, Y. y Bertero, V. V. (2004)

- Relación de resistencia cíclica (CRR)

Ahora bien una vez definidos los esfuerzos actuantes que inciden en una eventual licuación (**CRR**), se evalúa la resistencia del suelo a estas cargas externas. La relación de resistencia cíclica o *CRR (Cyclic Resistance Ration)* es la oposición de un suelo a la licuación, los autores (Seed y Idriss) reunieron una serie de eventos sísmicos con magnitudes aproximadas a 7,5 en la escala de Richter, las consecuencias de los sismos con respecto a la licuación se registraron en un gráfico que relaciona N_{60} con la relación de esfuerzo cíclico (**CRR**) tal como se muestra en la **figura 4.10**.

Figura 4.9. Curvas entre resistencia cíclica (CRR) y N_{60}



Fuente: Youd (2001).

Las curvas resultantes en la gráfica se pueden representar mediante una ecuación determinada por Idriss y Youd. **Ecuación 4.23**, se aplica únicamente para arenas limpias (sin contenido de finos).

$$CRR = \frac{1}{34 - N_{60}} + \frac{N_{60}}{135} + \frac{50}{[10(N_{60}) + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4.23)$$

Nota: La ecuación anterior se limita para $N_{60} < 30$, para valores de $N_{60} \geq 30$, se considera que el suelo es lo suficientemente denso como para **no presentar ningún riesgo a licuefacción**

- **Corrección por contenidos de finos**

Para el caso de arenas que contengan finos (**FC**), el mismo autor determinó una, **ecuación 4.24**, en la que se debe corregir nuevamente el N_{60} con los coeficientes α y β obtenidos mediante la **tabla 4.30**.

$$N_{60CS} = \alpha + \beta N_{60} \quad (4.24)$$

Tabla 4.30. Factores de corrección por contenido de finos α y β

α	β	FC (contenido de finos)
0	1	$\leq 5\%$
$e^{[1,76 - (\frac{190}{FC^2})]}$	$0,99 + (\frac{FC^{1,5}}{1000})$	$5\% < FC < 35\%$
5	1,25	$\geq 35\%$

Fuente: **Bozorgnia y Bertero (2011)**.

Una vez corregido el número de golpes SPT, se calcula nuevamente la **ecuación 4.23**, utilizando esta vez N_{60corr} .

$$CRR = \frac{1}{34 - N_{60CS}} + \frac{N_{60CS}}{135} + \frac{50}{[10(N_{60CS}) + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

La relación de resistencia cíclica obtenida de la ecuación 4.23 debe ser corregida por los siguientes factores:

- **Corrección por magnitud de sismo (MSF)**

Debido a que las ecuaciones de resistencia del CRR han sido normalizadas para sismos de magnitud 7,5 en la escala de Richter, se relaciona la siguiente corrección para la magnitud de sismos en el lugar de evaluación según Kramer y Stewart, **ecuación 4.25**.

$$MSF = \left(\frac{7.5}{M}\right)^n \quad (4.25)$$

Donde:

M = Magnitud del sismo

n = Factor de magnitud; 2,93 para $M \leq 7,5$ y 2.56 para $M \geq 7.5$

- **Corrección por sobrecargas altas ($K\sigma$)**

Una corrección por sobrecarga de cada estrato, de acuerdo al esfuerzo efectivo en el terreno determinada por Youd. Se muestra en la **ecuación 4.26**.

$$k\sigma = (\sigma'_0)^{-0,25} \quad (4.26)$$

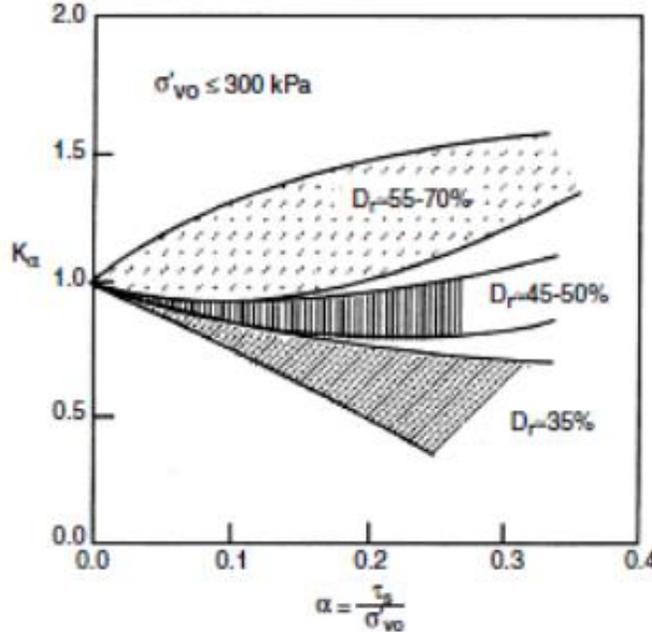
Donde:

σ'_0 = Esfuerzo efectivo

- **Corrección por pendiente de terreno (K_α)**

Es un factor que se utiliza para diferentes pendientes de terreno, este factor tiende a ser 1 para terrenos planos, **figura 4.10**, como es el caso de los lugares en los que se hicieron los sondeos presentados en el presente capítulo.

Figura 4.10. Comportamiento del factor de corrección K_α



Fuente: Brandes (2003).

Calculada la relación de esfuerzo cíclicos (CSR) y la relación de resistencia cíclica (CRR) se obtiene finalmente la **ecuación 4.27** del factor de seguridad FS , en ésta se involucran los factores de corrección por magnitud de sismo y **su valor debe ser mayor a 1,00 para no presentar una eventual licuación**. Sin embargo, algunos autores recomiendan utilizar un factor de seguridad de 1,3 dependiendo de las causas que puedan provocar la licuación y de los criterios del especialista geotécnico.

$$FS = \frac{CRR * MSF * k_\sigma * k_\alpha}{CSR} \geq 1 \tag{4.27}$$

- **Resultados**

- **Licuación para estudios de suelos del metro... numeral 4.2.2...**

La susceptibilidad de licuación para los sondeos de los estudios de suelos y auscultación del metro de Bogotá fueron presentados mediante un informe hecho por el contratista (Consortio L1). En el informe se evalúa dichos riesgos mediante el método SPT, es decir, el método explicado anteriormente. A continuación se presentan los resultados de cada sondeo de las estaciones San Victorino **tabla 4.31** y Lima **tabla 4.32**.

Tabla 4.31. Riesgo de licuación para los sondeos del metro (estación San Victorino)

Sondeo	Profundidad nivel freático (m)	Profundidad de la muestra (m)	CRR	CSR	FS	Riesgo
SM-01	1,01	9,3	0,151	0,202	0,748	Licuable
	1,01	10,8	0,173	0,206	0,842	Licuable
	1,01	12,3	0,315	0,209	1,506	No licuable
	1,01	15,3	0,122	0,213	0,572	Licuable
	1,01	21,3	0,532	0,219	2,429	No licuable
SM-02	0,00	10,8	0,184	0,234	0,786	Licuable
	0,00	18,8	0,176	0,234	0,754	Licuable
	0,00	22,8	0,531	0,234	2,274	No licuable
	0,00	25,8	0,138	0,234	0,589	Licuable
	0,00	36,3	0,097	0,234	0,416	Licuable
SM-03	0,04	9,3	0,142	0,232	0,613	Licuable
	0,04	15,3	0,213	0,233	0,917	Licuable
	0,04	21,3	0,112	0,233	0,482	Licuable
	0,04	25,8	0,111	0,233	0,475	Licuable
	0,04	39,3	0,111	0,233	0,474	Licuable
	0,04	42,3	0,119	0,233	0,509	Licuable

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (agosto de 2016).

Tabla 4.32. Riesgo de licuación para los sondeos del metro (estación Lima)

Sondeo	Profundidad nivel freático	Profundidad de la muestra	CRR	CSR	FS	Riesgo
SM-04	6,63	17,10	0,196	0,15	1,306	No licuable
	6,63	18,90	0,173	0,156	1,113	No licuable
	6,63	24,90	0,479	0,169	2,832	No licuable
SM-05	13,90	33,90	0,221	0,147	0,502	No licuable
	13,90	46,50	0,325	0,164	1,986	No licuable
SM-06	13,90	6,30	0,107	0,056	1,909	No licuable
	13,90	23,30	0,116	0,126	0,923	Licuable
SM-07	13,90	30,30	0,178	0,141	1,26	No licuable
SM-08	6,00	6,30	0,344	0,099	3,479	No licuable
	6,00	13,50	0,225	0,143	1,573	No licuable
	6,00	22,50	0,492	0,169	2,906	No licuable
	6,00	27,30	0,474	0,178	2,668	No licuable
	6,00	31,50	0,461	0,184	2,512	No licuable
	6,00	37,50	0,446	0,190	2,348	No licuable

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (agosto de 2016).

Los resultados presentados por el consultor Consorcio L1 fueron verificados mediante los factores de seguridad (FS) en las **tablas 4.33 y 4.34**. Utilizando las ecuaciones 4.22, 4.23... 4.27 e incluyendo los siguientes datos de entrada:

Aceleración máxima: El consultor utiliza los coeficientes de diseño de las zonas de respuesta sísmica establecidos para el decreto 523 de 2010, los sondeos analizados se encuentran en la zona Piedemonte B, por lo que se tiene:

$$\frac{a_{max}}{g} = 0,26$$

Relación PGA: Esta relación de la **ecuación 4,28** involucra la aceleración máxima con el factor de reducción de esfuerzos por profundidad r_d , gráfico 4.2.

$$PGA = \frac{a_{max}}{g} * r_d \quad (4.28)$$

Sin embargo, para el caso de Bogotá, el contratista realiza su propio análisis de reducción de esfuerzos que dependen de las condiciones geológicas, hidrológicas, geotécnicas y geomorfológicas de las zonas de diseño de la primera línea del metro de Bogotá. Por lo que los valores de r_d no dependerán del gráfico 4.2; de todos los valores de la relación PGA obtenidos para la zona de Piedemonte B, **el consultor de manera muy conservadora toma el valor más crítico de $r_d = 0,57$** para todas las profundidades de los sondeos analizados. Por lo que:

$$PGA = \frac{a_{max}}{g} * r_d$$

$$PGA = 0,26 * 0,57 = 0,148$$

Densidad natural del terreno: La densidad utilizada en el cálculo de esfuerzos totales, es utilizada con un valor de:

$$\gamma_T = 1,7 (t/m^3)$$

Su magnitud es demasiado conservadora, teniendo en cuenta que las columnas geotécnicas del... **numeral 4.2.2...** tienen un valor promedio de $2,0 (t/m^3)$

Factor de corrección por magnitud de sismo: Por medio de la ecuación 4.25, el contratista realiza la corrección por magnitud de sismo, optando para el caso de Bogotá un sismo de 6,9 grados en la escala de Richter. Si bien Bogotá ha sido afectada por sismos de magnitud 8, **la magnitud acogida por el diseñador es aceptable, teniendo en cuenta la poca frecuencia que han tenido los sismos mayores a 6,9 grados en la ciudad.** Entonces:

$$MSF = \left(\frac{7,5}{6,9}\right)^{2,93} = 1,277$$

Factor de corrección por pendiente del terreno: Como se mencionó anteriormente; en la figura 4.11, para terrenos planos como los de Bogotá; $\alpha = 0,00$. Por consiguiente el diseñador toma de manera adecuada el valor:

$$K_\alpha = 1,00$$

Tabla 4.33. Verificación del riesgo de licuación para los sondeos del metro (estación San Victorino)

Sond	Prof. nivel freático (m)	Prof. muestra (m)	σ_{T0}	σ'_0	PGA	CSR	N_{60}	Cont. finos (%)	α	β	N_{60CS}	MSF	$K\sigma$	$K\alpha$	CRR	FS
SM-01	1,01	9,3	15,81	7,52	0,148	0,202	4,02	33,8	4,92	1,19	9,69	1,28	1,08	1	0,152	0,75
	1,01	10,8	18,36	8,57	0,148	0,206	5,56	91,5	5,00	1,25	11,95	1,28	1,04	1	0,174	0,85
	1,01	12,3	20,91	9,62	0,148	0,209	21,17	9,2	0,62	1,02	22,16	1,28	1,01	1	0,317	1,51
	1,01	15,3	26,01	11,72	0,148	0,213	3,62	25,8	4,37	1,12	8,43	1,28	0,97	1	0,123	0,57
	1,01	21,3	36,21	15,92	0,148	0,219	30,00	21,8	3,90	1,09	36,65	1,28	0,89	1		
SM-02	0,00	10,8	18,36	7,56	0,148	0,234	5,85	90,8	5,00	1,25	12,31	1,28	1,08	1	0,184	0,79
	0,00	18,8	31,96	13,16	0,148	0,234	6,92	35,4	5,00	1,25	13,65	1,28	0,94	1	0,176	0,75
	0,00	22,8	38,76	15,96	0,148	0,234	30,00	94,6	5,00	1,25	42,50	1,28	0,89	1		
	0,00	25,8	43,86	18,06	0,148	0,234	5,71	30,2	4,72	1,16	11,32	1,28	0,87	1	0,138	0,59
	0,00	36,3	61,71	25,41	0,148	0,234	5,35	14,7	2,41	1,05	8,01	1,28	0,80	1	0,098	0,42
SM-03	0,04	9,3	15,81	6,55	0,148	0,232	2,82	91,2	5,00	1,25	8,53	1,28	1,12	1	0,143	0,62
	0,04	15,3	26,01	10,75	0,148	0,233	8,80	98,2	5,00	1,25	16,00	1,28	0,99	1	0,215	0,92
	0,04	21,3	36,21	14,95	0,148	0,233	4,24	19,8	3,58	1,08	8,15	1,28	0,91	1	0,113	0,48
	0,04	25,8	43,86	18,1	0,148	0,233	2,85	46,5	5,00	1,25	8,56	1,28	0,87	1	0,111	0,48
	0,04	39,3	66,81	27,55	0,148	0,233	4,34	31,2	4,78	1,16	9,83	1,28	0,78	1	0,111	0,48
	0,04	42,3	71,91	29,65	0,148	0,233	4,81	47	5,00	1,25	11,01	1,28	0,77	1	0,119	0,51

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (septiembre de 2016).

Tabla 4.34. Verificación del riesgo de licuación para los sondeos del metro (estación Lima)

Sond	Prof. nivel freático (m)	Prof. Muestra (m)	σ_{T0}	σ'_0	PGA	CSR	N_{60}	Cont. finos (%)	α	β	N_{60CS}	MSF	$K\sigma$	$K\alpha$	CRR	FS
SM-04	6,63	17,1	29,07	18,6	0,148	0,150	10,28	32,1	4,83	1,17	16,88	1,28	0,86	1	0,197	1,31
	6,63	18,9	32,13	19,86	0,148	0,156	8,08	46,9	5,00	1,25	15,10	1,28	0,85	1	0,174	1,12
	6,63	24,9	42,33	24,06	0,148	0,169	30,00	34,6	4,96	1,19	40,77	1,28	0,81	1		
SM-05	13,9	33,9	57,63	37,63	0,148	0,147	15,56	26,5	4,43	1,13	21,96	1,28	0,72	1	0,222	1,51
	13,9	46,5	79,05	46,45	0,148	0,164	20,55	28,7	4,62	1,14	28,12	1,28	0,68	1	0,327	2,00
SM-06	13,9	6,3	10,71	18,31	0,148	0,056	2,59	46,9	5,00	1,25	8,24	1,28	0,86	1	0,108	1,92
	13,9	23,3	39,61	30,21	0,148	0,126	6,78	19,4	3,51	1,08	10,80	1,28	0,76	1	0,117	0,93
SM-07	13,9	30,3	51,51	35,11	0,148	0,141	10,32	43,3	5,00	1,25	17,90	1,28	0,73	1	0,179	1,27
SM-08	6	6,3	10,71	10,41	0,148	0,099	15,16	41,2	5,00	1,25	23,95	1,28	0,99	1	0,346	3,50
	6	13,5	22,95	15,45	0,148	0,143	13,54	20,6	3,71	1,08	18,39	1,28	0,90	1	0,226	1,58
	6	22,5	38,25	21,75	0,148	0,169	30,00	41,9	5,00	1,25	42,50	1,28	0,83	1	0,203	1,20
	6	27,3	46,41	25,11	0,148	0,178	23,12	45,9	5,00	1,25	33,90	1,28	0,80	1		
	6	31,5	53,55	28,05	0,148	0,184	21,42	44,5	5,00	1,25	31,78	1,28	0,78	1	0,674	3,67
	6	37,3	63,41	32,11	0,148	0,190	30,00	24,6	4,25	1,11	37,61	1,28	0,75	1		

Fuente: Elaboración propia a partir de [6] (septiembre de 2016).

Como se mencionó anteriormente; para un número de golpes $N_{60} \geq 30$, no es necesario calcular la relación de resistencia cíclica, puesto que el suelo posee la densidad necesaria para no ser susceptible a licuación. Con lo anterior y con los resultados obtenidos en las tablas 4.33 y 4.34, **se verifica que la susceptibilidad a la licuación de los suelos aledaños a la zona de pre-diseño determinada por el consultor Consorcio L1 es acertada.**

- **Licuación para estudios de Transmilenio... numeral 4.2.1...**

Para estos estudios no es posible evaluar licuación, debido a que hasta la profundidad a la que se realizaron los sondeos **no se detectó nivel freático**, sin embargo, debido a la antigüedad de dichos estudios y a la simplicidad de los mismos; es recomendable utilizar los resultados obtenidos para los estudios de la Primera Línea del Metro de Bogotá (2013).

4.2.3.4. Condiciones geotécnicas para el pre-diseño del túnel peatonal

Utilizando la información referenciada, es necesario determinar las condiciones geotécnicas bajo las que se llevaría a cabo la construcción del túnel peatonal. Es importante mencionar que los sondeos más cercanos a la ubicación del túnel peatonal, tendrán mayor incidencia, ver plano 4.1. En la **tabla 4.35** se mencionan las distancias de cada sondeo con respecto al futuro túnel peatonal.

Tabla 4.35. *Distancia de sondeos al lugar de pre-diseño*

Sondeo	Distancia (m)
ST-01	176
ST-02	131
ST-03	80
ST-04	54
SM-01	320
SM-02	202
SM-03	243
SM-04	393
SM-05	488
SM-06	520
SM-07	613
SM-08	371

Fuente: *Elaboración propia (septiembre de 2016).*

Observando las grandes distancias de los sondeos del metro, las condiciones de pre-diseño se limitan a la información obtenida en los sondeos más cercanos, por lo que se decide que los sondeos realizados para la estación de la Av. Jiménez de Transmilenio (2001) ... del **numeral 4.2.1...** serán los determinantes para escoger

los parámetros geotécnicos. No obstante dichos parámetros serán referenciados respecto a los sondeos hechos para el Metro de Bogotá (2013).

El suelo sobre el que estará apoyada la cimentación y en el que se realizarán las excavaciones del túnel se describe a continuación:

- **Descripción del suelo: Arcilla limosa moderadamente firme;** Corresponde a la naturaleza del suelo de los sondeos más cercanos a la ubicación del túnel, éstos son los que determinan la columna geotécnica de la **tabla 4.5**. La distribución del suelo observada en todas las columnas geotécnicas del metro... numeral 4.2.2... confirma la presencia de arcillas de consistencia blanda a media a lo largo de toda la zona de la Plaza de San Victorino en un **espesor mínimo de 8 m**.

- **Condiciones a corto plazo:** Se considera una condición inicial no drenada. Para la determinación de estas condiciones se utilizan los parámetros obtenidos en la **tabla 4.25** de la segunda columna geotécnica de los estudios de suelos de la estación Av. Jiménez de Transmilenio... ver numeral 4.2.1... Dichos parámetros han sido obtenidos bajo las condiciones más críticas del análisis, es decir, con el número de golpes N_{SPT} más bajo obtenido en dichos sondeos:
 - Peso Unitario: $\gamma = 1,9 t/m^3$
 - Ángulo de rozamiento interno: $\varphi = 0^\circ$
 - Resistencia a la compresión no drenada: $C_u = 3,75 t/m^2$
 - Resistencia a la compresión simple: $q_u = 7,5 t/m^2$

- **Condiciones a largo plazo:** Condición drenada. Los parámetros igualmente han sido obtenidos bajo el número de golpes N_{SPT} más crítico.
 - Peso Unitario: $\gamma = 1,9 t/m^3$
 - Ángulo de rozamiento interno: $\varphi = 29^\circ$

Para el cálculo de asentamientos elásticos se adopta el módulo de elasticidad longitudinal:

$$E = 550 t/m^2$$

Una vez obtenidas las condiciones geotécnicas para el pre-diseño... en el **capítulo 6**... se realizan las verificaciones de cimentación pertinentes a la necesidad funcional y estructural del túnel peatonal.

4.3. CONCLUSIONES

- El desarrollo del capítulo está basado en dos estudios de suelos con significativa cercanía a la zona de estudio; los primeros y más antiguos son los estudios realizados para la construcción de la estación de Transmilenio y el túnel peatonal de la Av. Jiménez. Los segundos corresponden a los estudios más recientes para la primera línea del metro de Bogotá, cuyo contrato fue celebrado en el año 2013.
- En las correlaciones utilizadas para hallar los parámetros geotécnicos restantes, se usaron ecuaciones con la eficiencia estadounidense de sondeos SPT, éstas representan un 60 % de eficiencia; por lo que para el caso de Colombia, fue necesario corregir el número de golpes SPT de campo con el fin de obtener un $N_{60\%}$
- Como fue previsto al inicio... del **numeral 4.2**... la verificación de los estudios de suelos del Metro de Bogotá 2015, confirman la presencia de suelos potencialmente licuables a un sismo de magnitud 6,9 grados en la escala de Richter (el contratista utiliza cálculos sensiblemente conservadores). Sin embargo en la zona más cercana al pre-diseño no fue posible confirmar la susceptibilidad de éstos a la licuación; debido que en los estudios de Transmilenio no se confirmó la existencia de nivel freático.
- Para la determinación de las condiciones del suelo bajo las que estará la construcción del túnel peatonal, se utilizó la segunda columna geotécnica de los estudios de suelos de Transmilenio; debido a que se encuentra a muy poca distancia respecto del lugar de construcción, sin embargo, se usaron como referencia las características de los suelos presentadas en los estudios de suelos del Metro y la microzonificación sísmica de Bogotá.
- El cambio en las características de los suelos evidenciadas en ambos estudios de suelos, obedece de una forma más exacta a las distribuciones de las zonas geotécnicas presentadas en la microzonificación sísmica de 1997. En el cual se observa una zona de transición y un cambio en las propiedades de los suelos a partir de la calle 13.
- Durante los procesos realizados y ecuaciones efectuadas en el capítulo, se utilizaron las condiciones más críticas; como es el caso de la obtención de los parámetros geotécnicos, para los cuales se utilizó el número de golpes SPT más bajo dentro del rango presentado por el contratista de los estudios de suelos de Transmilenio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. A.C.I. PROYECTOS S.A. Estudio de suelos para la estación y pasos subterráneos de la Av Jiménez. Bogotá D.C.: IDU, 2004. Contrato IDU 504 de 2001.
- [2]. ---- ----. Localización de sondeos para estudio de suelos. Bogotá: IDU, 2002. Contrato IDU 504 de 2002.
- [3]. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Decreto 523. (16 de Diciembre de 2010). Por el cual se adopta la microzonificación sísmica de Bogotá D.C., 2010.
- [4]. BERRY, P. L. y REID, D. (1993). Mecánica de suelos. Salford: Mc Graw Hill.
- [5]. BOZORGNIA, Y. y BERTERO, V. V. Earthquake engineering. From seismology to performance based-engineering. Washington D.C.: International Code Council, 2004.
- [6]. CONSORCIO L1. Estudio geotécnico y plan de auscultación para la primera línea del metro de Bogotá. Bogotá D.C.: IDU, 2015. Contrato 849 de 2013.
- [7]. DAS, B. M. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Séptima edición. México D.F.: Cengage Learning, 2012.
- [8]. DEVINCENZI, M. y FRANK, N. Ensayos geotécnicos in situ. Su ejecución e interpretación. Figueres: IGEOEST, 2004.
- [9]. GONZALES, Álvaro. Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. 1999 <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE-PARÁMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf>. [Consulta: 12 de Agosto de 2016].
- [10]. INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO. Amenaza por Remoción e Inundación. 2016. <http://idiger.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=54bac2dd888f429f98b030e11d2c76e6>. [Consulta: 23 de Julio de 2016].
- [11]. RODAS ALDANA, Erick J. Susceptibilidad a la licuefacción por medio del sondeo de penetración estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. Trabajo de grado, Master en Ingeniería Geotécnica, Chiquimulilla: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011.
- [12]. RODRIGUEZ, J. A. Evaluación de las Propiedades Dinámicas de los Suelos de Bogotá. Para Análisis de Respuesta Dinámica. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2010.
- [13]. Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). Microzonificación de Bogotá. Bogotá, Colombia, 2010.

- [14]. TORRES, D., MONTOYA ARENAS, M., & REYES, G. A. Geología de la sabana de Bogotá. Bogotá D.C.: INGEOMINAS, 2005.
- [15]. YOUNG, T., & Idriss, I. M. Proceeding of the NCEER WorkShop on Evaluación of Liquefacción Resistance of Soils. New York: National Center for the Earthquake Engineering Research, 1997.

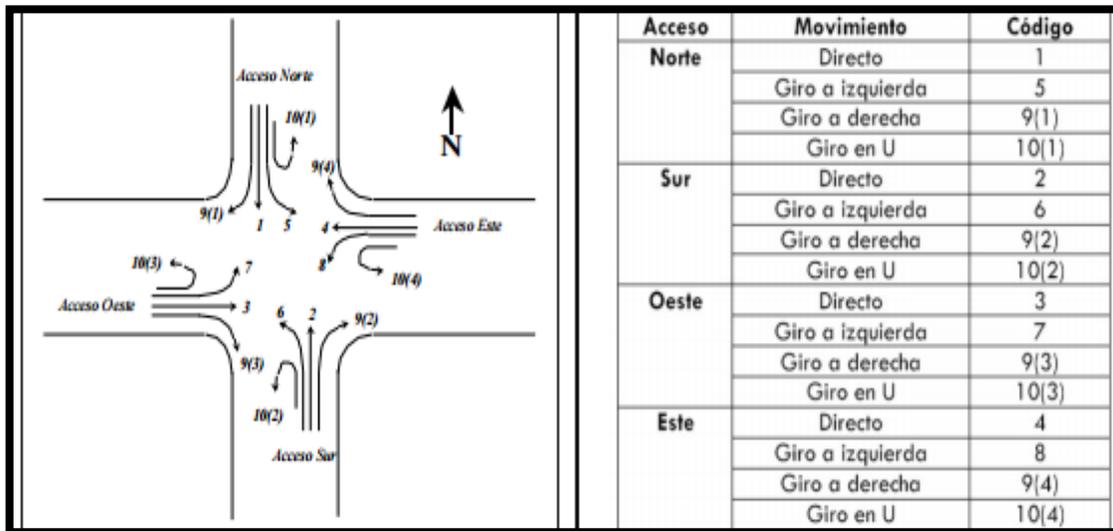
5. AFOROS DE MOVILIDAD Y DEMANDA PEATONAL

Para realizar un diseño óptimo de un túnel peatonal, es de suma importancia tener en cuenta el comportamiento del caudal y movimiento de los peatones que utilizan este cruce; **realizando aforos se determina el volumen de peatones, articulados, etc. en la hora pico y el promedio de usuarios que transitan actualmente por la zona**, así es posible realizar un análisis de proyección que permita asumir un diseño que satisfaga el incremento peatonal a 30 años. Por estas razones, este capítulo contiene los resultados que se obtuvieron mediante los aforos realizados en el punto de estudio, en éstos se involucran ciclistas, carretas de carga (denominadas comúnmente “zorras”) y personas con discapacidad, adicionalmente se realizaron aforos vehiculares en el que se incluyeron los buses de Transmilenio y vehículos mixtos que transitan por el carril norte de la calle 13.

- **Metodología**

En la **figura 5.1** se presenta la codificación de los movimientos vehiculares decretado por la Secretaria Distrital de Movilidad de Bogotá D.C., **códigos que se designaron en este proyecto tanto para vehículos como para peatones.**

Figura 5.1. Codificación de los Movimientos Vehiculares en Intersecciones



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá D.C.

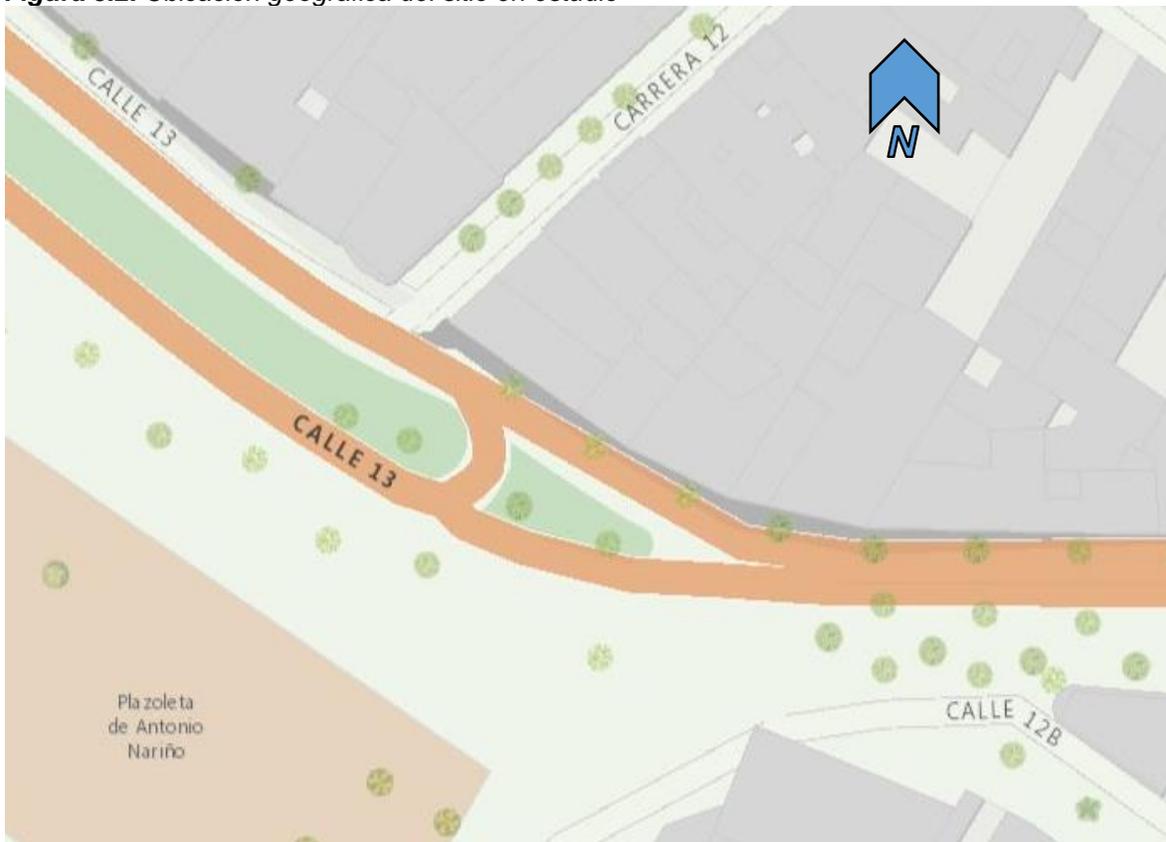
Para la elaboración del aforo del volumen de vehículos y peatones que transitan por cada uno de los cruces de la intersección, primero se realizó la identificación de los cruces permitidos; **Ver figura 5.11 y 5.28.** Debido a la cantidad de cruces y al caudal de los mismos, fue necesario utilizar una herramienta de grabación digital proporcionada por la Universidad Santo Tomás, los videos obtenidos fueron analizados con mayor comodidad desde un ordenador, Mientras se realizaban las grabaciones, uno de los aforadores realizó el conteo de vehículos y el otro contabilizó la cantidad de peatones infractores.

Para el registro de los conteos, se utilizó una matriz de aforo como la que se puede observar en el **anexo D y anexo E**, Para realizar las grabaciones y conteos, los aforadores se ubicaron en la salida de la estación de Transmilenio Av. Jiménez en Intervalos de tiempo: Jornada diurna (6:00 a.m. - 9:00 a.m.), Jornada nocturna (4:00 p.m. – 7:00 p.m.).

- **Ubicación**

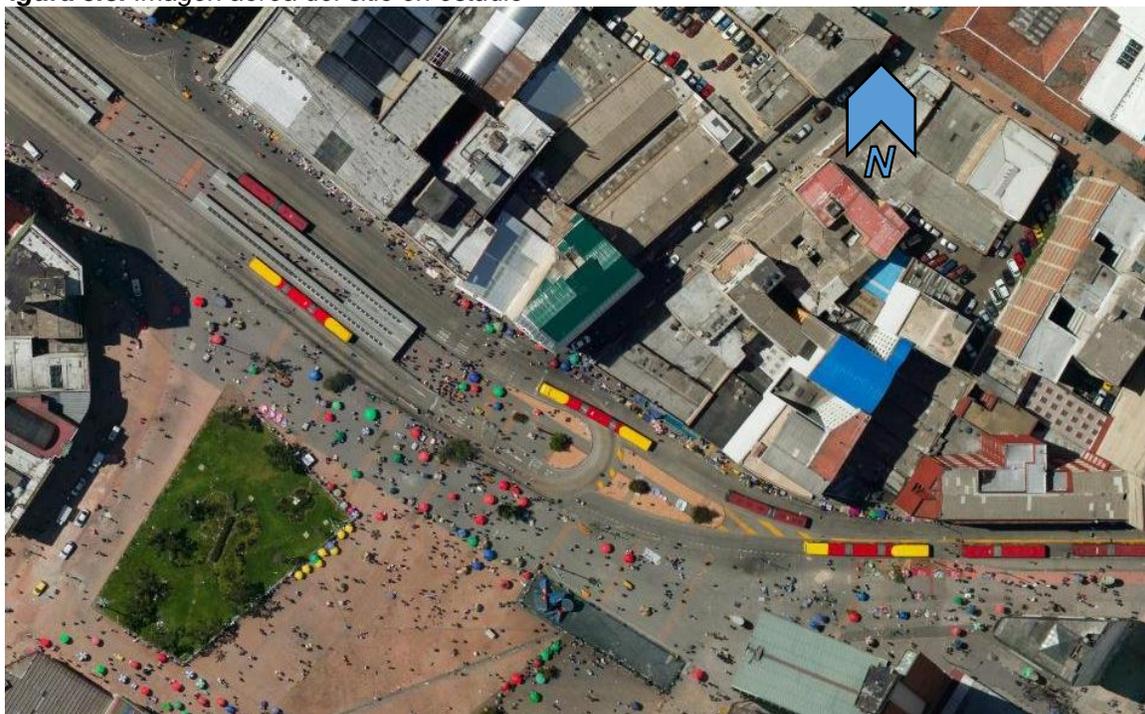
Por medio de imágenes obtenidas del portal de mapas IDECA (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital) se da a conocer la ubicación exacta donde se realizaron los aforos, corresponde al cruce peatonal de la Calle 13 que comunica la Carrera 12 con la plaza San Victorino, **figura 5.2 y 5.3**. En los aforos mencionados se analizaron 3 movimientos para los buses articulados de Transmilenio, 1 para el tráfico mixto y 8 para el flujo peatonal, Los aforos se realizaron de lunes a sábado, en horarios de la mañana de 6:00 am a 9:00 am y en horarios de la tarde de 4:00 pm a 7:00 pm. No se realizaron aforos para el día domingo, teniendo en cuenta que por ser un día atípico en cuanto a jornadas laborales, el caudal de personas esperado no es muy relevante para este análisis.

Figura 5.2. Ubicación geográfica del sitio en estudio



Fuente: IDECA (agosto de 2016).

Figura 5.3. Imagen aérea del sitio en estudio



Fuente: IDECA (agosto de 2016).

5.1. ANÁLISIS DE ENTORNO

5.1.1. Estado de la vía

Actualmente la vía y las aceras de este punto se encuentran en buen estado, las vías están construidas en pavimento rígido y los andenes en losas de concreto. A continuación se da a conocer las señales de tránsito y las infracciones por parte de peatones que a diario se evidencian.

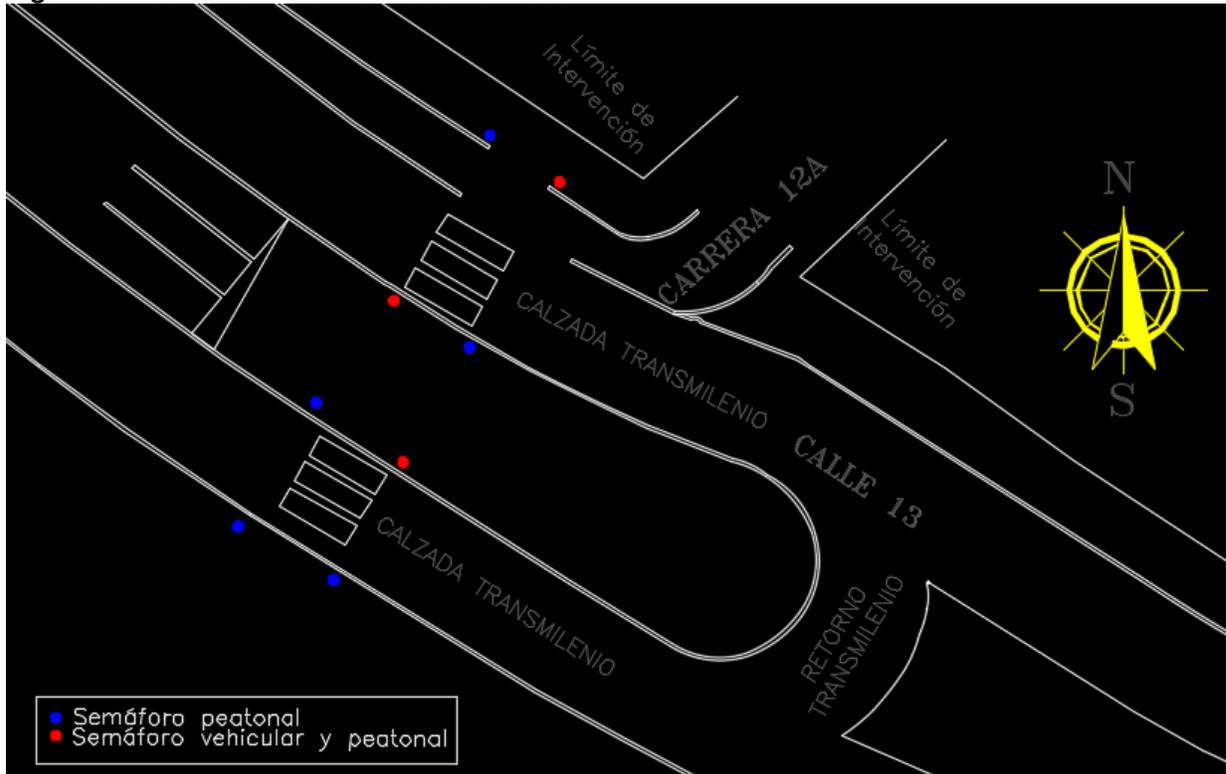
5.1.2. Señalización

- **Semáforos:**

Este cruce está regulado por semáforos que priorizan el paso peatonal, debido a la alta demanda de transeúntes en la zona. Existe un semáforo vehicular para los articulados que transitan de occidente a oriente, otro semáforo en el costado norte que regula el flujo de los articulados que se dirigen en el sentido opuesto y un tercer semáforo ubicado en el carril de uso mixto.

Cada uno de estos semáforos dispone de un semáforo peatonal, adicionalmente hay 5 semáforos de señalización exclusiva para peatones, **figura 5.4.**

Figura 5.4. Ubicación de semáforos en el cruce



Fuente: *Elaboración Propia a partir de [1], (Julio 2016).*

- **Señalización horizontal:**

Entre las señales horizontales encontramos las siguientes:

- **Flechas direccionales:** éstas demarcan la dirección que sigue la vía para uso de los articulados e indican el retorno que se puede realizar, **figura 5.5.**

Figura 5.5. Flechas direccionales con opción de tomar el retorno



Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

- **Cruce o Cebra peatonal:** ésta demarca el paso peatonal, y delimita la ubicación de los articulados cuando estos deben detenerse, ofreciendo protección al actor más débil de la vía, **figura 5.6.**

Figura 5.6. Cebra o cruce peatonal



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016). El cruce peatonal tiene un constante uso de carros de carga tipo "Zorra", ciclas y en algunas ocasiones, personas en condición de discapacidad.

- **Señalización horizontal:**

En general este conjunto de señalización se encuentra en muy mal estado a lo largo del cruce peatonal. Se identifican los siguientes tipos de señales:

- **Delineador de curvas horizontales:** éstas tienen como función principal mostrar claramente la presencia de una curva, sobre todo en la oscuridad. Los delineadores existentes presentan un grave deterioro, como se puede observar en la **figura 5.7.**

Figura 5.7. Delineador de curvas horizontales



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

- **Ceda el paso:** esta señal tiene como función priorizar el paso de los articulados que viajan de oriente a occidente, ero se evidencia el mal estado de la misma, **Figura 5.8.**

Figura 5.8. Señalización ceda el paso



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.1.3. Infracciones

Entre las infracciones más comunes observamos las siguientes:

- Cruce por parte de peatones cuando el **semáforo vehicular** se encuentra en verde, **figura 5.9.**
- Cruce de peatones en zonas donde no están marcadas como sendero peatonal, poniendo en peligro su integridad física, este tipo de infracción es muy común en el cruce, **figura 5.10.**

Figura 5.9. *Infractores de semáforo peatonal*



Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Figura 5.10. *Infractores de cruce no permitido*



Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

5.2. VOLÚMENES DE TRÁNSITO VEHICULAR

El punto analizado corresponde al cruce peatonal de la Calle 13 entre la carrera 12 y la plaza de la Jiménez, **éste consta de 5 carriles ubicados de la siguiente manera:** 2 carriles en el costado sur de uso exclusivo para buses articulados de Transmilenio que transitan de occidente a oriente, en el costado norte se ubican 3

carriles; 2 de éstos con servicio exclusivo para Transmilenio en sentido de oriente a occidente y el tercer carril para servicio de vehículos mixtos que transitan de occidente a oriente comunicando la carrera 13 con la carrera 12.

En la **figura 5.11** se presentan los movimientos vehiculares aforados para este proyecto, los movimientos 3, 4 y 10(3) corresponden a los carriles de uso exclusivo para Transmilenio, en el que se involucra un retorno para el mismo servicio. El movimiento 7 que conduce a la carrera 12 es para servicio de vehículos mixtos.

Figura 5.11. Movimientos vehiculares aforados



Fuente: Elaboración propia a partir de [1], (julio de 2016).

Para el análisis de los volúmenes vehiculares, se debe tener presente que en este punto del corredor vial donde se realizaron los aforos, el flujo vehicular pertenece en su mayoría a los buses articulados de Transmilenio, entre los cuales circulan buses de 2 y 3 vagones, no obstante existe un carril que tiene servicio para vehículos mixtos; este carril posee bajos caudales de tránsito y se ha estudiado la viabilidad de adoptar dicho carril para uso exclusivo de peatones.

En las tablas y gráficas que se presentan para este cruce (7), no se discriminan los automóviles, motos y camiones, ya que el objetivo es presentar el volumen general de tránsito que justifique su conversión a carril exclusivo peatonal.

5.2.1. Oeste –Este (3)

Este movimiento se presenta en los carriles que están ubicados al costado sur de la calle 13, como ya se mencionó anteriormente son carriles de uso exclusivo para Transmilenio, las rutas que transitan por estos carriles provienen de corredores viales como: Av. Caracas en sentido Norte – sur y Av. Calle 13 en sentido occidente – oriente; con la intención de tomar el retorno para circular por la Av. Caracas en sentido sur – norte o comunicar con las estaciones del Eje Ambiental.

Los aforos realizados en este sentido para los buses de Transmilenio entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. se presentan en la **tabla 5.1**, en ésta también se especifica la sumatoria de articulados que transitan a la semana por intervalos de 15 min con el fin de hallar la hora pico semanal.

5.2.1.1. Jornada diurna

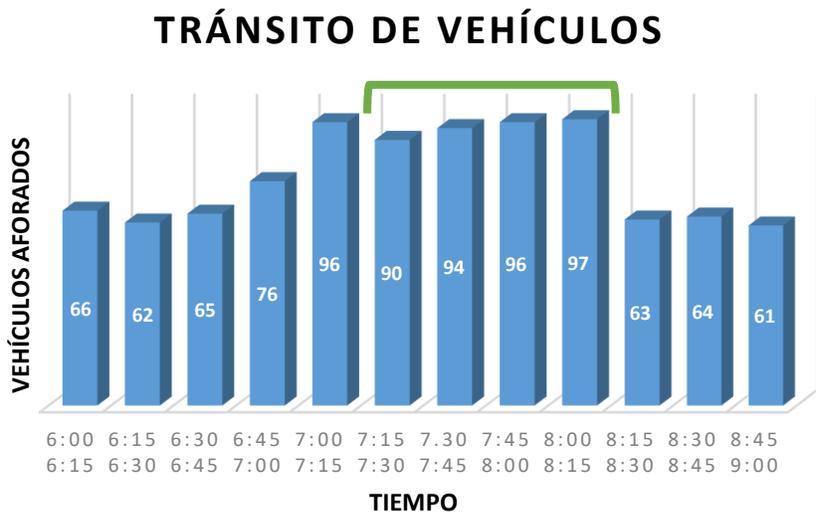
Tabla 5.1. Variación en volumen de articulados en horas de la mañana, sentido Oeste – Este

AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016			Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá				
Hora Inicio: 6:00 a.m.			Hora Final: 9:00 a.m.				
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Buses de Transmilenio						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
6:00 - 6:15	10	8	9	14	12	13	66
6:15 - 6:30	9	7	10	11	13	12	62
6:30 - 6:45	9	10	11	13	10	12	65
6:45 - 7:00	15	13	12	14	12	10	76
7:00 - 7:15	17	19	16	16	17	11	96
7:15 - 7:30	15	18	15	16	18	8	90
7:30 - 7:45	17	18	17	13	13	16	94
7:45 - 8:00	21	19	21	19	10	6	96
8:00 - 8:15	18	17	16	15	21	10	97
8:15 - 8:30	12	11	12	12	8	8	63
8:30 - 8:45	10	11	10	10	14	9	64
8:45 - 9:00	10	12	10	11	12	6	61

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Con respecto a los resultado de la tabla anterior se obtiene que la hora pico está entre las 7:15 a.m. y 8:15 a.m., para facilitar la interpretación de datos se presenta la **figura 5.12** donde se compara el volumen semanal de flujo con respecto a los intervalos de tiempo.

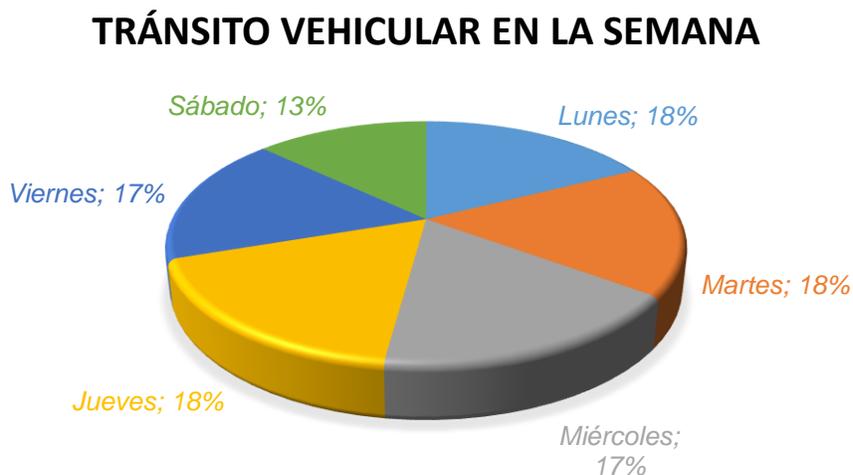
Figura 5.12. Variación en volumen de articulados en horas de la mañana, sentido Oeste - Este



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Con la **figura 5.13** se da a conocer los porcentajes de tránsito vehiculares para cada día de la semana, obteniendo de esta manera datos que ayudan a determinar el día o los días con mayor flujo de articulados; en éste se observa que el día sábado presenta menor tránsito y los días de lunes a viernes tienen un comportamiento similar.

Figura 5.13. Porcentaje diario de flujo vehicular en horas de la mañana, sentido Oeste – Este



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.2.1.2. Jornada nocturna

Los aforos para este proyecto se realizaron en dos jornadas del día, por lo cual se presenta a continuación en la **tabla 5.2** los datos obtenidos durante la jornada de la tarde entre las 4:00 p.m. y 7:00 p.m.

Tabla 5.2. Variación en volumen de articulados en horas de la tarde, sentido Oeste – Este

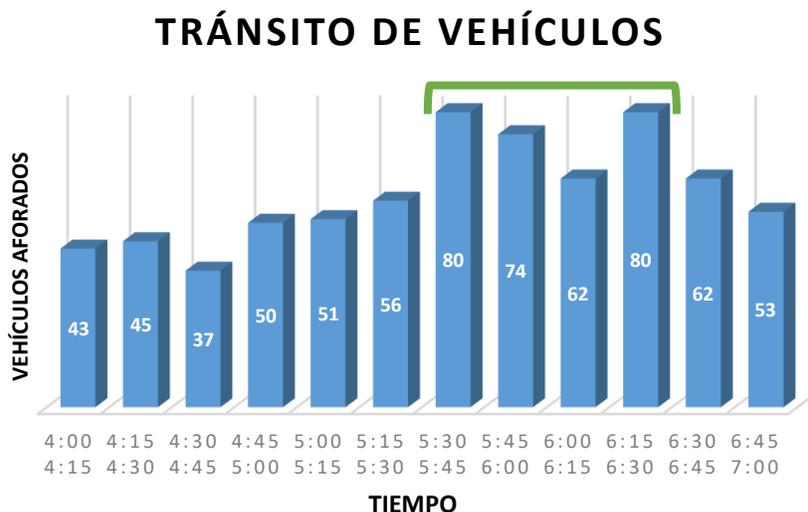
AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 P.m.				Hora Final: 7:00 P.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Buses de Transmilenio						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
4:00 - 4:15	9	8	7	8	6	5	43
4:15 - 4:30	7	9	9	7	7	6	45
4:30 - 4:45	9	5	6	8	4	5	37
4:45 - 5:00	8	9	8	9	9	7	50
5:00 - 5:15	9	9	10	8	8	7	51
5:15 - 5:30	11	10	8	9	10	8	56
5:30 - 5:45	15	16	17	14	9	9	80
5:45 - 6:00	13	16	15	12	11	7	74
6:00 - 6:15	12	11	10	10	12	7	62
6:15 - 6:30	16	15	14	13	15	7	80
6:30 - 6:45	10	11	12	9	12	8	62
6:45 - 7:00	8	9	10	10	11	5	53

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Comparando los datos presentados anteriormente con respecto a los datos obtenidos en la jornada de la mañana, se evidencia un decaimiento en el flujo de buses que por allí transitan, esto se deriva principalmente a que en horas de la tarde, los usuarios de Transmilenio viajan de regreso a sus lugares de residencia, por lo que la demanda de pasajeros se concentra en rutas de articulados hacia el sur y el occidente de la ciudad.

La gran mayoría los buses que se dirigen al occidente; toman la calle 13 mediante un giro permitido en la Av. Caracas, sin necesidad de pasar por la estación Av. Jiménez, no obstante se determina la hora pico para el movimiento oeste – este, como se muestra en la figura 5.14.

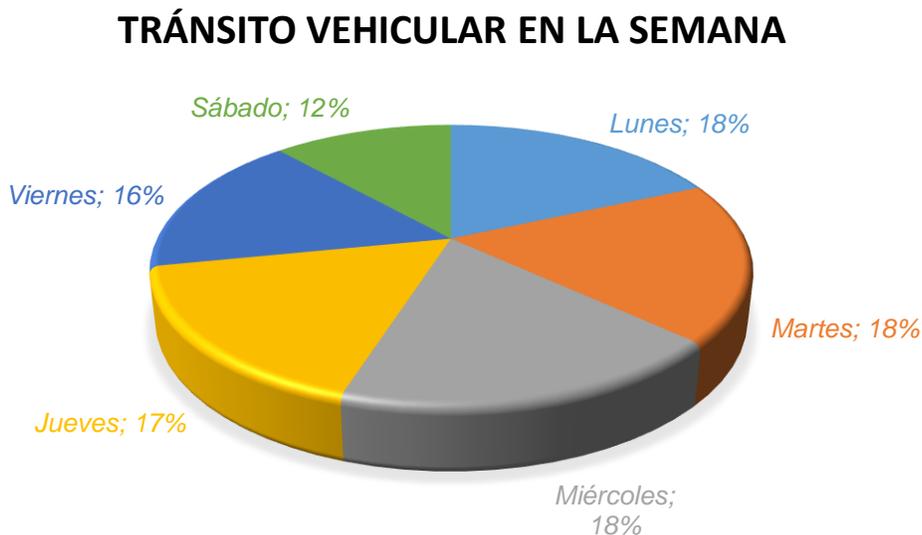
Figura 5.14. Variación en volumen de articulados en horas de la tarde, sentido Oeste – Este



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Mediante la gráfica anterior se determina; que entre 5:30 p.m. y 6:30 p.m. se presenta el mayor caudal de articulados que transitan por los carriles del costado sur, definiendo ésta como la hora pico en la jornada de la tarde para el movimiento oeste – este, a continuación en la **figura 5.15** se presentan los porcentajes de flujo para 6 días de la semana.

Figura 5.15. Porcentaje diario de flujo vehicular en horas de la tarde, sentido Oeste - Este



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

De igual manera que en la jornada nocturna, el sábado presenta menor flujo vehicular, y los días de lunes a viernes mantienen su similitud.

5.2.2. Oeste – Giro en U (10(3))

El uso del retorno para el cual se le asignó el movimiento 10(3) de acuerdo a la codificación de la secretaria distrital de movilidad; es para los articulados que originan su viaje en el occidente y se dirigen al norte de la ciudad, tomando la Av. Caracas.

5.2.2.1. Jornada diurna

Como se mencionó anteriormente, para este movimiento se realizaron los mismos aforos, uno en la jornada de la mañana y otro en la jornada de la tarde, por lo que a continuación en la **tabla 5.3** se presentan los datos obtenidos en la jornada de la mañana.

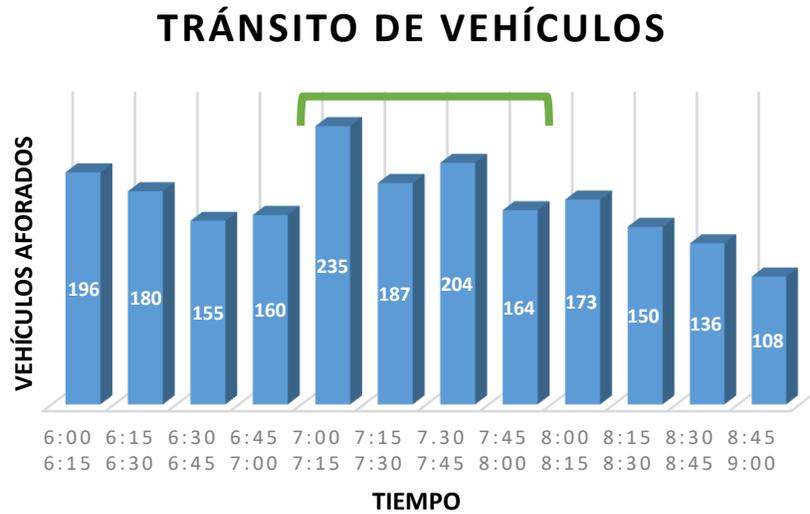
Tabla 5.3. Variación en volumen de articulados en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro en U

AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Buses de Transmilenio						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
6:00 - 6:15	32	34	30	33	35	32	196
6:15 - 6:30	29	31	30	30	29	31	180
6:30 - 6:45	26	25	24	27	25	28	155
6:45 - 7:00	26	27	25	27	29	26	160
7:00 - 7:15	45	40	39	44	45	22	235
7:15 - 7:30	37	38	38	29	30	15	187
7:30 - 7:45	36	45	38	36	32	17	204
7:45 - 8:00	32	31	29	29	25	18	164
8:00 - 8:15	33	30	32	33	31	14	173
8:15 - 8:30	27	25	28	28	27	15	150
8:30 - 8:45	25	26	23	25	21	16	136
8:45 - 9:00	19	21	19	17	18	14	108

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En la **figura 5.16** se señala la hora pico deducida por medio de los aforos para el movimiento 10(3).

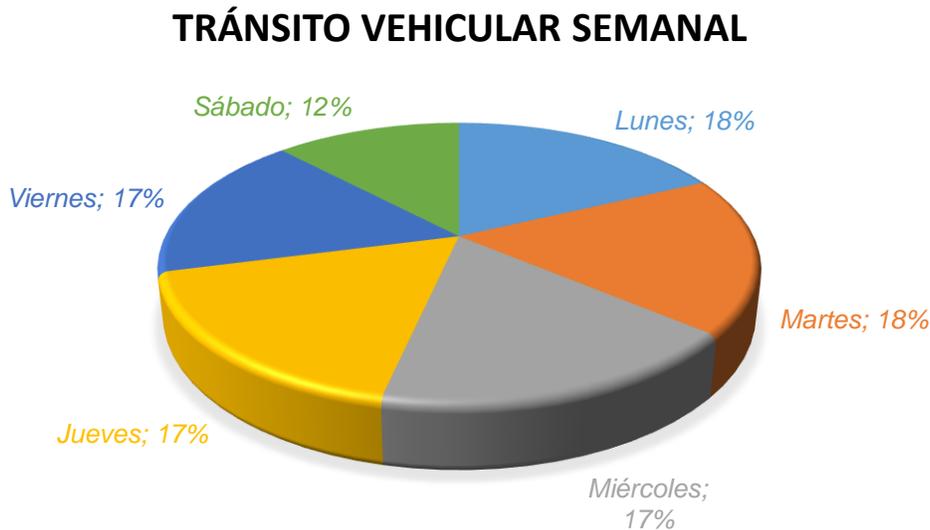
Figura 5.16. Variación de articulados en horas de la mañana, sentido Oeste - Giro en U



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Según los aforos realizados para este movimiento la hora pico es de 7:00 a.m. a 8:00 a.m., teniendo como máximo flujo vehicular de 7:00 a.m. a 7:15 a.m. con un total de 235 articulados que usaron el retorno, para tener conocimiento de la variación de flujo que se presenta en 6 días de la semana; a continuación en la **figura 5.17** se muestran los porcentajes que equivalen a la cantidad de articulados que realizan este movimiento por día.

Figura 5.17. Porcentaje diario de flujo vehicular en horas de la mañana, Sentido Oeste - Giro en U



Fuente: Elaboración propia (Julio 2016).

Prácticamente el flujo vehicular de esta zona es programado y estudiado por la empresa Transmilenio, por tal razón los caudales para el día sábado tienen una

disminución teniendo en cuenta que es un día con menor flujo de pasajeros, por otro lado, para los días de lunes a viernes el flujo es constante, evidentemente a causa del continuo flujo de usuarios.

5.2.2.2. Jornada nocturna

En la **tabla 5.4** se dan a conocer los datos obtenidos mediante los aforos realizados en horas de la tarde para el movimiento 10(3).

Analizando y comparando los volúmenes que se determinaron para esta jornada, es evidente la disminución en articulados que hacen uso del retorno por el motivo que para esta jornada del día los usuarios de Transmilenio retornan a sus lugares de residencia, razón que anteriormente se mencionó en el numeral 5.2.1.2 con más exactitud.

Tabla 5.4. Variación en volumen de articulados en horas de la tarde, sentido Oeste - Giro en U

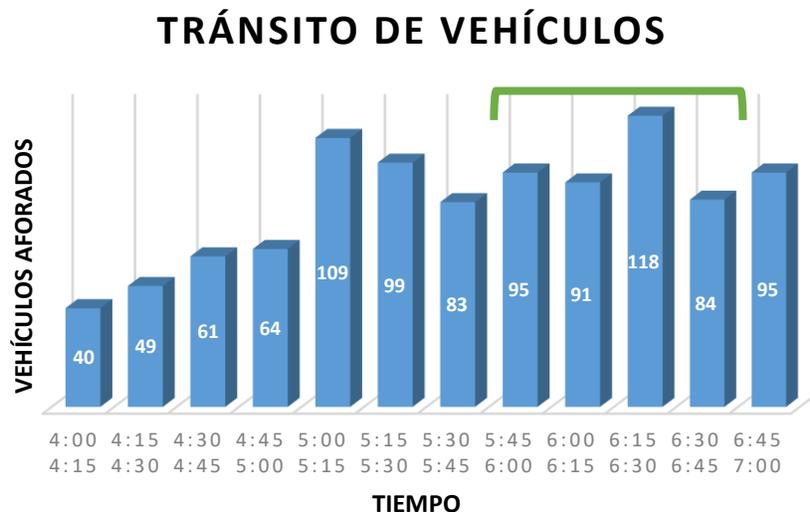
AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 P.m.				Hora Final: 7:00 P.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Buses de Transmilenio						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
4:00 - 4:15	6	7	7	8	5	7	40
4:15 - 4:30	9	8	9	8	8	7	49
4:30 - 4:45	10	10	8	11	12	10	61
4:45 - 5:00	11	11	9	11	10	12	64
5:00 - 5:15	21	23	22	19	11	13	109
5:15 - 5:30	15	16	19	18	15	16	99
5:30 - 5:45	15	14	16	14	18	6	83
5:45 - 6:00	19	16	17	16	18	9	95
6:00 - 6:15	18	14	15	16	15	13	91
6:15 - 6:30	24	19	22	21	19	13	118
6:30 - 6:45	15	14	13	12	16	14	84
6:45 - 7:00	18	16	17	18	16	10	95

Fuente: *Elaboración propia (Julio 2016).*

En la **figura 5.18** se muestran los datos en esquema de barras, en éste se puede identificar dos intervalos con el mayor número de articulados aforados, pero al momento de determinar la hora pico se selecciona desde las 5:45 p.m. hasta la 6:45

p.m., debido a que en este lapso de tiempo se encuentra el mayor flujo vehicular al realizar la sumatoria para los 4 datos continuos.

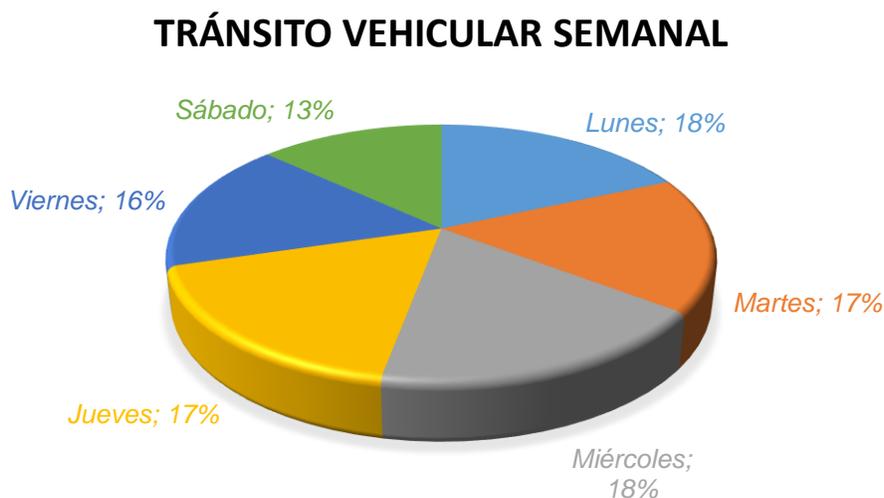
Figura 5.18. Variación en volumen de articulados en horas de la tarde, sentido Oeste - Giro en U



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Para conocer el flujo vehicular que se presenta a diario en este movimiento, se presenta la **figura 5.19**, en la que se muestran los porcentajes de flujo vehicular. En éste se evidencia la disminución de caudal para el día sábado como se ha presentado en los anteriores movimiento aforados, debido a que para muchos ciudadanos este día no pertenece a su semana laboral o de estudio, se observa que la empresa de Transmilenio reduce la frecuencia en rutas; observando los días de lunes a viernes sus resultados son muy similares y oscilan entre el 16 y 18%.

Figura 5.19. Porcentaje diario de flujo vehicular en horas de la tarde, sentido Oeste - Giro en U



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.2.3. Este – Oeste (4)

Los articulados que toman la ruta oriente a occidente, normalmente viajan del norte de la ciudad o de las estaciones del eje ambiental con destino a portales de Transmilenio como Banderas y Américas, ubicados en la troncal Américas hacia el occidente de la ciudad.

5.2.3.1. Jornada diurna

Los datos que se obtuvieron a partir de los aforos se encuentran registrados en la **tabla 5.5** que se muestra a continuación:

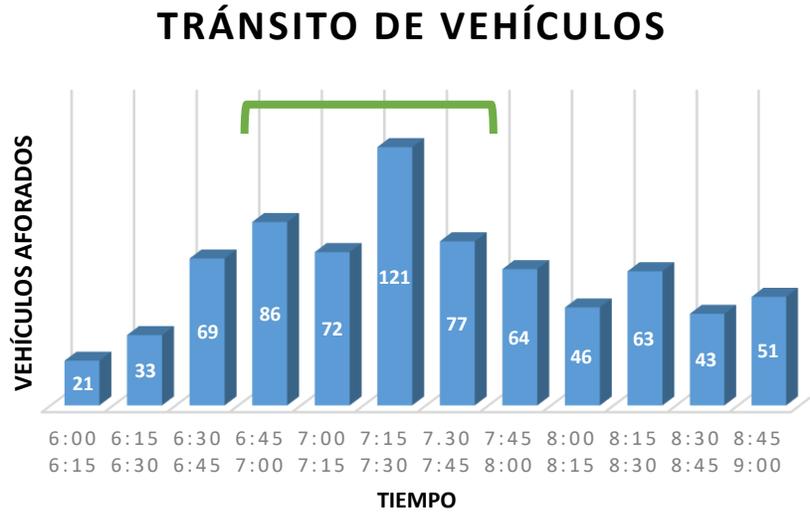
Tabla 5.5. Variación de articulados en horas de la mañana, sentido Este - Oeste

AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Buses de Transmilenio						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
6:00 - 6:15	2	3	4	6	4	2	21
6:15 - 6:30	5	7	7	5	4	5	33
6:30 - 6:45	12	14	11	13	10	9	69
6:45 - 7:00	14	16	15	13	13	15	86
7:00 - 7:15	15	11	12	14	11	9	72
7:15 - 7:30	18	22	22	21	16	22	121
7:30 - 7:45	15	14	12	13	13	10	77
7:45 - 8:00	10	12	10	10	14	8	64
8:00 - 8:15	6	9	8	9	7	7	46
8:15 - 8:30	10	11	10	12	11	9	63
8:30 - 8:45	7	8	7	8	5	8	43
8:45 - 9:00	7	9	10	9	6	10	51

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Teniendo en cuenta los datos obtenidos y para tener una interpretación gráfica del flujo vehicular en el movimiento (4), se presenta a continuación la **figura 5.20**, en la cual se señala la hora pico teniendo en cuenta el intervalo con mayor flujo de articulados.

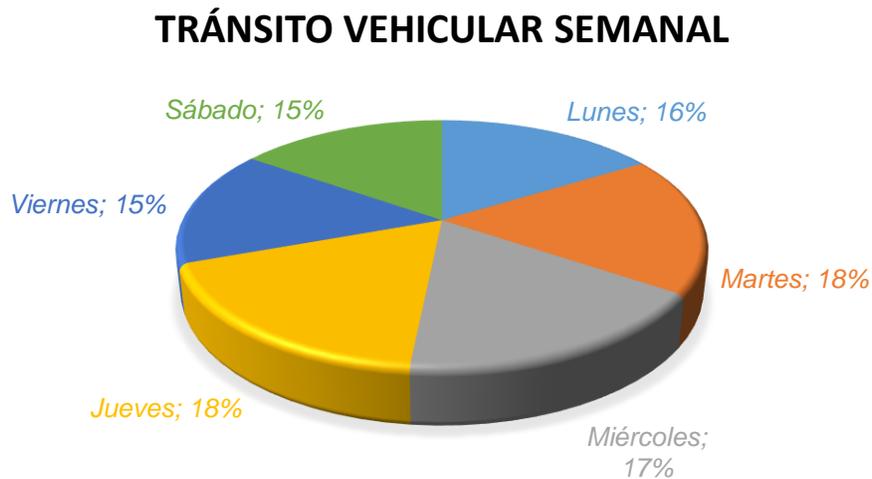
Figura 5.20. Variación en volumen de articulados en horas de la mañana, sentido Este – Oeste



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La hora pico para el movimiento (4) se encuentra entre las 6:45 a.m. y 7:45 a.m. con un flujo vehicular máximo de 121 articulados que circulan de oriente a occidente. En la **figura 5.21** se presentan los porcentajes correspondientes a los flujos vehiculares, con respecto a los resultados se puede evidenciar una similitud en los días viernes y sábado, esto debido a que el sábado tiene un alto flujo de buses debido a que en este día se presenta un evento comercial en la zona centro de la ciudad llamado Madrugón, en el que los ciudadanos llegan a este punto en horas de la madrugada a realizar compras, y al momento de regresar a sus lugares de residencia requieren del uso de transporte público, lo que hace que el sistema Transmilenio aumente el número de articulados en servicio.

Figura 5.21. Porcentaje de flujo vehicular diario en horas de la mañana, sentido Este – Oeste



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.2.3.2. Jornada nocturna

En la **tabla 5.6** están registrados los datos que se obtuvieron mediante los aforos en horas de la tarde, tal como se ha realizado para cada movimiento aforado.

Tabla 5.6. Variación de articulados en horas de la tarde, sentido Este - Oeste

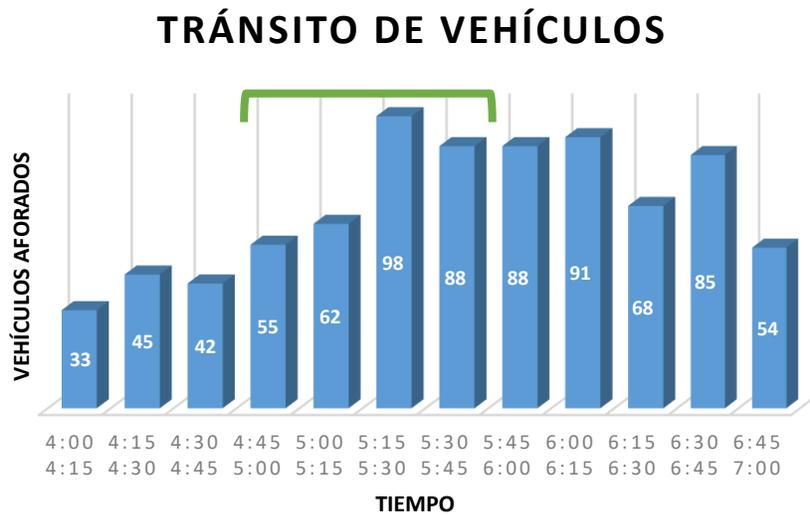
AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 P.m.				Hora Final: 7:00 P.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Buses de Transmilenio						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
4:00 - 4:15	5	6	5	6	5	6	33
4:15 - 4:30	7	8	6	8	9	7	45
4:30 - 4:45	7	6	7	7	8	7	42
4:45 - 5:00	9	8	9	10	10	9	55
5:00 - 5:15	10	11	12	11	8	10	62
5:15 - 5:30	17	19	18	17	17	10	98
5:30 - 5:45	16	14	13	14	16	15	88
5:45 - 6:00	15	16	18	19	13	7	88
6:00 - 6:15	16	15	13	15	16	16	91
6:15 - 6:30	10	11	12	13	14	8	68
6:30 - 6:45	14	14	13	16	17	11	85
6:45 - 7:00	9	8	11	9	10	7	54

Fuente: Elaboración propia (Julio 2016).

En los datos de esta jornada, a diferencia de los cruces Oeste – Este y Oeste – Giro en U, se muestra un aumento en los flujos vehiculares debido a la misma razón que se ha mencionado; es el regreso de los ciudadanos a sus lugares de residencia, éstos provienen de zonas comerciales y de universidades ubicadas en el eje ambiental y sus alrededores provocando un incremento en el servicio de Transmilenio y en la cantidad de buses.

A continuación se presenta los porcentajes diarios de la semana en la **figura 5.22** para señalar la hora pico.

Figura 5.22. Variación en volumen de articulados por intervalos de 15 minutos en horas de la tarde, sentido Este – Oeste

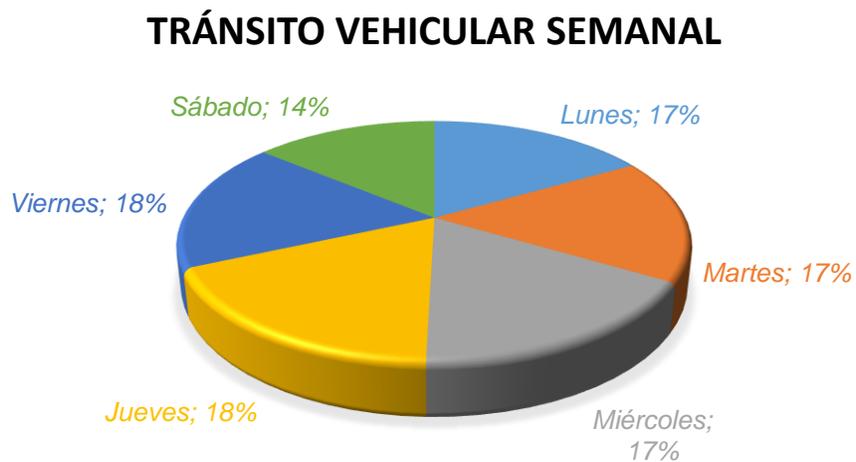


Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Para el movimiento (4) en jornada de la tarde se determinó como la hora pico; de 5:15 p.m. a 6:15 p.m., debido a que en esta hora se presenta el mayor flujo de buses de Transmilenio como se evidencia en la **figura 5.11**.

La **figura 5.23** contiene los porcentajes diarios de flujo vehicular para el movimiento (4) en horas de la tarde, analizando los resultados se deduce la similitud entre los días lunes a viernes y la diferencia que hay entre éstos y el día sábado, debido a que este día se disminuye el servicio de operación en Transmilenio, por razón de que algunos ciudadanos tienen media jornada laboral, haciendo uso del transporte público en horas cercanas al medio día.

Figura 5.23. Porcentaje de flujo vehicular diario en horas de la tarde, sentido Este – Oeste



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.2.4. Oeste – Giro a la izquierda (7)

Con respecto al punto donde se realizaron los aforos vehiculares, existe un carril ubicado en la parte norte de la calle 13 con servicio para vehículos mixtos, por lo cual también se realizaron sus respectivos aforos. Teniendo en cuenta que al momento de aforar se realizó un análisis que reveló el bajo caudal de vehículos y motos que usan este carril en comparación con otros carriles mixtos; **se optó por usar la carrera 12 como CALLE PEATONAL, favoreciendo la salida proyectada para el pre diseño del túnel peatonal**, Por tal razón los datos que se presentan, hacen referencia al volumen de vehículos sin discriminar motos, carros o camiones en general; de esta manera se analiza la viabilidad de inhabilitar este conector entre la carrera 13 y la carrera 12.

5.2.4.1. Jornada diurna

Teniendo en cuenta los datos que se presentan en la **tabla 5.7**, se analiza el bajo flujo vehicular que transita por este carril, ya que el número presentado contiene el número total de vehículos que realizan este movimiento. El caudal mixto es inclusive menor al flujo de articulados de Transmilenio que transitan por los demás cruces.

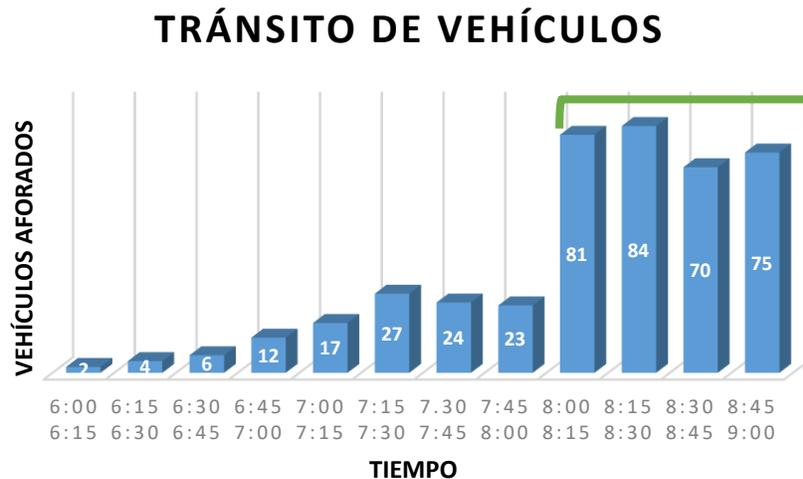
Tabla 5.7. Variación de vehículos mixtos en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la izquierda

AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Vehículos mixtos, incluyendo motos, carros, etc.						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
6:00 - 6:15	0	1	0	1	0	0	2
6:15 - 6:30	0	0	1	1	1	1	4
6:30 - 6:45	2	1	1	0	1	1	6
6:45 - 7:00	1	3	2	3	1	2	12
7:00 - 7:15	4	2	0	5	3	3	17
7:15 - 7:30	4	2	4	6	6	5	27
7:30 - 7:45	4	4	2	3	0	11	24
7:45 - 8:00	0	3	1	2	4	13	23
8:00 - 8:15	10	13	14	18	8	18	81
8:15 - 8:30	13	12	15	12	11	21	84
8:30 - 8:45	10	12	12	12	12	12	70
8:45 - 9:00	11	12	13	11	12	16	75

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En la **figura 5.24**; se presentan los datos obtenidos en los aforos que se realizaron en horas de la mañana para el carril mixto, y en el cual se visualiza en forma gráfica la hora pico para este movimiento.

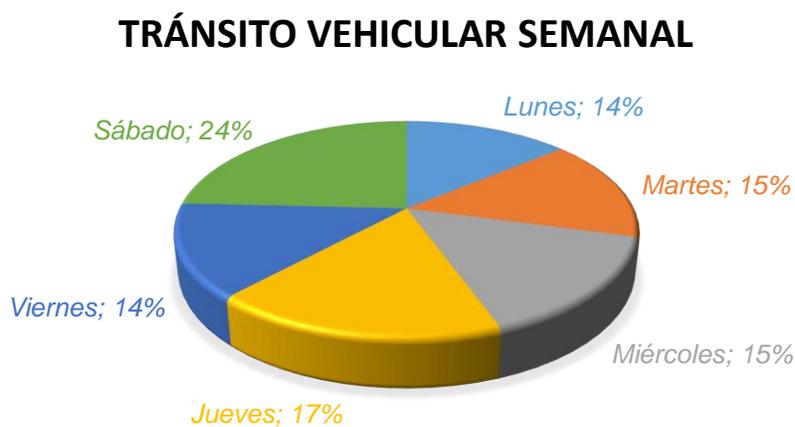
Figura 5.24. Variación en volumen de vehículos mixtos por intervalos de 15 minutos en horas de la mañana, sentido Oeste - Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La hora pico es de 8:00 a.m. a 9:00 a.m., se observa que esta hora se da por diferencia de 50 a 60 vehículos semanales, lo que indica que son muy pocos los conductores que hacen uso de este carril, si se observa, el mayor flujo es de 84 vehículos a la semana, un dato que se refleja sólo en ciertos lapsos de tiempo por consecuencia de la congestión que se presenta en la carrera 13. La **figura 5.25**, presenta los porcentajes de flujo vehicular para cada día de la semana registrados para este movimiento.

Figura 5.25. Porcentaje de flujo vehicular diario en horas de la mañana, sentido Oeste - Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En este gráfico se analiza el alto caudal que se presenta en el día sábado, y es debido a que en la ciudad de Bogotá, **este día no hay restricción de pico y placa** lo que genera masivas congestiones en los principales corredores e incitan al conductor a tomar este carril como evasiva a los represamientos.

5.2.4.2. Jornada nocturna

Para la jornada de la noche los flujos vehiculares en este movimiento son aún más críticos; debido a que los valores se reducen en un 50%. Comparados con los caudales de la mañana. En la **tabla 5.8** se muestran los aforos realizados discriminados en intervalos de 15 minutos, correspondientes a cada día de la semana.

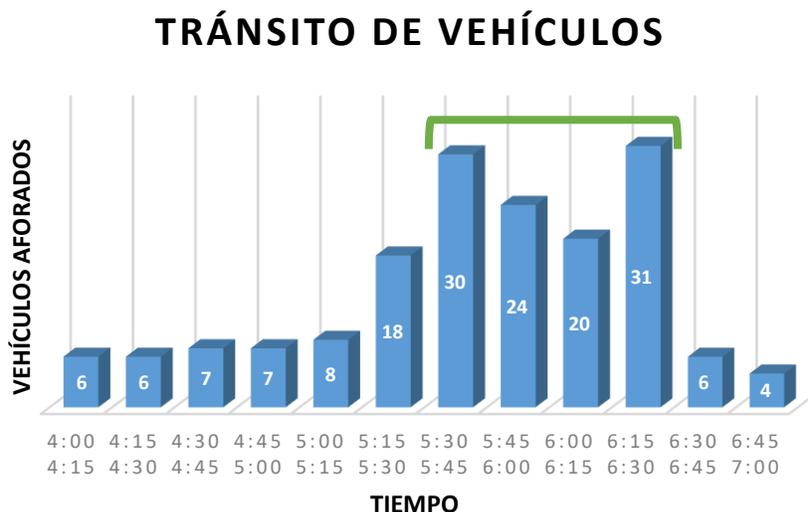
Tabla 5.8. Variación de vehículos mixtos en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la izquierda

AFORO VEHICULAR							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 P.m.				Hora Final: 7:00 P.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	Vehículos mixtos, incluyendo motos						Flujo cada 15 minutos
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
4:00 - 4:15	1	2	0	2	1	0	6
4:15 - 4:30	0	1	1	1	2	1	6
4:30 - 4:45	1	1	0	3	1	1	7
4:45 - 5:00	2	0	1	1	1	2	7
5:00 - 5:15	1	2	1	0	3	1	8
5:15 - 5:30	2	1	2	3	7	3	18
5:30 - 5:45	5	5	3	6	5	6	30
5:45 - 6:00	3	4	4	3	4	6	24
6:00 - 6:15	4	3	5	0	5	3	20
6:15 - 6:30	6	5	7	1	6	6	31
6:30 - 6:45	1	0	0	0	2	3	6
6:45 - 7:00	1	0	1	0	2	0	4

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En la **figura 5.26** se evidencia la hora pico en la que se reflejan datos de flujo muy bajos; teniendo como máximo valor de flujo semanal de 31 vehículos aforados en este movimiento, no obstante, se determina la hora pico que está entre la 5:30 p.m. y las 6:30 p.m.

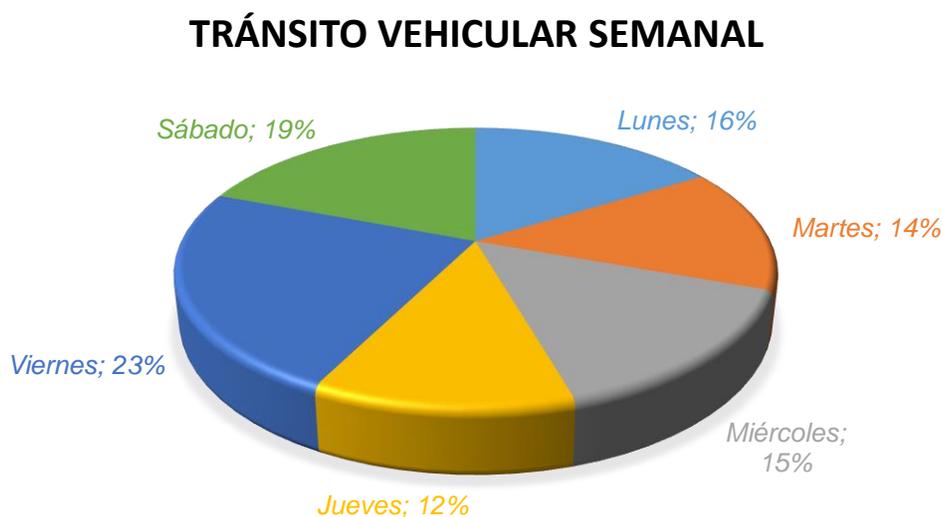
Figura 5.26. Variación en volumen de vehículos mixtos en horas de la tarde, sentido Oeste - Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Con respecto a la **figura 5.27** en el que se analiza el comportamiento diario del flujo vehicular, se observa un alto porcentaje para el día viernes, lo que puede ser ocasionado por los conductores que visitan diversos lugares y eventos que ofrece el centro de la capital, atrayendo turistas y ciudadanos a llegar en horas de la tarde a este punto de la ciudad.

Figura 5.27. Porcentaje de flujo vehicular nocturno en horas de la tarde, sentido Oeste - Giro a la izquierda

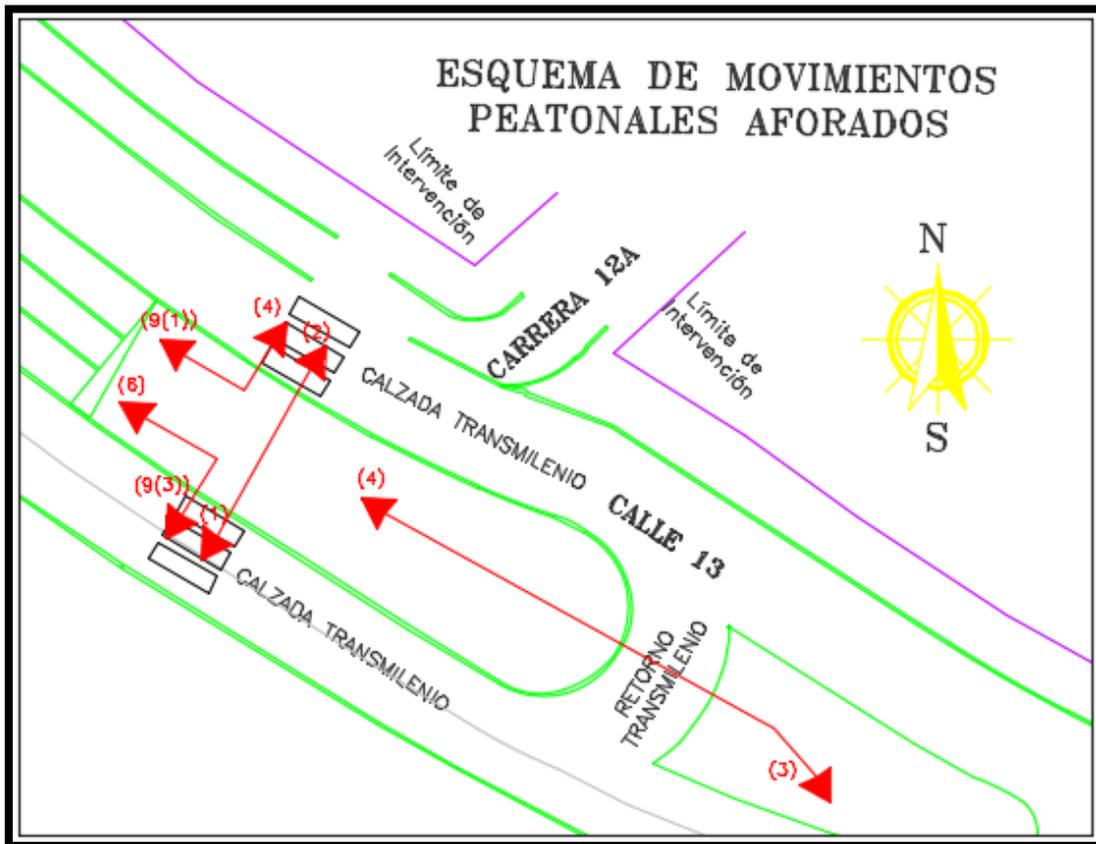


Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3. VOLÚMENES DE TRÁNSITO PEATONALES

El volumen de peatones es sumamente necesario e importante para el análisis de este proyecto, por lo cual se realizaron aforos en los sentidos que involucran el diseño del túnel peatonal para el cruce de la Calle 13, los sentidos aforados se encuentran esquematizados en la **figura 5.28**, adicionalmente también se aforaron las bicicletas, personas discapacitadas y carretillas que usan los comerciantes de la zona, sin embargo, la cantidad obtenida e éstos no es muy relevante comparada con el número total de transentes.

Figura 5.28. Movimientos peatonales aforados



Fuente: Elaboración propia a partir de [1], (julio de 2016).

A continuación se especifica cada sentido de circulación peatonal y se anexa la tabla que contiene los valores obtenidos a partir de los aforos realizados, gráficas representativas de volúmenes totales en cada periodo y para cada día estudiado, y una gráfica que especifica en porcentaje el volumen de peatones diarios.

5.3.1. Norte – Giro a la derecha 9(1)

Éstos son los peatones que se dirigen hacia la estación de Transmilenio Av. Jiménez y que provienen de la Carrera 12, se les asignó el código 9(1) según la

tabla de codificación de la Secretaria Distrital de Movilidad, los transeúntes que realizan este movimiento; son clientes y visitantes de los establecimientos comerciales que están sobre la carrera 12 y en el constado norte de la carrera 13, y estudiantes que usan este sentido de recorrido para tomar el servicio de transporte.

5.3.1.1. Jornada diurna

Para la jornada de la mañana, los usuarios que realizan este movimiento; son relativamente muy pocos, debido que al no ser una zona residencial, es poca la población que en horas de la mañana llegan a iniciar su recorrido en la Av. Jiménez. Los datos que se obtuvieron en el aforo se presentan a continuación en la **tabla 5.9**.

Tabla 5.9. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Norte – Giro a la derecha

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
6:00 - 6:15	4	5	6	12	10	5	42
6:15 - 6:30	7	6	5	8	7	8	41
6:30 - 6:45	8	9	9	11	9	7	53
6:45 - 7:00	10	13	12	11	12	8	66
7:00 - 7:15	12	10	14	10	8	11	65
7:15 - 6:30	6	8	4	7	11	5	41
7:30 - 7:45	7	7	6	8	3	2	33
7:45 - 8:00	14	13	15	12	9	14	77
8:00 - 8:15	17	14	16	5	7	6	65
8:15 - 8:30	12	15	12	10	13	14	76
8:30 - 8:45	12	10	9	12	21	12	76
8:45 - 9:00	7	9	8	7	5	8	44

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

El **figura 5.29** presenta los datos que se obtuvieron en el aforo de este movimiento, en el mismo gráfico se señalan los 4 periodos de tiempo en los cuales se registró mayor flujo de peatones y determinar la hora pico.

Figura 5.29. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Norte – Giro a la derecha

Variación del volumen de peatones en periodos de 15 min

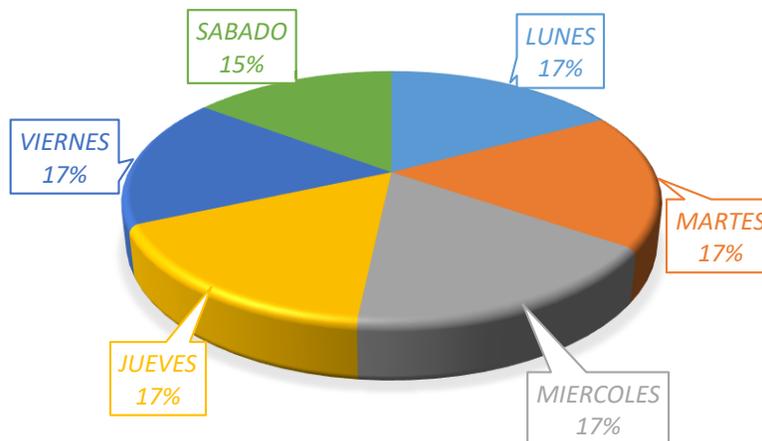


Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Se observa que la hora pico es de: 7:45 a.m. a 8:45 a.m., con un registro máximo de 77 personas aforadas, Para analizar el flujo de peatones cada día de la semana se presenta la **figura 5.30**.

Figura 5.30. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la mañana, sentido Norte – Giro a la derecha

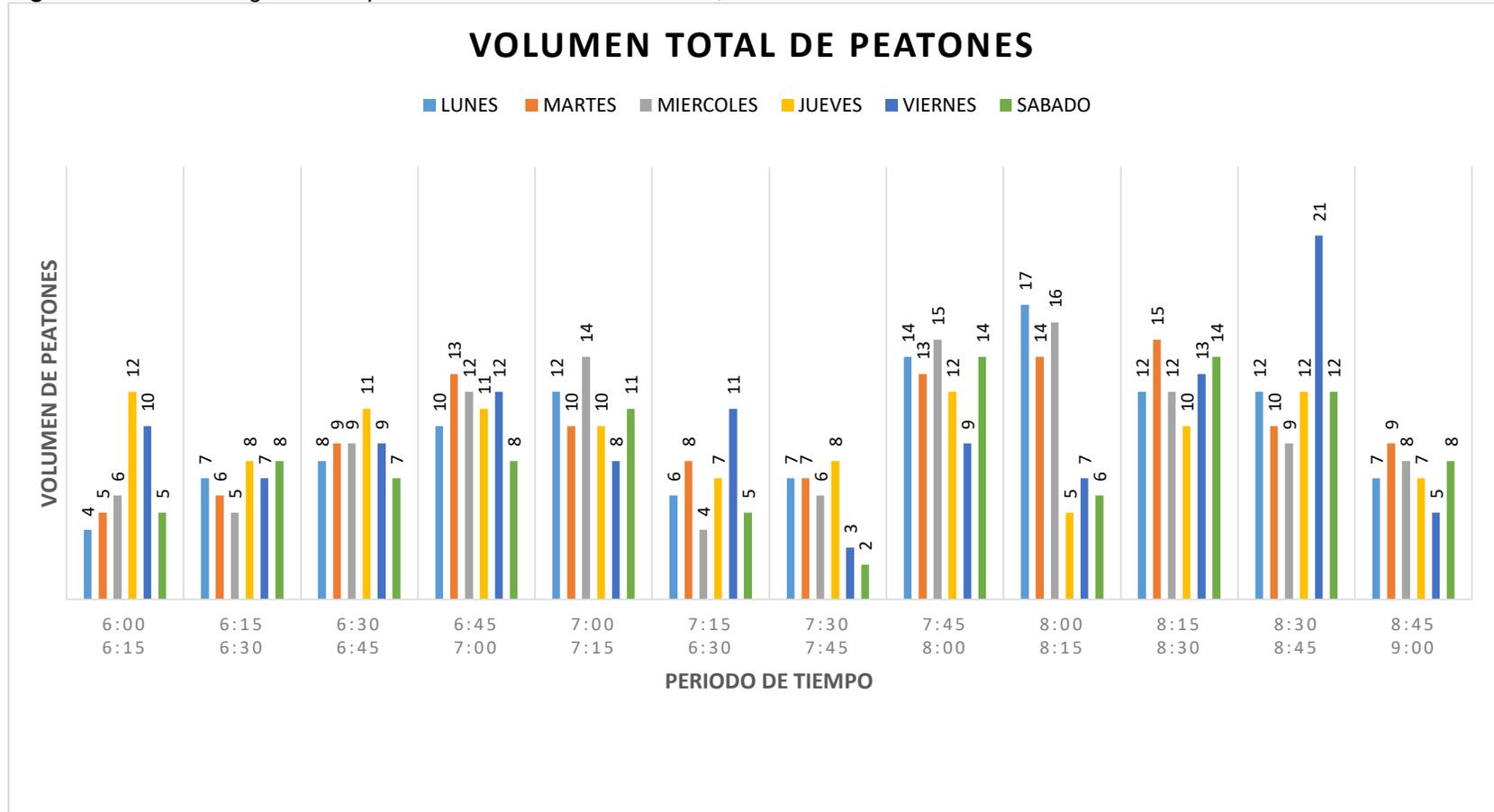
VOLUMEN PEATONAL DIARIO



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

El flujo de peatones es similar en los días de lunes a viernes y existe una leve reducción de flujo para el día sábado, lo que es concordante con la definición de que son los estudiantes quienes realizan constantemente este movimiento, justificando la reducción de 2% en el día sábado. Observando las barras que se presentan en la **figura 5.31**, se analizan datos de flujo muy bajos y la similitud entre los días de la semana, pero al igual que todos los movimientos, también presenta su hora de máxima demanda.

Figura 5.31. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Norte – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.1.2. Jornada nocturna

La variación en el flujo de personas al compararlo con la jornada de la mañana es exorbitante, debido a que en las horas de la tarde aumentan las personas que usan el transporte público, **esto a causa de las personas que terminan su jornada laboral, estudiantes que pertenecen a jornadas de la tarde o clientes que salen de los establecimientos comerciales** ubicados en la parte norte de la Calle 13. En la **tabla 5.10** se presentan los datos que se obtuvieron a partir de los aforos.

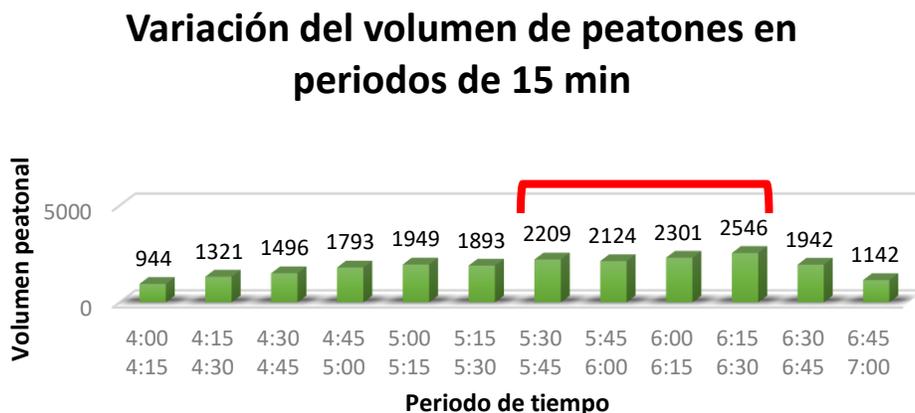
Tabla 5.10. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Norte – Giro a la derecha

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 p.m.				Hora Final: 7:00 p.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
4:00 - 4:15	167	189	146	169	154	119	944
4:15 - 4:30	257	236	254	248	198	128	1321
4:30 - 4:45	289	258	267	257	260	165	1496
4:45 - 5:00	290	312	298	302	315	276	1793
5:00 - 5:15	315	322	320	360	376	256	1949
5:15 - 5:30	368	345	299	305	328	248	1893
5:30 - 5:45	405	390	387	400	397	230	2209
5:45 - 6:00	430	450	399	300	312	233	2124
6:00 - 6:15	476	459	356	372	378	260	2301
6:15 - 6:30	501	490	478	505	498	74	2546
6:30 - 6:45	330	367	378	397	413	57	1942
6:45 - 7:00	194	201	198	220	216	113	1142

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Analizando la tabla anterior, es notable la gran cantidad de personas que usan este movimiento para ingresar a la estación de Transmilenio y se pueden distinguir los picos que se presentan para la sumatoria de los datos por periodos de tiempo, para un mejor análisis e interpretación de los resultados se presenta la **figura 5.32**.

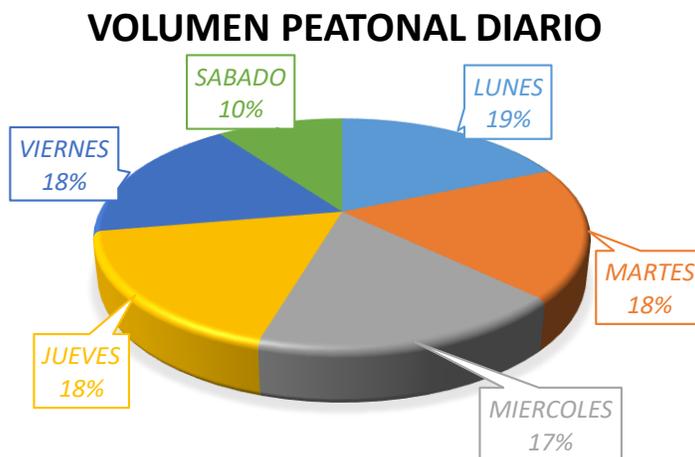
Figura 5.32. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Norte – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Es notable como el flujo tiene un crecimiento a partir de las 5:30 p.m. y un decaimiento de este a las 6:30 p.m., con una cantidad de **8175 transeúntes** aproximadamente que usan este movimiento en la hora pico. La **figura 5.33**, presenta los porcentajes estimados de flujo para cada día de la semana.

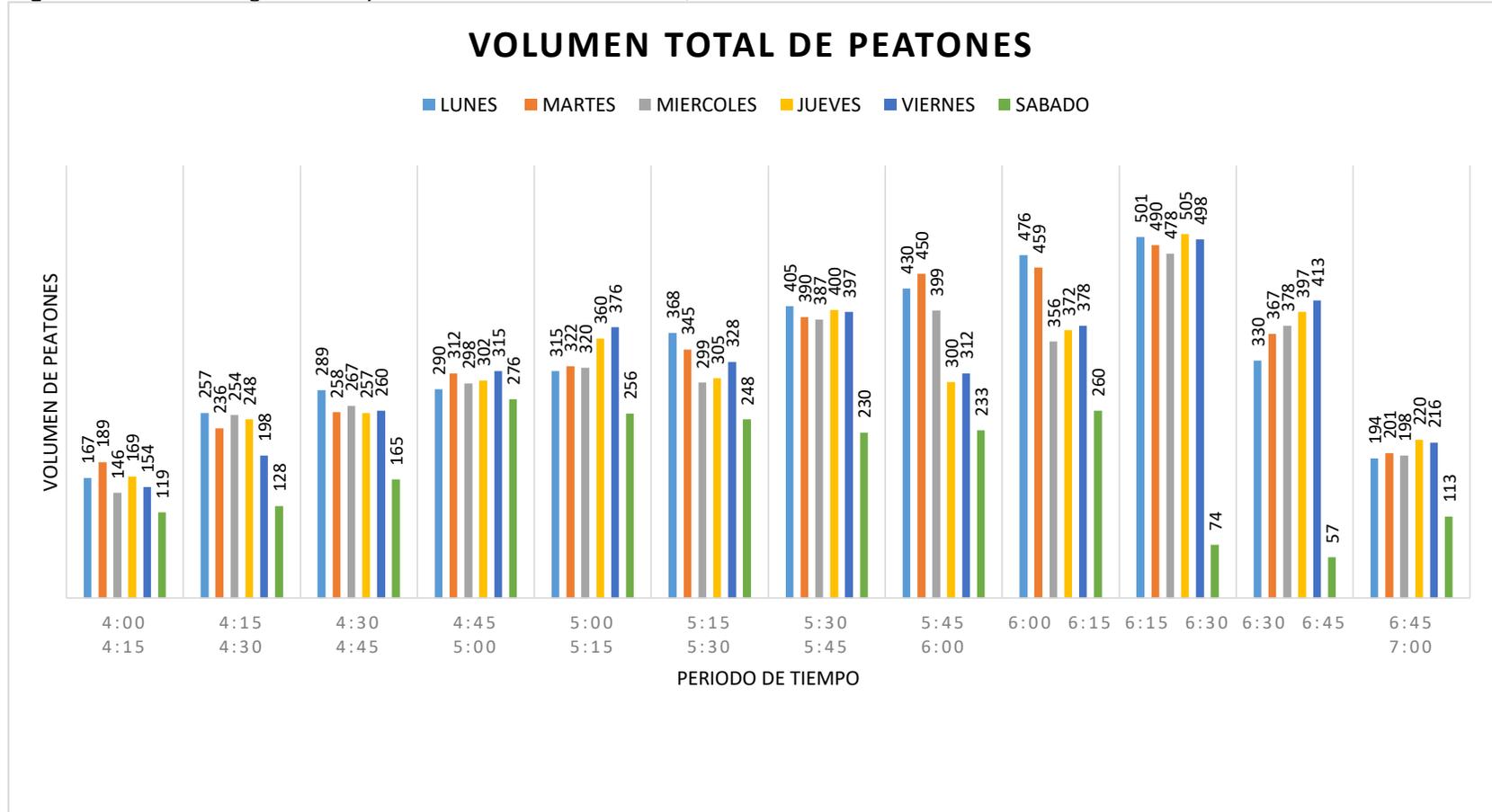
Figura 5.33. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la tarde, sentido Norte – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Este gráfico muestra un decaimiento en el flujo de peatones para el día sábado, lo que indica que **la mayoría de personas que utilizan este movimiento provienen de oficinas** ubicadas en la zona y que el día sábado finalizan su jornada laboral alrededor del mediodía, haciendo que los usuarios ingresen a la estación antes de las 4:00 p.m. (hora en la que se iniciaron los aforos), No obstante, se evidencian las altas cifras, que indica la necesidad de un sistema de paso peatonal organizado y que ofrezca diversos beneficios al ciudadano **figura 5.34**.

Figura 5.34. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido Norte – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.2. Sur – Giro a la izquierda (6)

El movimiento sur – oeste fue asignado a los transeúntes que provienen de la parte sur de la Calle 13, es decir, plaza San Victorino y sus alrededores e ingresan a la estación San Victorino, a partir de los aforos realizados; **éste es el movimiento que registra más flujo peatonal, puesto que ésta es una gran zona comercial, lo que implica el movimiento constante de ciudadanos.**

5.3.2.1. Jornada diurna

Los peatones que usan este movimiento en horas de la mañana, son personas que residen en esta parte de la ciudad o que tienen turnos laborales en jornadas nocturnas, los datos se presentan en la **tabla 5.11**.

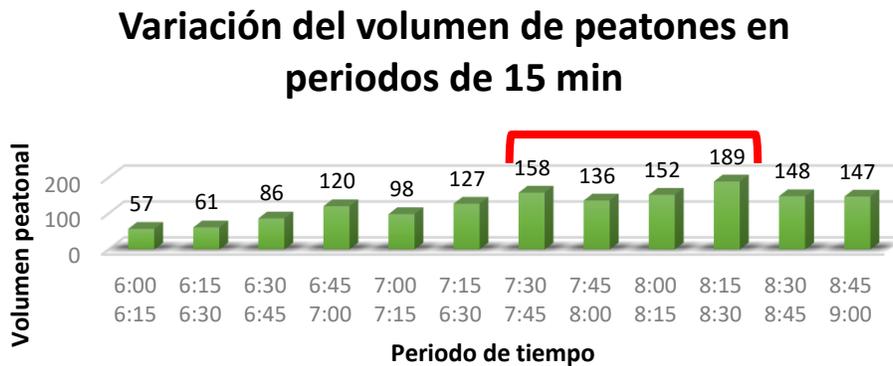
Tabla 5.11. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Sur – Giro a la izquierda

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio -- 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
6:00 - 6:15	3	4	20	3	2	25	57
6:15 - 6:30	5	3	19	4	2	28	61
6:30 - 6:45	10	9	22	7	6	32	86
6:45 - 7:00	17	20	25	16	12	30	120
7:00 - 7:15	8	16	27	3	5	39	98
7:15 - 6:30	19	17	30	10	9	42	127
7:30 - 7:45	15	10	45	5	6	77	158
7:45 - 8:00	10	8	41	2	7	68	136
8:00 - 8:15	7	9	48	4	15	69	152
8:15 - 8:30	7	7	47	9	27	92	189
8:30 - 8:45	5	6	35	6	25	71	148
8:45 - 9:00	6	8	21	13	10	89	147

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

En los datos anteriormente presentados se evidencia un alto flujo peatonal para los días miércoles y sábado en horas desde 6:00 a.m. en adelante, la causa de este aumento es proveniente de eventos comerciales que se realizan en la zona y que atraen gran cantidad de visitantes en horas de la madrugada, para tener mejor claridad en los datos obtenidos, véase el **gráfico 5.35** en el que se evidencian los picos y se señala la hora con mayor flujo peatonal.

Figura 5.35. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Sur – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Se asigna la hora pico entre las 7:30 a.m y las 8:30 a.m, donde se muestran datos de hasta 189 personas aforadas a la semana, teniendo en cuenta que ésta es una zona comercial se evidencia la poca cantidad de transeúntes que requieren del servicio de Transmilenio en horas de la mañana, a continuación se presenta la **figura 5.36**, en el que se muestran los porcentajes correspondientes al flujo peatonal diario que se aforo en dicho movimiento.

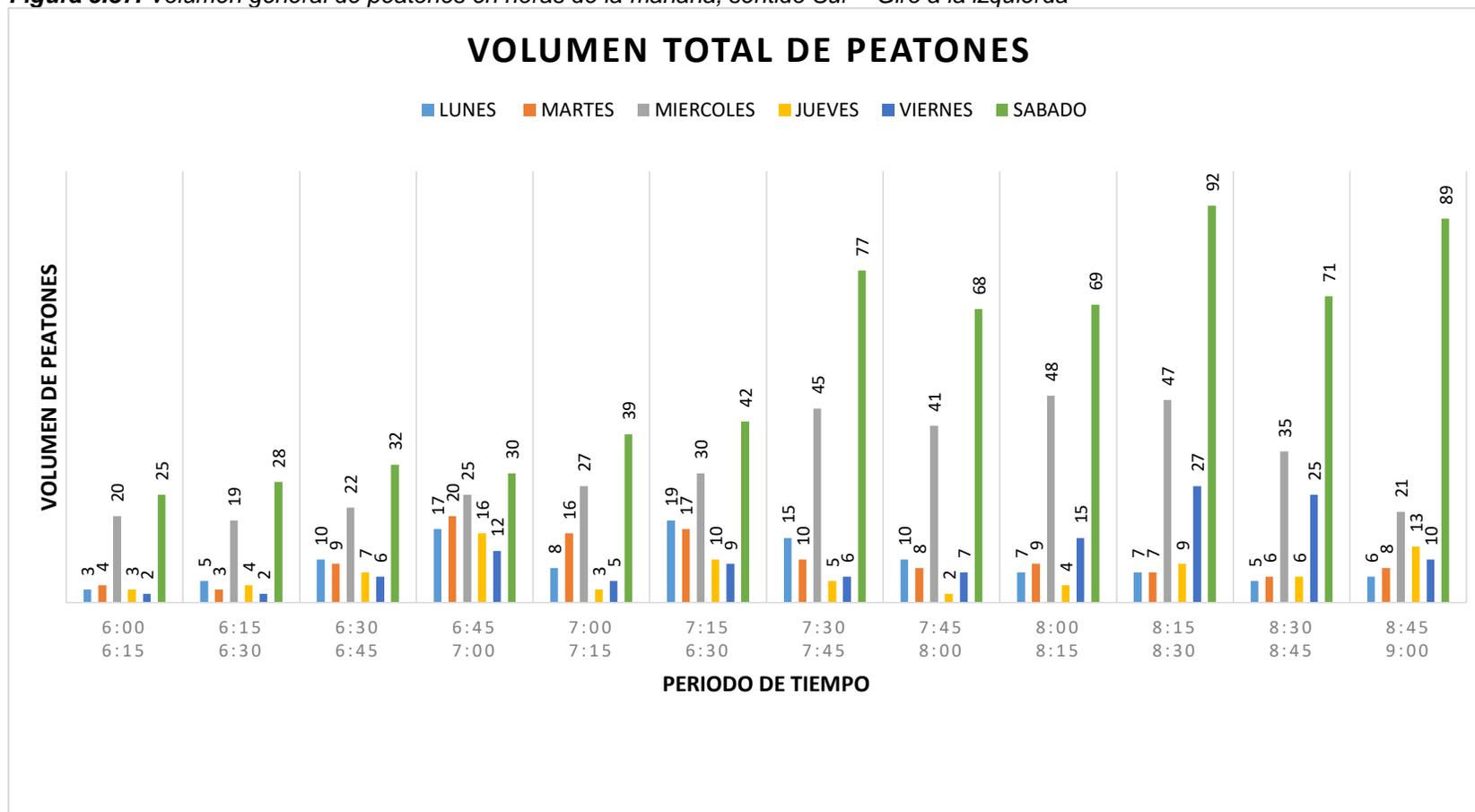
Figura 5.36. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la mañana, sentido Sur – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

El día sábado y el día miércoles presentan un alto porcentaje de flujo, producto del evento comercial que allí se realiza llamado “Madrugón”; evento que ha sido mencionado en numerales anteriores. El alto flujo se debe a los usuarios que después de asistir al evento hacen uso del transporte público de Transmilenio para regresar a sus lugares de origen. En la **figura 5.37** se presentan los datos obtenidos en los aforos que se realizaron para este movimiento peatonal.

Figura 5.37. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Sur – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.2.2. Jornada nocturna

Los transeúntes se incrementan en la jornada de la tarde como se observa en la **tabla 5.12**, debido a que son peatones que terminan su jornada laboral o simplemente se encuentran visitando la zona y al momento de retornar a sus lugares de residencia hacen uso del servicio de Transmilenio.

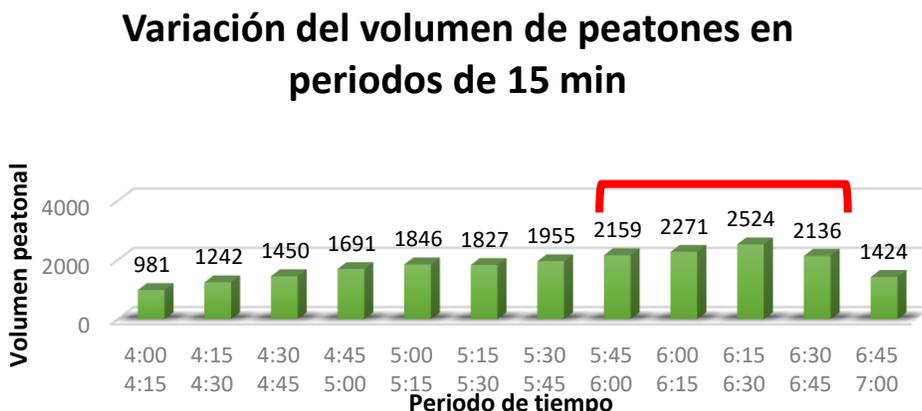
Tabla 5.12. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Sur – Giro a la izquierda

Aforo Peatonal							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 p.m.				Hora Final: 7:00 p.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
4:00 - 4:15	176	120	165	187	154	179	981
4:15 - 4:30	226	198	186	273	176	183	1242
4:30 - 4:45	250	247	237	250	190	276	1450
4:45 - 5:00	287	298	268	293	207	338	1691
5:00 - 5:15	306	316	309	332	258	325	1846
5:15 - 5:30	298	336	328	302	263	300	1827
5:30 - 5:45	324	340	345	339	276	331	1955
5:45 - 6:00	385	389	367	351	298	369	2159
6:00 - 6:15	392	386	433	405	325	330	2271
6:15 - 6:30	460	407	440	418	356	443	2524
6:30 - 6:45	395	376	390	383	287	305	2136
6:45 - 7:00	270	190	240	262	198	264	1424

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Estos datos se presentan a continuación en la **figura 5.38** para mejorar su interpretación y determinar la hora pico para dicho movimiento.

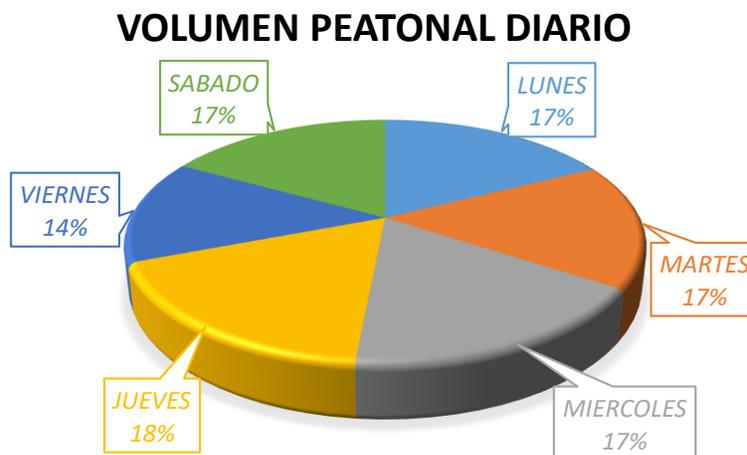
Figura 5.38. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Sur – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La hora pico que está entre 5:45 p.m. y 6:45 p.m., se debe a que usualmente el personal de oficina termina sus jornadas laborales en este periodo de tiempo. En la **figura 5.39** se analiza el flujo peatonal para 6 días de la semana, determinando cuál de éstos tiene mayor o menor flujo durante las horas de la tarde.

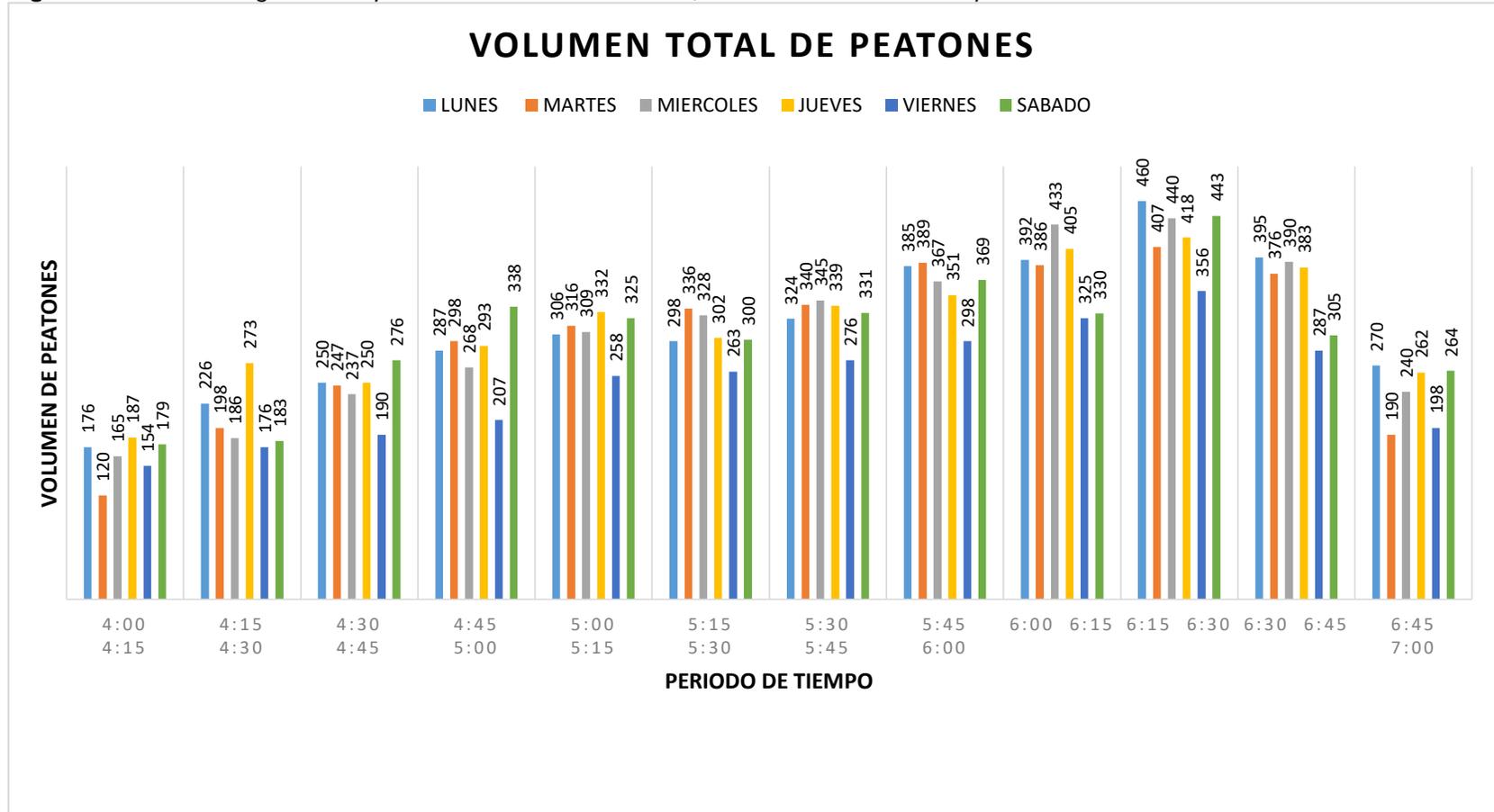
Figura 5.39. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la tarde, sentido sur – oeste



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En los volúmenes se muestra en decaimiento para el día viernes y se mantiene un porcentaje similar en los otros días de la semana, reducción debida a que los días viernes, en el centro de Bogotá se presentan eventos culturales que hacen que los peatones permanezcan más tiempo en dicha zona y que requieran del servicio de Transmilenio en horas después de las 7:00 p.m. (hora final de los aforos realizados). En el **figura 5.40** se muestran los volúmenes totales de peatones, discriminándolos en 6 días de la semana y periodos de tiempo de 15 minutos, en éste se evidencian las reducciones de flujo para el día viernes.

Figura 5.40. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido Sur – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.3. Oeste – Giro a la derecha 9(3)

Los peatones que se aforan para este movimiento, son quienes llegan a la zona del centro usando el transporte público Transmilenio, saliendo de la estación Av. Jiménez y dirigiéndose hacia la plaza de san Victorino, los datos registrados se muestran en la **tabla 5.13**.

5.3.3.1. Jornada diurna

En la jornada de la mañana los transeúntes que llegan a la zona centro de Bogotá se presentan en grandes cantidades, debido a que inician sus jornadas laborales y estudiantiles, realizan aperturas de los establecimientos comerciales o simplemente llegan para realizar compras.

Tabla 5.13. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la derecha

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio de 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
6:00 - 6:15	59	48	46	51	45	32	281
6:15 - 6:30	63	61	58	62	54	78	376
6:30 - 6:45	113	98	105	94	116	105	631
6:45 - 7:00	198	212	223	212	298	267	1410
7:00 - 7:15	189	190	160	141	312	317	1309
7:15 - 6:30	203	228	201	198	298	252	1380
7:30 - 7:45	235	258	265	237	379	296	1670
7:45 - 8:00	358	378	368	374	498	522	2498
8:00 - 8:15	475	490	485	492	521	460	2923
8:15 - 8:30	367	352	228	208	206	307	1668
8:30 - 8:45	287	247	376	358	397	395	2060
8:45 - 9:00	198	210	195	248	237	290	1378

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Los datos se presentan en el **figura 5.41** para tener un mejor análisis en el resultado de los aforos; se evidencia el incremento de aproximadamente 500 peatones en el periodo de tiempo de 8:00 a.m. a 8:15 a.m., debido a que en este periodo de tiempo los ciudadanos llegan a sus lugares de trabajo, por tal razón se señala la hora pico que se encuentra entre las 7:45 a.m y las 8:45 a.m.

Figura 5.41. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En el siguiente gráfico se presentan los porcentajes de flujo peatonales para cada día de la semana, **figura 5.42**; analizando los resultados se nota un gran aumento en el día sábado, ya que para este día de la semana se realiza el evento comercial (Madrugón) que ha sido mencionado en aforos anteriores para los que también causa un crecimiento de flujo.

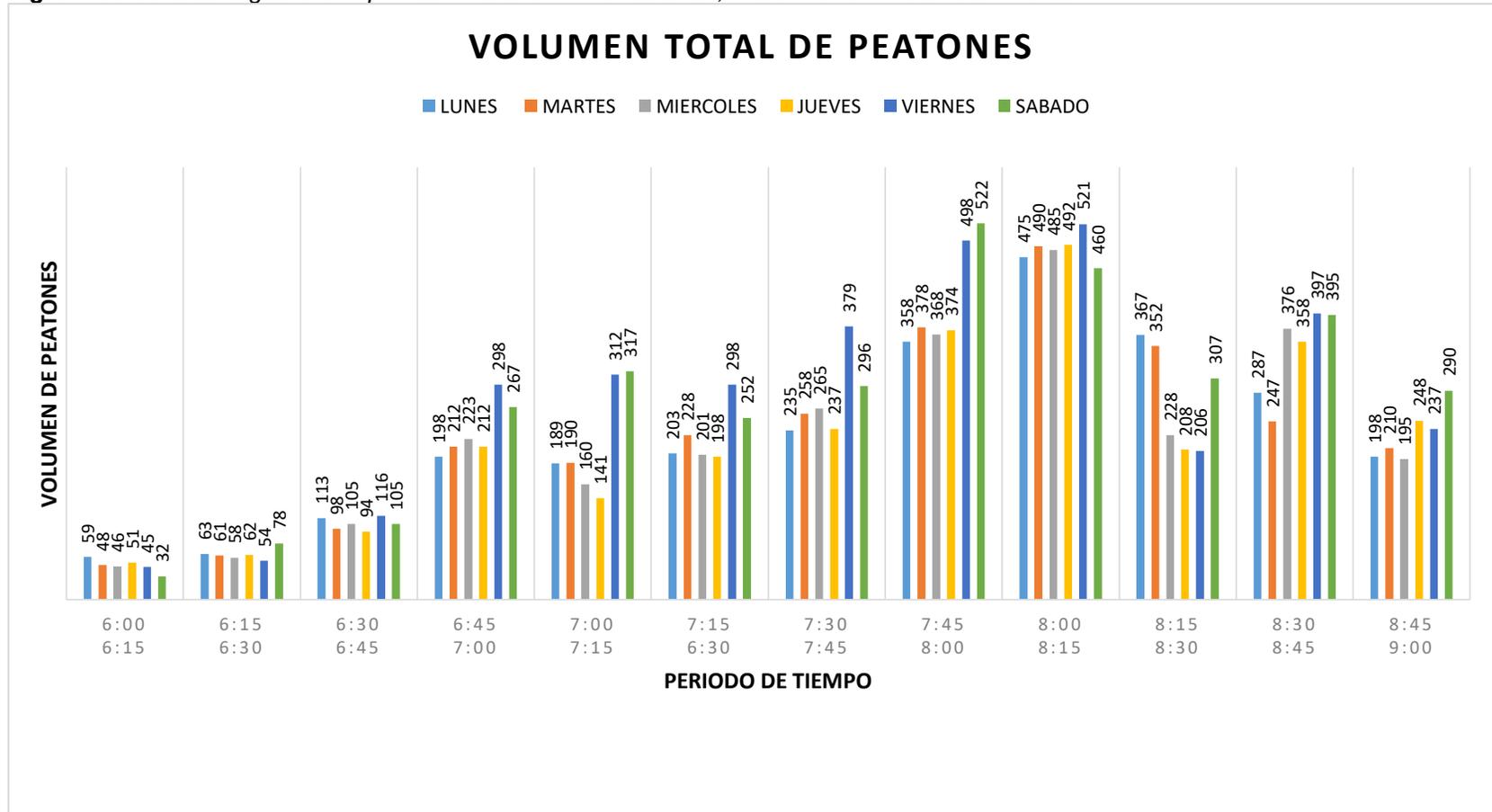
Figura 5.42. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La **figura 5.43** contiene los volúmenes totales del aforos realizados para el movimiento oeste – sur, en el que podemos analizar la hora pico y adicionalmente es observa los crecimiento de flujo que se presentan para el día sábado, siendo las barras con mayor magnitud en el gráfico.

Figura 5.43. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.3.2. Jornada nocturna

En la jornada de la tarde el flujo decrece, por motivo de que para estas horas del día los ciudadanos se encuentra ingresando a la estación para regresar a sus lugares de residencia y son muy pocos los peatones que llegan a la zona centro de Bogotá, **tabla 5.14**.

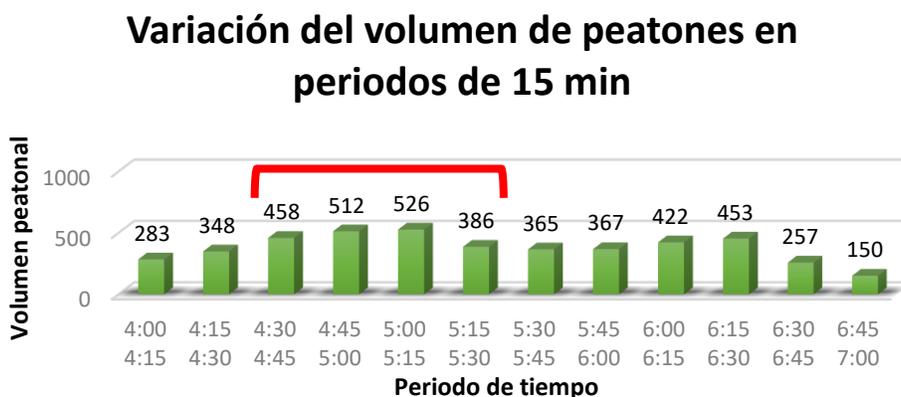
Tabla 5.14. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la derecha

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 p.m.				Hora Final: 7:00 p.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
4:00 - 4:15	51	40	48	45	43	56	283
4:15 - 4:30	58	57	50	57	59	67	348
4:30 - 4:45	79	80	76	76	68	79	458
4:45 - 5:00	85	89	86	87	76	89	512
5:00 - 5:15	91	95	87	91	86	76	526
5:15 - 5:30	60	68	58	50	54	96	386
5:30 - 5:45	65	70	60	59	50	61	365
5:45 - 6:00	63	65	62	56	76	45	367
6:00 - 6:15	72	76	80	67	81	46	422
6:15 - 6:30	77	78	82	71	78	67	453
6:30 - 6:45	40	43	51	42	45	36	257
6:45 - 7:00	12	27	24	18	23	46	150

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Si comparamos los datos presentados en la tabla anterior, con respecto a los datos presentado para la jornada del día, se evidencia la disminución en los volúmenes peatonal, situación que ocurre por motivo que se mencionó anteriormente, teniendo en cuenta que la zona centro de Bogotá es catalogada como zona comercial; lo que ocasiona que sus altos flujos de personas que salen de la estación, se registren en horas de la mañana, de igual manera se determina la hora pico para este movimiento, **figura 5.44**.

Figura 5.44. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la derecha



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

De acuerdo a la gráfica, la hora pico se registra entre las 4:30 p.m. y las 5:30 p.m., y se asume que son ciudadanos que llegan a visitar y a realizar compras en este punto de la ciudad. Para el análisis del flujo en cada día de la semana se presenta la **figura 5.45**.

Figura 5.45. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la derecha

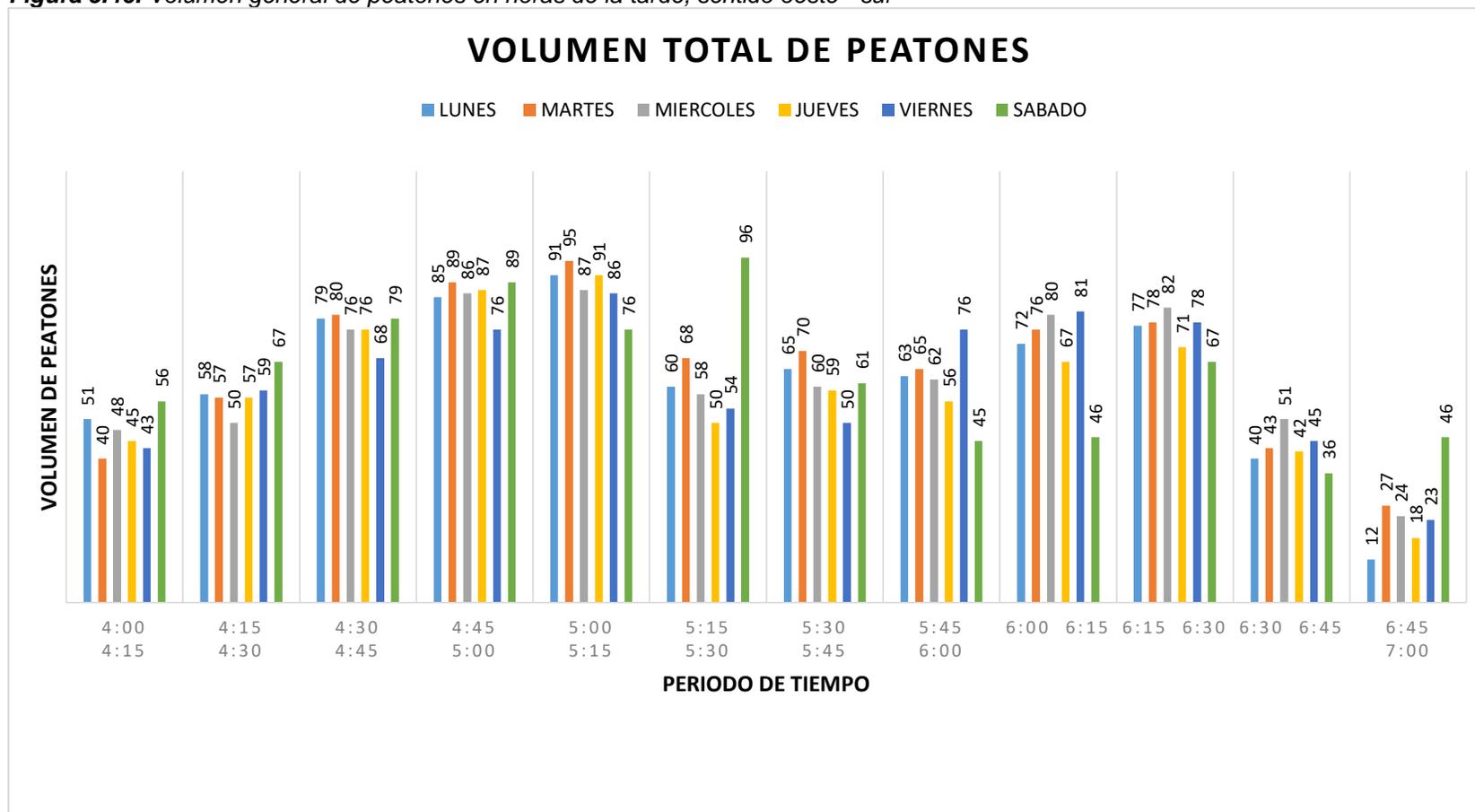


Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

De acuerdo a la gráfica de porcentajes, se presenta un flujo constante para los 6 días de la semana, manteniendo un valor entre 16 y 17% y teniendo en cuenta que son flujos muy bajos, como se explicó anteriormente.

A continuación se presenta la **figura 5.46**, en el que se dan a conocer los datos obtenidos en la jornada de la tarde para el movimiento oeste – sur, los totales para cada día de la semana; se observar la similitud y diferencia entre los datos y claramente se evidencia la hora pico.

Figura 5.46. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido oeste - sur



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.4. Oeste – Giro a la izquierda (7)

En este movimiento se registran las personas que llegan a la zona centro de Bogotá usando como medio de transporte el Transmilenio y que se dirigen hacia la parte norte de la calle 13, es decir, son aquellos que tienen su lugar de trabajo hacia este costado de la calle 13 o simplemente visitan los locales comerciales que se encuentran ubicados sobre la carrera 12 y la calle 13.

5.3.4.1. Jornada diurna

En este movimiento se evidencian los registros con alto flujo peatonal en horas de la mañana, debida a que la mayoría de empleados y comerciantes llegan a la zona centro de Bogotá para iniciar sus jornadas laborales. A continuación se muestra la **tabla 5.15** que contiene los datos tomados en campo y los resultados que se obtienen al realizar la sumatoria para cada periodo de tiempo.

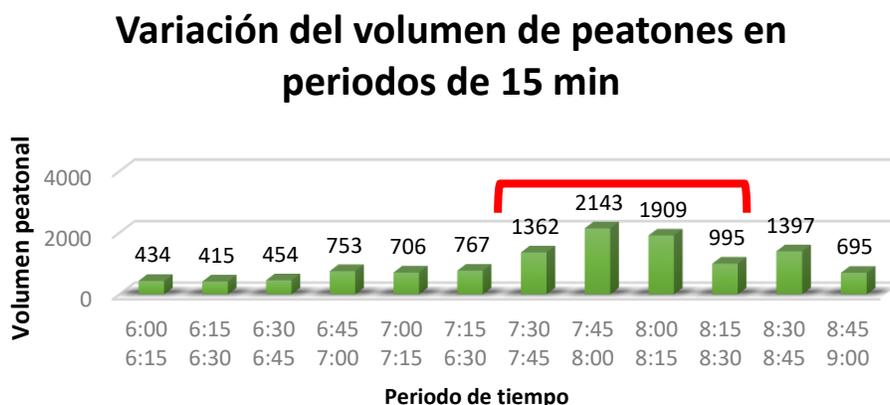
Tabla 5.15. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la izquierda

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
6:00 - 6:15	75	55	73	78	66	87	434
6:15 - 6:30	53	58	60	67	87	90	415
6:30 - 6:45	65	73	65	43	110	98	454
6:45 - 7:00	115	126	132	122	135	123	753
7:00 - 7:15	129	95	145	72	163	102	706
7:15 - 6:30	107	112	123	86	298	41	767
7:30 - 7:45	265	278	297	268	177	77	1362
7:45 - 8:00	402	387	395	380	400	179	2143
8:00 - 8:15	328	346	332	352	312	239	1909
8:15 - 8:30	169	175	187	141	176	147	995
8:30 - 8:45	246	250	212	256	234	199	1397
8:45 - 9:00	99	109	112	132	145	98	695

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Los datos se presentan en la siguiente gráfica para tener un mejor análisis y determinar la hora pico, **figura 5.47**.

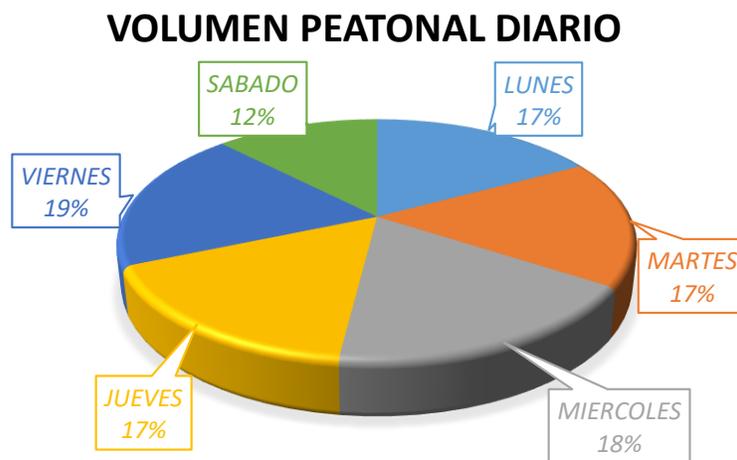
Figura 5.47. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La hora pico se encuentra entre las 7:30 a.m. y las 8:30 a.m., lo cual justifica la razón por la que se presenta este flujo, cabe resaltar el incremento de volumen peatonal que se genera en el periodo de tiempo de 7:45 a.m. a 8:00 a.m. que corresponde a la llegada de los peatones que inician sus jornadas laborales. El siguiente gráfico presenta un porcentaje de flujo para cada día de la semana, **figura 5.48.**

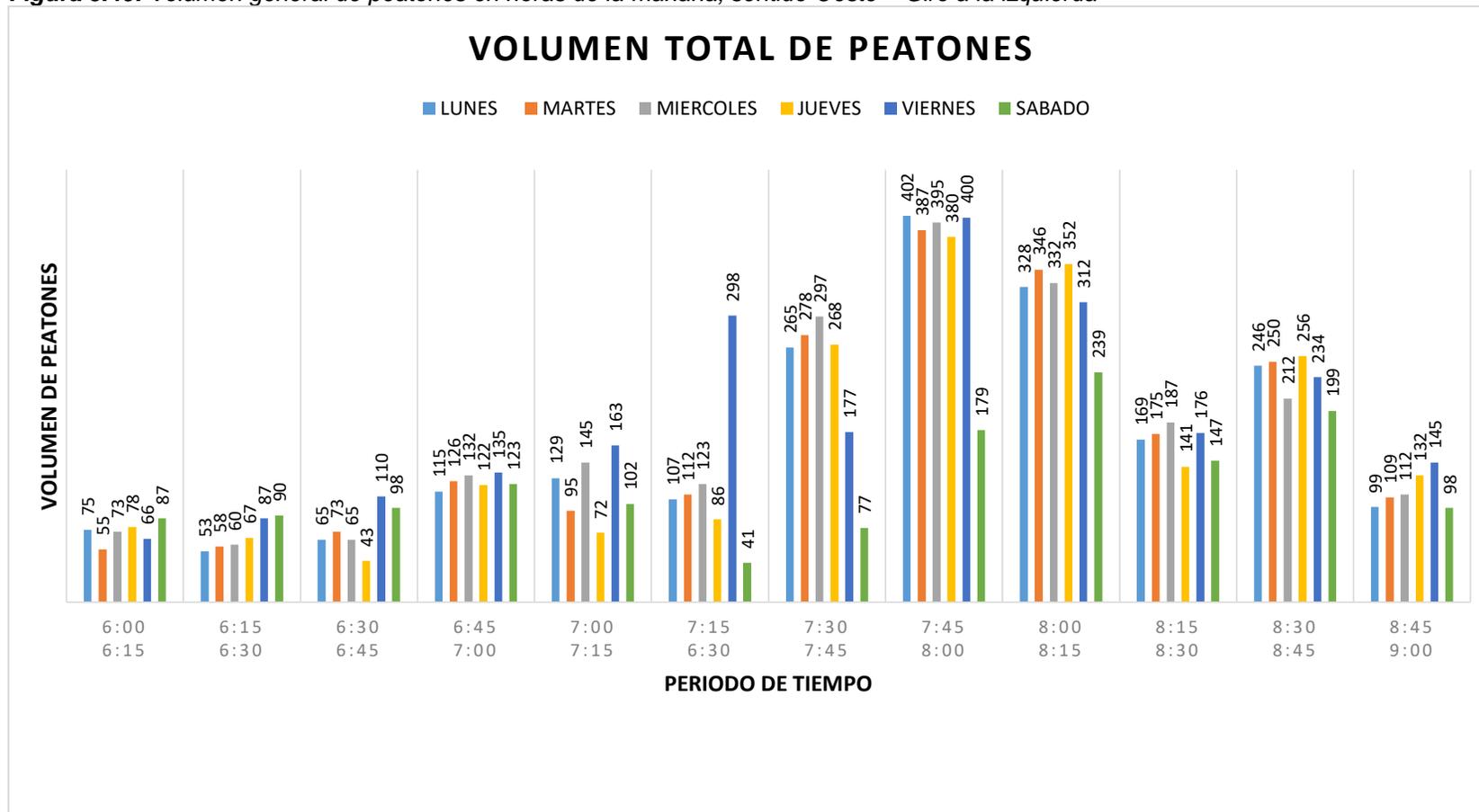
Figura 5.48. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

El día sábado tiene un bajo volumen ocasionado por la ausencia de los estudiantes de esta zona, por otro lado, si se analizan los días restantes hay una similitud entre éstos, excluyendo los resultados para el día viernes, puesto que su incremento es ocasionado por algunos ciudadanos que prefieren realizar sus compras los días en los que finaliza la semana. El siguiente gráfico presenta los valores totales de flujo, **figura 5.49.**

Figura 5.49. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Oeste – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.4.2. Jornada nocturna

Para la jornada de la tarde en este movimiento, se presenta un decaimiento en el volumen de flujo peatonal, similar a la jornada nocturna del movimiento oeste – sur; evento que se debe a los horarios de oficina que se manejan en la ciudad, es decir, para este movimiento el alto caudal se presenta en horas de la mañana puesto que es el momento en el que los usuarios de Transmilenio llegan a la zona a cumplir con sus jornadas laborales, **tabla 5.16**.

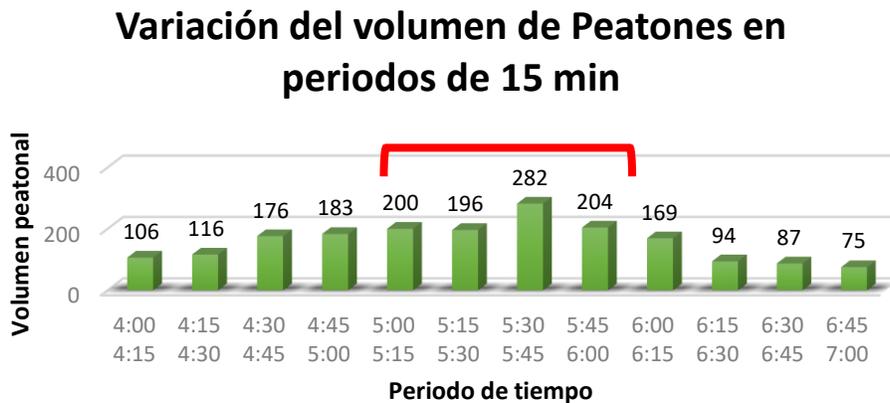
Tabla 5.16. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la izquierda

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 p.m.				Hora Final: 7:00 p.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
4:00 - 4:15	18	21	17	19	21	10	106
4:15 - 4:30	22	23	20	21	18	12	116
4:30 - 4:45	31	29	35	32	29	20	176
4:45 - 5:00	35	28	33	28	31	28	183
5:00 - 5:15	36	31	37	31	36	29	200
5:15 - 5:30	33	40	42	18	28	35	196
5:30 - 5:45	43	48	53	40	47	51	282
5:45 - 6:00	32	30	26	23	38	55	204
6:00 - 6:15	21	23	25	27	45	28	169
6:15 - 6:30	10	12	14	10	12	36	94
6:30 - 6:45	15	10	17	13	10	22	87
6:45 - 7:00	9	12	7	10	8	29	75

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

En la tabla se muestran los datos y se evidencia la disminución en los peatones aforados respecto a la jornada de la mañana, para tener una representación gráfica y señalar la hora pico, a continuación se presenta la **figura 5.50**.

Figura 5.50. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Respecto a los datos que se muestran en la gráfica anterior, son los resultados de la sumatoria de volúmenes por periodos de tiempo, en la que se evidencia el crecimiento del flujo peatonal de 5:30 p.m. a 5:45 p.m., por lo que la hora pico se asigna entre las 5:00 p.m. y las 6:00 p.m., como señala la **figura 5.50**. En la **figura 5.51** se presentan los porcentajes de flujo peatonal para cada día de la semana.

Figura 5.51. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la izquierda

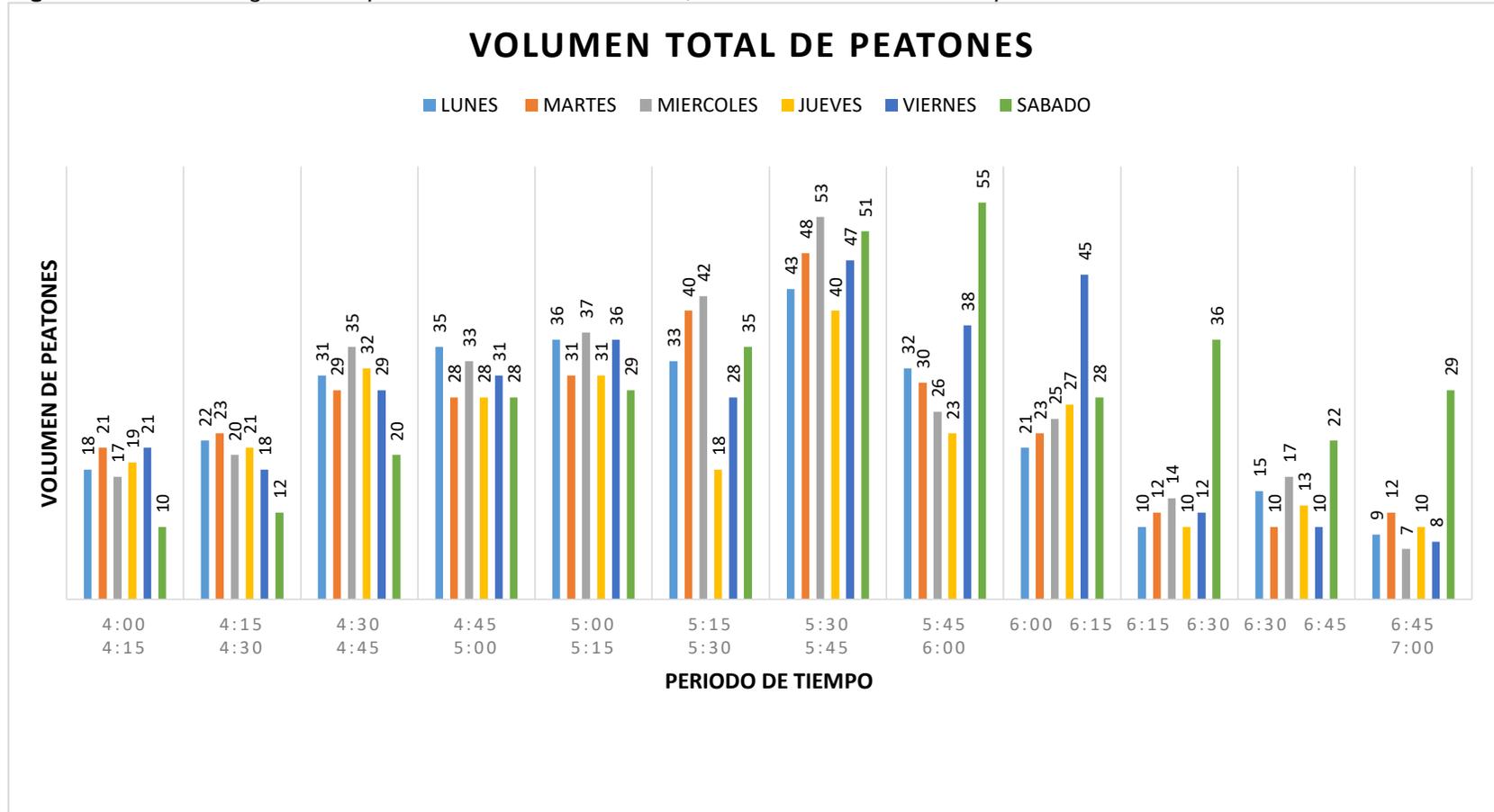


Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Se observa una similitud entre los días de lunes a viernes y para el día sábado se presenta un crecimiento de flujo, lo que puede ser ocasionado debido a que algunos ciudadanos visitan los locales comerciales nocturnos de la zona centro.

En la **figura 5.52**. Se puede observar las sumatoria de peatones por día de la semana y por periodo de tiempo, adicionalmente en ésta se evidencia los crecimientos de flujo que existen para el día sábado, éstos empiezan aproximadamente desde la 5:00 p.m.

Figura 5.52. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido Oeste – Giro a la izquierda



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.5. Sur – Directo (2)

En este movimiento la presencia de bicicletas, carros de carga “zorras” y personas discapacitadas es muy relevante, por lo cual se tienen en cuenta para los análisis y gráficas presentadas a continuación. Este movimiento se le asignó a personas que cruzan la calle 13 con origen de la plaza de San Victorino hacia la carrera 12.

5.3.5.1. Jornada diurna

Para las horas de la mañana, los transeúntes que realizan este movimiento son personas que transportan mercancía de un costado al otro de la calle 13, **respecto a las personas que requieren del uso de rampas, son aquellos vendedores informales que para estas horas de la mañana inician su jornada laboral**, no obstante, se evaluaron ciclistas que entre su ruta de recorrido está el tener que realizar el cruce peatonal. En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos mediante aforos, donde se discriminan los valores de flujo para usuarios que requieren del uso de rampas nombrados en general “Bicicletas”, **tabla 5.17**.

Tabla 5.17. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Sur – Norte

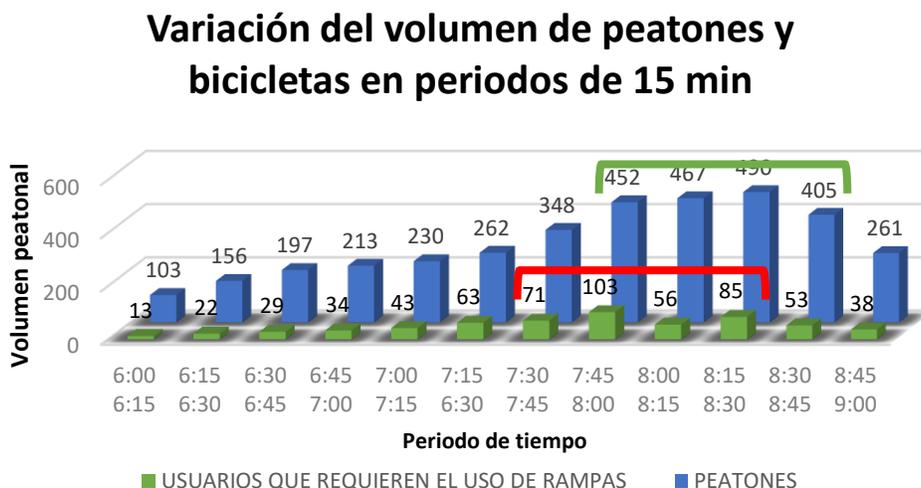
AFORO PEATONAL Y USUARIOS QUE REQUIEREN EL USO DE RAMPAS														
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016							Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá							
Hora Inicio: 6:00 a.m.							Hora Final: 9:00 a.m.							
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla														
Hora de Inicio	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		Flujo cada 15 minutos	
	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS
6:00 - 6:15	16	1	12	3	18	1	14	2	15	3	28	3	103	13
6:15 - 6:30	24	4	27	3	31	4	13	2	18	4	43	5	156	22
6:30 - 6:45	41	4	35	4	38	5	16	4	29	6	38	6	197	29
6:45 - 7:00	38	5	35	6	42	4	24	6	28	5	46	8	213	34
7:00 - 7:15	46	5	39	7	35	6	21	8	32	9	57	8	230	43
7:15 - 6:30	45	9	48	18	43	8	40	13	28	9	58	6	262	63
7:30 - 7:45	59	8	61	9	58	10	40	17	55	18	75	9	348	71
7:45 - 8:00	69	17	75	18	65	21	44	12	88	20	111	15	452	103
8:00 - 8:15	78	12	83	8	76	10	83	6	57	6	90	14	467	56
8:15 - 8:30	78	21	67	14	54	15	64	11	105	10	122	14	490	85
8:30 - 8:45	59	7	54	9	61	7	61	9	63	8	107	13	405	53
8:45 - 9:00	24	3	28	8	32	7	21	5	17	9	139	6	261	38

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En el siguiente gráfico se muestra una relación entre los aforos realizados para peatones y bicicletas, **figura 5.53**. En éste se presenta el total para cada flujo en

periodos de 15 minutos, teniendo en cuenta que estos datos son la sumatoria de los aforos en una semana. Se observa la hora pido obtenida.

Figura 5.53. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Sur – Norte



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En la **figura 5.54** que se presenta a continuación, están los porcentajes de flujo que se obtuvieron para cada día de la semana.

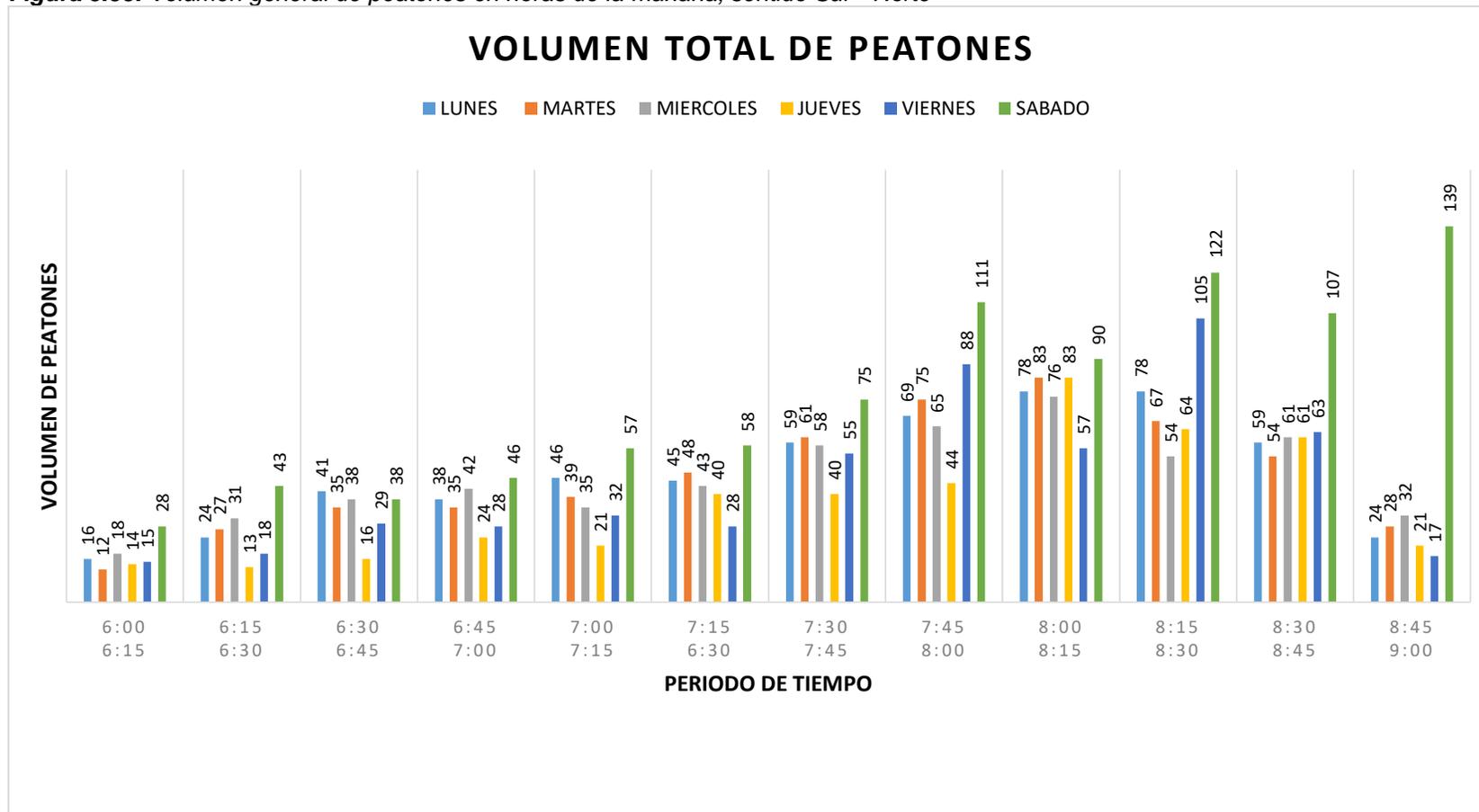
Figura 5.54. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la mañana, sentido Sur – Norte



Fuente: Elaboración propia (julio 2016).

En el gráfico se presentan los datos totales, **figura 5.55**, en éste se puede diferenciar las magnitudes de las barras que representan el día sábado, como se presenta entre las 8:45 a.m. Y 9:00 a.m.

Figura 5.55. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Sur - Norte



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.5.2. Jornada nocturna

En la jornada de la tarde el crecimiento de flujo es ocasionado debido a que para estas horas del día el centro de la ciudad se encuentra en un movimiento activo en cuanto a comercio, **tabla 5.18**, donde los mismos comerciantes realizan este movimiento para transportar mercancías o simplemente los cliente visitan diversos locales comerciales y realizan este cruce.

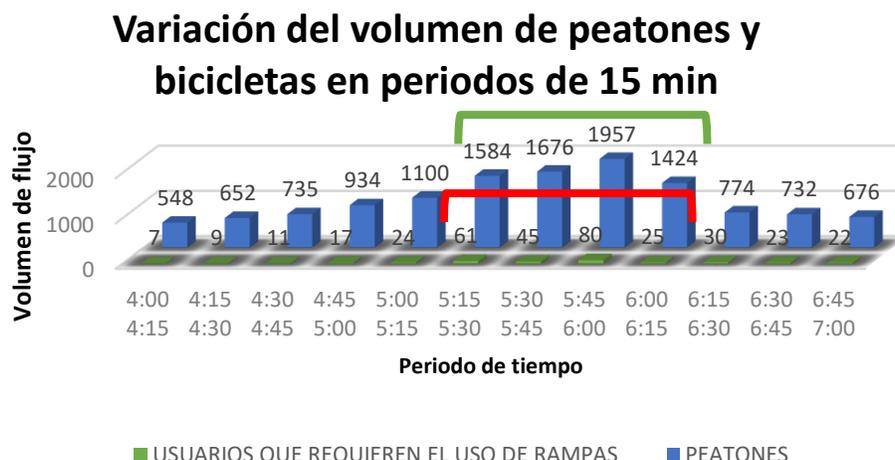
Tabla 5.18. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido sur - norte

AFORO PEATONAL Y USUARIOS QUE REQUIEREN EL USO DE RAMPAS														
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016							Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá							
Hora Inicio: 4:00 p.m.							Hora Final: 7:00 p.m.							
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla														
Hora de Inicio	LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		Flujo cada 15 minutos	
	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS
6:00 - 6:15	87	1	107	1	99	0	86	2	76	1	93	2	548	7
6:15 - 6:30	105	0	99	2	129	2	102	2	102	2	115	1	652	9
6:30 - 6:45	112	2	129	1	128	2	123	1	134	5	109	0	735	11
6:45 - 7:00	159	3	162	2	151	3	143	3	157	4	162	2	934	17
7:00 - 7:15	183	6	192	5	173	4	175	3	198	5	179	1	1100	24
7:15 - 6:30	270	8	281	15	278	17	250	10	245	9	260	2	1584	61
7:30 - 7:45	326	9	312	14	345	10	200	4	243	8	250	0	1676	45
7:45 - 8:00	369	14	359	17	376	15	357	12	286	13	210	9	1957	80
8:00 - 8:15	264	8	276	4	251	3	246	4	187	4	200	2	1424	25
8:15 - 8:30	172	7	149	6	137	6	123	5	102	3	91	3	774	30
8:30 - 8:45	169	5	152	4	154	3	162	2	52	5	43	4	732	23
8:45 - 9:00	137	3	129	5	123	4	136	5	78	4	73	1	676	22

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Si se comparan los datos con respecto a los registros que se obtuvieron en horas de la mañana, se puede evidenciar el crecimiento que existe, tanto de peatones como de los usuarios que requieren de rampas. En el siguiente gráfico se presentan los datos que se obtuvieron como resultado a la sumatoria de en cada periodo de tiempo, **figura 5.56**.

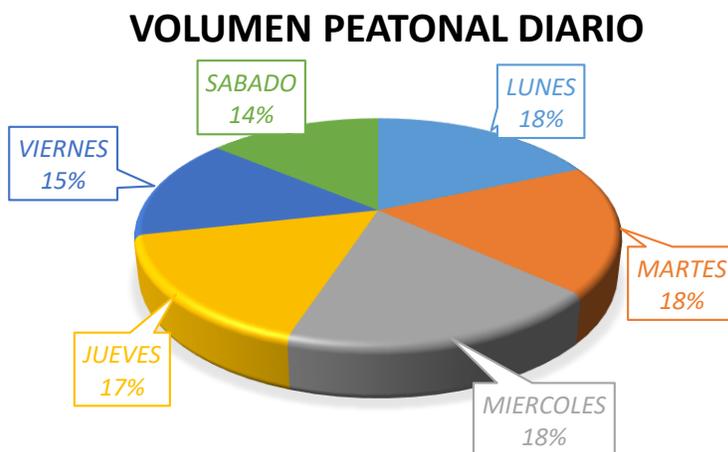
Figura 5.56. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Sur - Norte



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La hora pico se da entre las 5:15 p.m. y las 6:15 p.m., esta hora es la misma para peatones y para usuarios que requieren de rampas, para las horas de la tarde son más los peatones que realizan este movimiento, por motivos comerciales que se mencionaron anteriormente. El siguiente gráfico contiene los porcentajes de flujo que se determinaron a partir de los aforos realizados, **figura 5.57.**

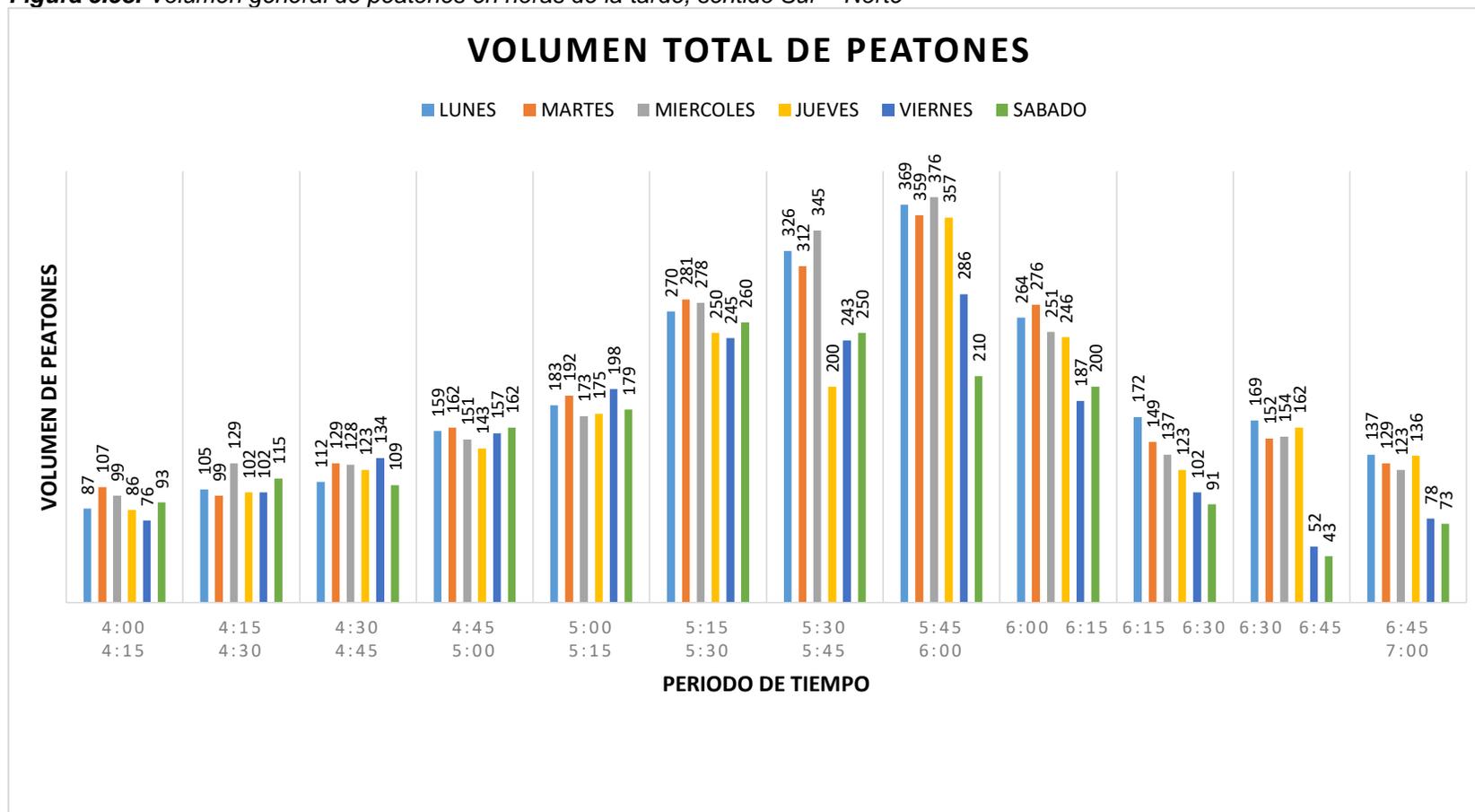
Figura 5.57. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la tarde, Sur – Norte



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

A partir de los datos reflejados en el gráfico anterior, se observa que el sábado es el día con menor flujo, evento que ocurre debido a los peatones que tienen un horario laboral hasta medio día o antes de las 4:00 p.m. (hora en la que se iniciaron los aforos). El siguiente gráfico muestra los datos totales obtenidos a partir de los aforos, **figura 5.58,** en el que también se puede distinguir la hora pico para este movimiento y hacer un análisis detallado en cuanto los volúmenes para cada día en los diferentes lapsos de tiempo.

Figura 5.58. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido Sur – Norte



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.6. Norte – Directo (1)

Este movimiento se le asignó a los transeúntes que realizan el cruce de la calle 13, provenientes de la carrera 12 y dirigiéndose hacia la plaza de San Victorino, al igual que el movimiento analizado anteriormente, en éste se presentan personas que están allí con el fin de visitar locales comerciales, realizar compras o simplemente son comerciantes de la zona que transportan la mercancía.

5.3.6.1. Jornada diurna

Los datos que se muestra en la **tabla 5.19**, reflejan una similitud en cuanto al movimiento sur – norte, debido a que en estos movimientos, los flujos en su mayoría son de comerciantes que van y vuelven en el mismo periodo de tiempo transportando su mercancía.

Tabla 5.19. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Norte - Sur

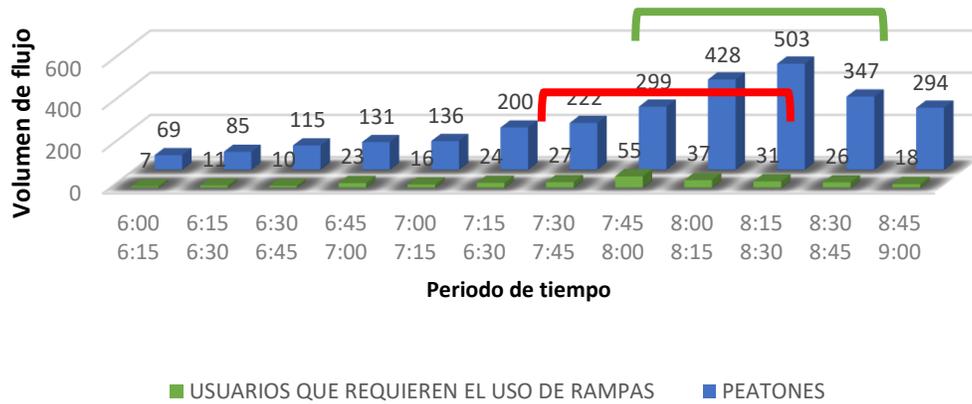
AFORO PEATONAL Y USUARIOS QUE REQUIEREN EL USO DE RAMPAS														
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016							Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá							
Hora Inicio: 6:00 a.m.							Hora Final: 9:00 a.m.							
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla														
Hora de Inicio	LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		Flujo cada 15 minutos	
	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS
6:00 - 6:15	11	1	9	1	17	2	13	1	7	0	12	2	69	7
6:15 - 6:30	18	3	21	2	15	1	10	2	7	2	14	1	85	11
6:30 - 6:45	22	1	25	1	28	3	6	2	8	2	26	1	115	10
6:45 - 7:00	21	3	19	5	20	4	26	4	10	4	35	3	131	23
7:00 - 7:15	22	3	16	2	26	1	8	3	12	3	52	4	136	16
7:15 - 6:30	27	3	30	5	20	4	36	3	28	4	59	5	200	24
7:30 - 7:45	30	5	25	4	36	5	31	7	29	1	71	5	222	27
7:45 - 8:00	49	8	40	10	43	12	33	9	53	10	81	6	299	55
8:00 - 8:15	69	7	73	9	67	7	83	5	37	2	99	7	428	37
8:15 - 8:30	98	2	88	3	76	4	42	3	90	4	109	15	503	31
8:30 - 8:45	29	2	32	3	39	3	35	2	65	2	147	14	347	26
8:45 - 9:00	20	0	22	2	35	1	31	2	28	1	158	12	294	18

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Con los datos obtenidos, se presenta la **figura 5.59**, en el que se determina la hora pico y se analiza la similitud con el movimiento norte – sur, en éste se muestra un crecimiento de usuarios que requieren de rampas en horas más tempranas, debido a los horarios laborales de los comerciantes de la zona.

Figura 5.59. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Norte – Sur

Variación del volumen de peatones y bicicletas en periodos de 15 min

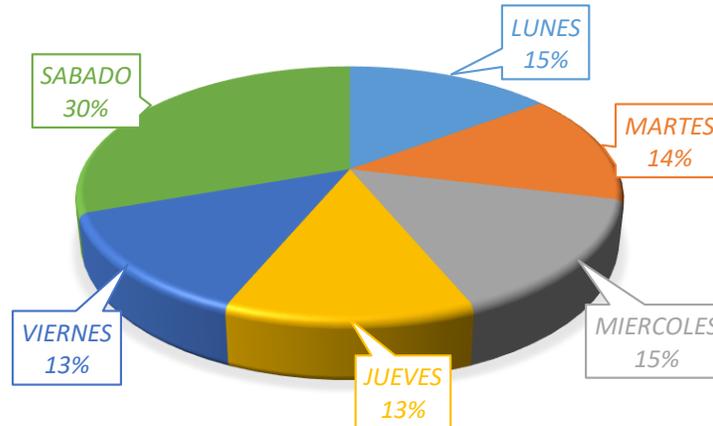


Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

El siguiente gráfico muestra los porcentajes de flujo para cada día de la semana, **figura 5.60**, en éste se observa un crecimiento para el día sábado, evento que ocurre por motivos del Madrugón, ya que los comerciantes de la zonas aledañas asisten a este evento.

Figura 5.60. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la mañana, sentido Norte – Sur

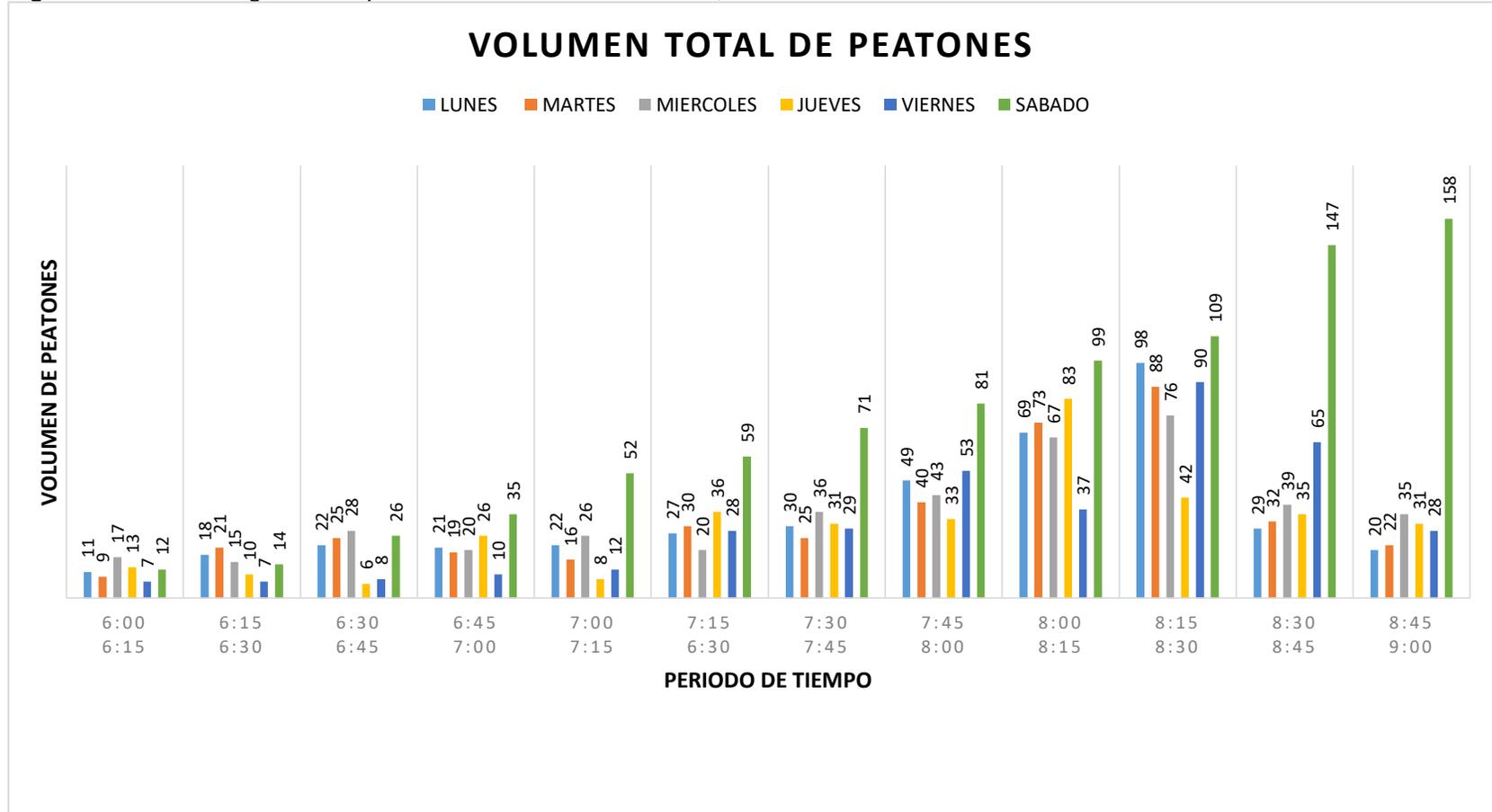
VOLUMEN PEATONAL DIARIO



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En el siguiente gráfico se presentan los volúmenes totales, para tener una idea clara de los crecimientos en el flujo peatonal, lo cual es muy evidente para el día sábado por motivos mencionados anteriormente. **Figura 5.61.**

Figura 5.61. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.3.6.2. Jornada nocturna

Para esta jornada del día, la situación es similar con respecto al movimiento norte – sur, debido a que las personas que realizan estos movimientos, en su mayoría son los mismos comerciantes que realizan recorridos en ir y volver, el crecimiento de flujo se debe a que en horas de la tarde la actividad del comercio se hace más activa, lo que implica el alto flujo de personas en la zona centro de la capital. En la **tabla 5.20** se encuentran los datos obtenidos a partir de los aforos que se realizaron.

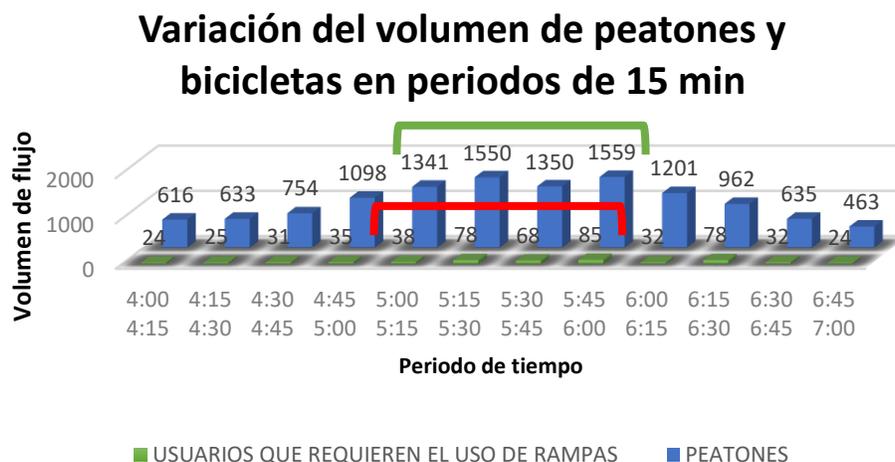
Tabla 5.20. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Norte - Sur

AFORO PEATONAL Y USUARIOS QUE REQUIEREN EL USO DE RAMPAS														
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016							Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá							
Hora Inicio: 4:00 p.m.							Hora Final: 7:00 p.m.							
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla														
Hora de Inicio	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		Flujo cada 15 minutos	
	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS	PEATONES	BICICLETAS
6:00 - 6:15	104	1	99	3	103	1	89	2	112	3	109	3	616	13
6:15 - 6:30	97	4	110	3	105	4	102	2	98	4	121	5	633	22
6:30 - 6:45	126	4	118	4	134	5	123	4	121	6	132	6	754	29
6:45 - 7:00	179	5	201	6	187	4	197	6	178	5	156	8	1098	34
7:00 - 7:15	243	5	254	7	239	6	229	8	231	9	145	8	1341	43
7:15 - 6:30	279	9	261	18	274	8	266	13	287	9	183	6	1550	63
7:30 - 7:45	239	8	212	9	224	10	198	17	203	18	274	9	1350	71
7:45 - 8:00	261	17	275	18	286	21	251	12	276	20	210	15	1559	103
8:00 - 8:15	201	12	224	8	210	10	195	6	201	6	170	14	1201	56
8:15 - 8:30	175	21	189	14	164	15	166	11	176	10	92	14	962	85
8:30 - 8:45	122	7	117	9	129	7	131	9	110	8	26	13	635	53
8:45 - 9:00	98	3	75	8	82	7	77	5	68	9	63	6	463	38

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En la **figura 5.62** se muestran los datos representados en barras, para así determinar la hora pico, tanto para peatones como para ciclistas, teniendo en cuenta que entre los ciclistas se incluyen: personas con discapacidad y carretas de transporte de mercancía.

Figura 5.62. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Norte – sur



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La **figura 5.63** presenta los porcentajes de volúmenes peatonales para la jornada de la tarde, en el que se observa un decaimiento para el día sábado, debido a la ausencia de personas que laboran en la zona, teniendo en cuenta que el día sábado, las jornadas laborales finalizan más temprano, pero cabe resaltar que estas jornadas son para aquellos que tienen un horario convencional de trabajo.

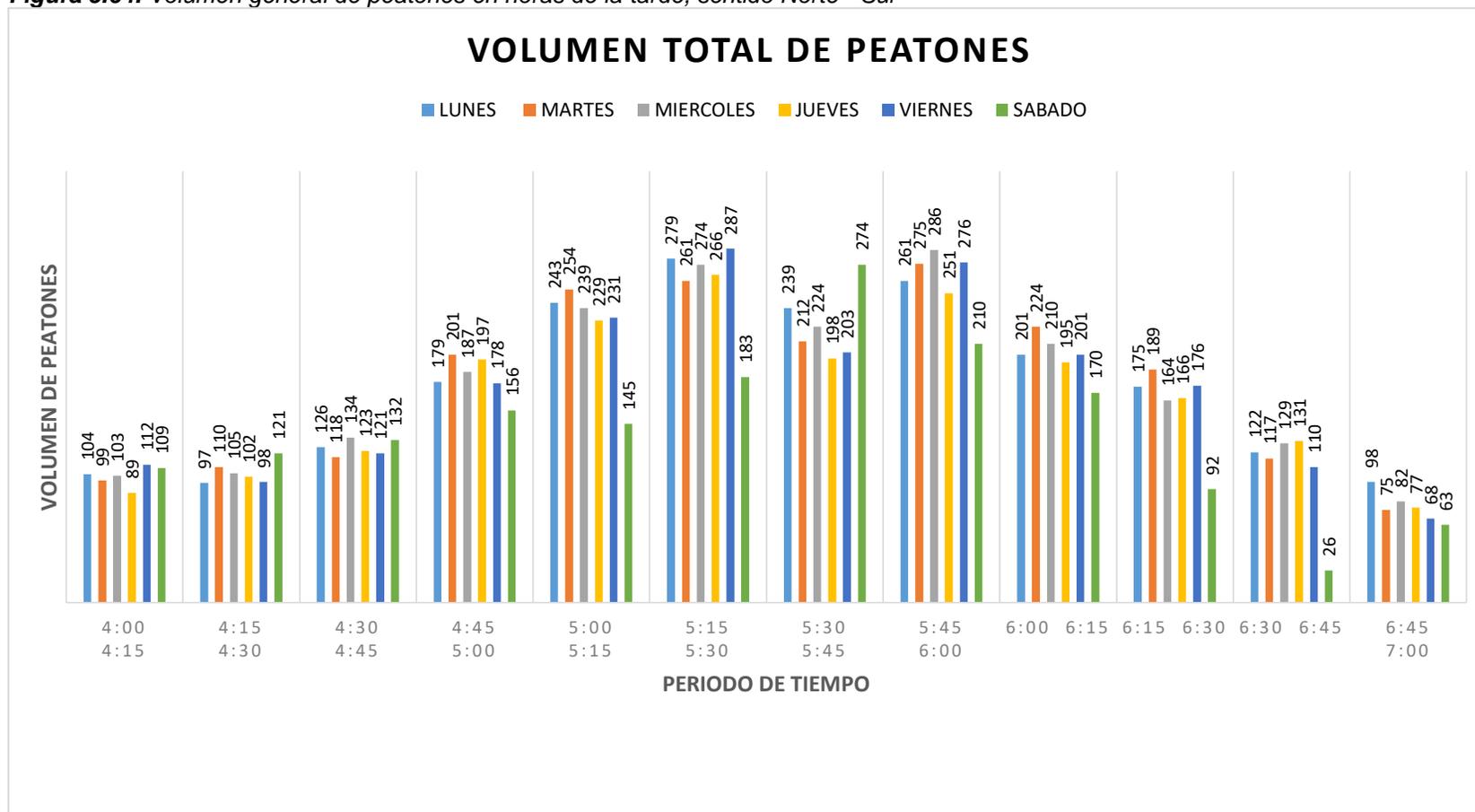
Figura 5.63. Porcentaje diario de flujo peatonal en horas de la tarde, sentido Norte – Sur



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

Para finalizar este numeral se presenta la **figura 5.64**, donde se muestran los resultados obtenidos para el movimiento norte – sur, en el cual analizamos la similitud entre los volúmenes de peatones que realizan el cruce, teniendo en cuenta que el decaimiento para el día sábado no es muy relevante cuando se analizan los totales para cada periodo de tiempo.

Figura 5.64. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido Norte - Sur



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.4. VOLÚMENES DE PEATONES INFRACTORES

Este numeral se crea a partir de la ejecución de los aforos, al realizar esta actividad, se evidencia un alto flujo de peatones que realizan un cruce no permitido, en ocasiones exponiendo su vidas. Dicho movimiento se realiza por querer ahorrarse unos segundos de tiempo, segundos que deben esperar para un cambio de luz verde en el semáforo peatonal, por esta razón se realizaron los aforos para estos peatones infractores con su respectivo análisis de volumen, **y de esta manera tener una consideración en el momento de ejecutar el diseño del túnel peatonal.**

5.4.1. Este – Oeste (4)

Los peatones aforados en este movimiento, son aquellos que provienen de la carrera 10 y se dirigen hacia la estación de Transmilenio, en la **tabla 5.21** y la **figura 5.65** se muestran los datos obtenidos a partir de los aforos y su comportamiento.

5.4.1.1. Jornada diurna

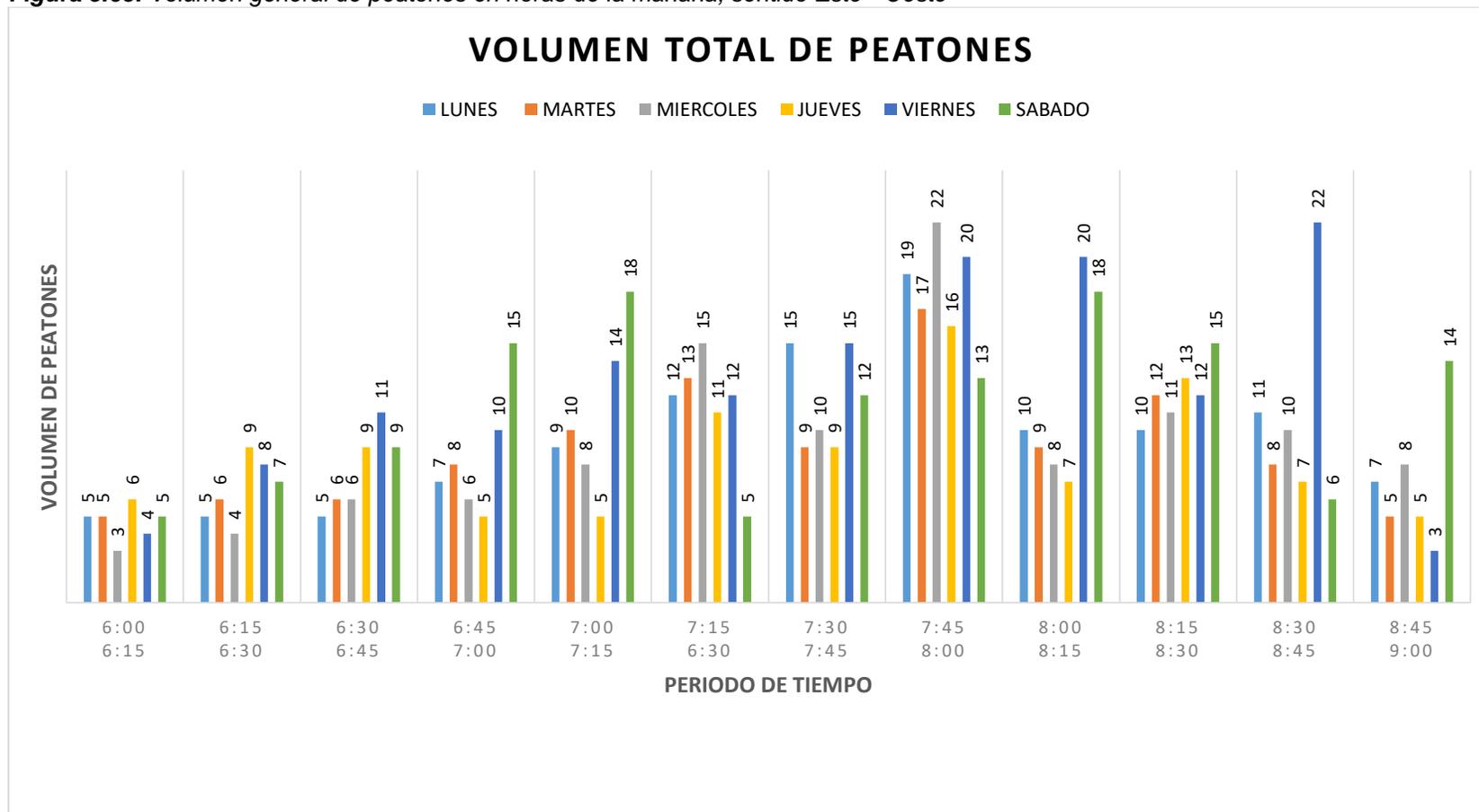
Tabla 5.21. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Este - Oeste

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
6:00 - 6:15	5	5	3	6	4	5	28
6:15 - 6:30	5	6	4	9	8	7	39
6:30 - 6:45	5	6	6	9	11	9	46
6:45 - 7:00	7	8	6	5	10	15	51
7:00 - 7:15	9	10	8	5	14	18	64
7:15 - 6:30	12	13	15	11	12	5	68
7:30 - 7:45	15	9	10	9	15	12	70
7:45 - 8:00	19	17	22	16	20	13	107
8:00 - 8:15	10	9	8	7	20	18	72
8:15 - 8:30	10	12	11	13	12	15	73
8:30 - 8:45	11	8	10	7	22	6	64
8:45 - 9:00	7	5	8	5	3	14	42

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

La cantidad de peatones que realizan un cruce indebido, es similar a la de peatones que utilizan los demás cruces permitidos... **numeral 5.2.**

Figura 5.65. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Este - Oeste



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.4.1.2. Jornada nocturna

Para la jornada de la tarde el volumen de infractores crece tanto o igual que los peatones aforados que hacen uso del paso peatonal actual, **tabla 5.22**.

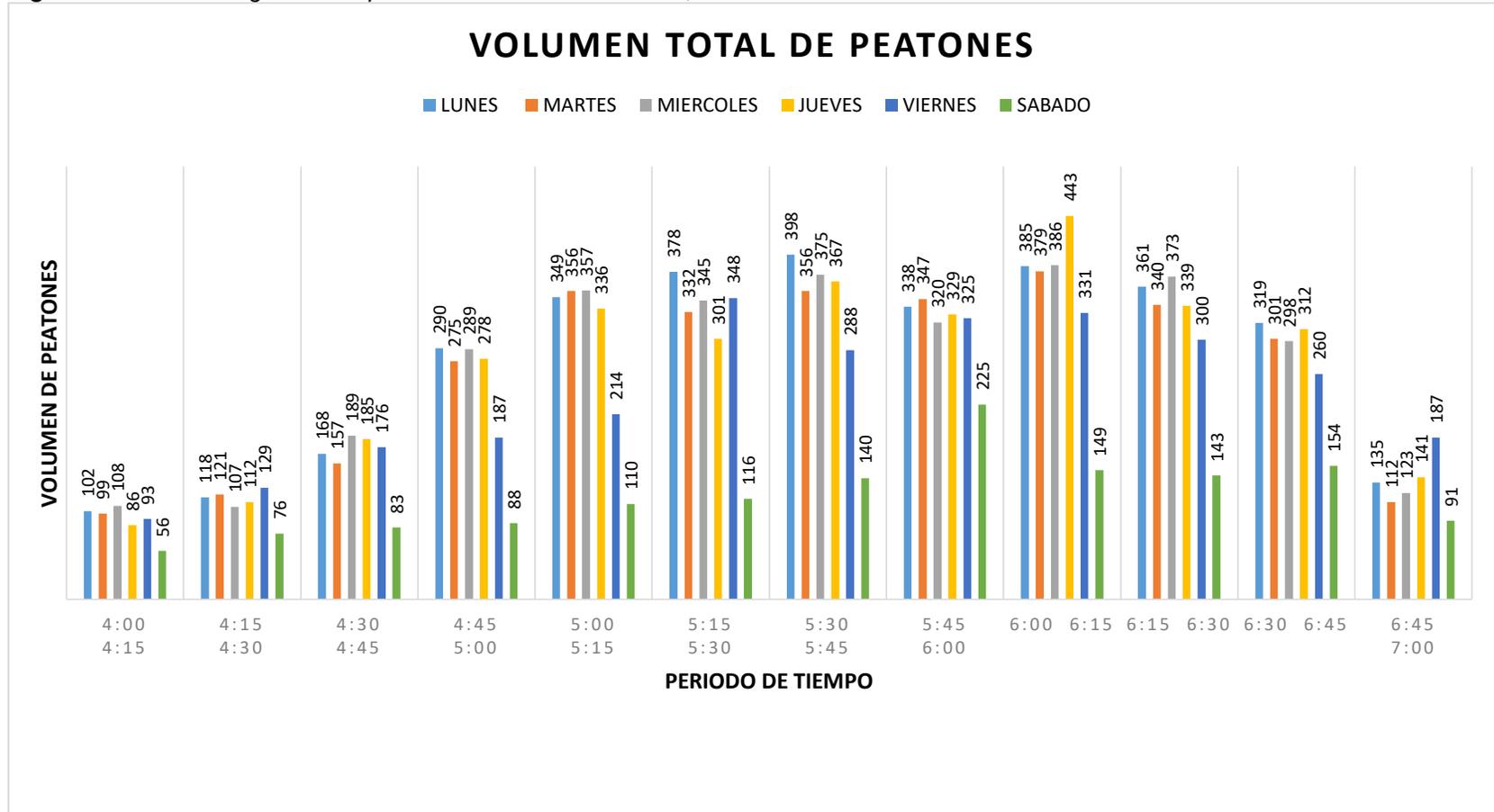
Tabla 5.22. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Este - Oeste

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 P.m.				Hora Final: 7:00 P.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
4:00 - 4:15	102	99	108	86	93	56	544
4:15 - 4:30	118	121	107	112	129	76	663
4:30 - 4:45	168	157	189	185	176	83	958
4:45 - 5:00	290	275	289	278	187	88	1407
5:00 - 5:15	349	356	357	336	214	110	1722
5:15 - 5:30	378	332	345	301	348	116	1820
5:30 - 5:45	398	356	375	367	288	140	1924
5:45 - 6:00	338	347	320	329	325	225	1884
6:00 - 6:15	385	379	386	443	331	149	2073
6:15 - 6:30	361	340	373	339	300	143	1856
6:30 - 6:45	319	301	298	312	260	154	1644
6:45 - 7:00	135	112	123	141	187	91	789

Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

En el siguiente gráfico se presentan los datos de la tabla y los resultados totales por día, **figura 5.66**, lo que es realmente sorprendente y se debe darle pronta solución a estos transeúntes que no sólo exponen sus vidas si no que impiden el flujo constante de los articulados que por allí transitan, estos valores alcanzan los 443 peatones que realizan esta infracción.

Figura 5.66. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido Este – Oeste



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.4.2. Oeste – Este (3)

Este movimiento corresponde a los peatones que salen de la estación de Transmilenio y continúan su recorrido en dirección a la carrera 10, realizando un cruce peatonal no permitido y exponiendo su integridad física.

5.4.2.1. Jornada diurna

Para los peatones aforados, se obtuvieron los datos presentados en la **tabla 5.23**, teniendo en cuenta que a estas horas de la mañana el flujo peatonal tiene un gran crecimiento, se evidencia que para este movimiento los valores no son muy altos, pero teniendo en cuenta de que éste es un paso no permitido, los valores son demasiado altos, pues realmente estas cifras no deberían existir.

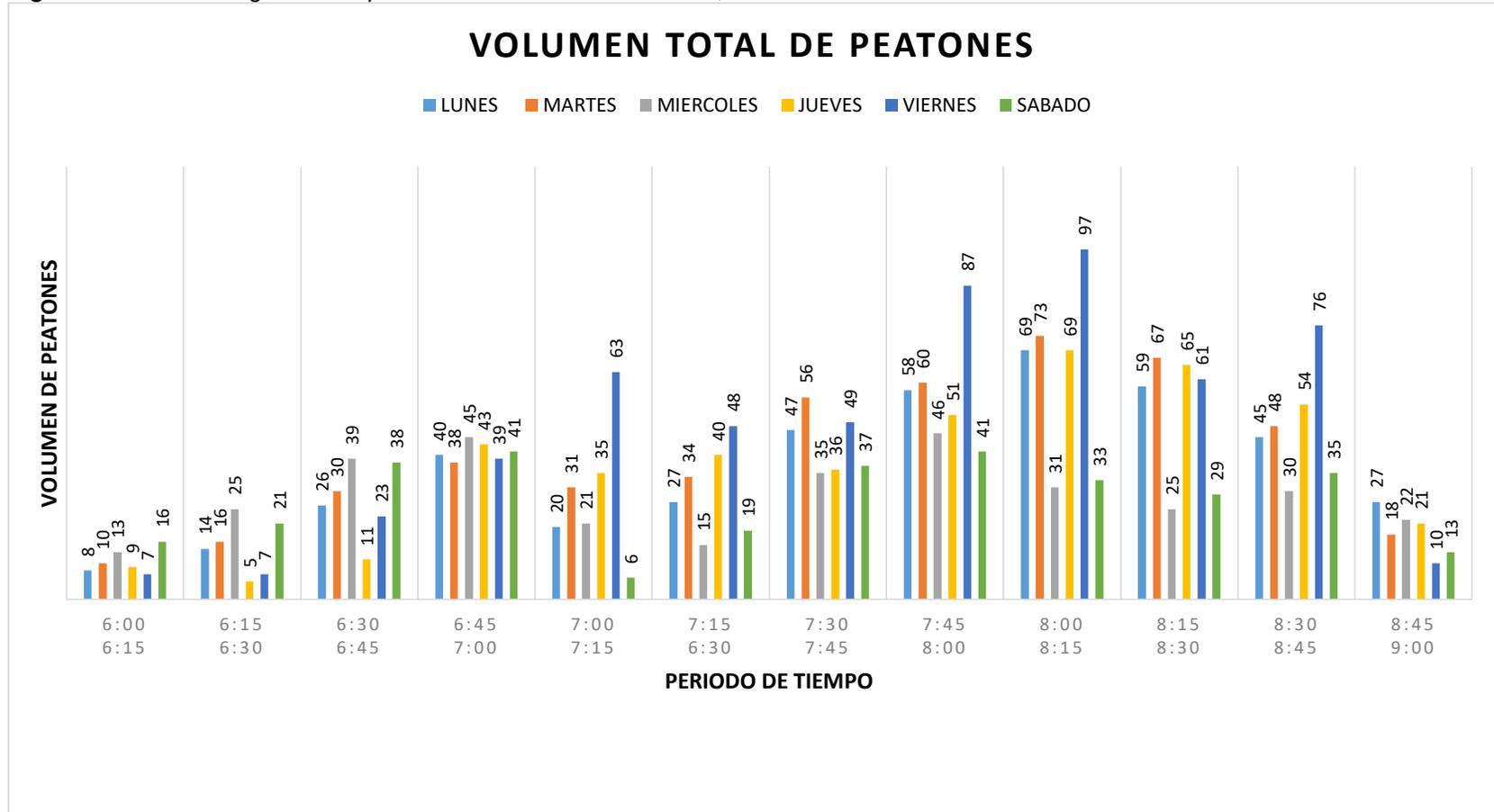
Tabla 5.23. Variación de volumen peatonal en horas de la mañana, sentido Oeste - Este

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 6:00 a.m.				Hora Final: 9:00 a.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
6:00 - 6:15	8	10	13	9	7	16	63
6:15 - 6:30	14	16	25	5	7	21	88
6:30 - 6:45	26	30	39	11	23	38	167
6:45 - 7:00	40	38	45	43	39	41	246
7:00 - 7:15	20	31	21	35	63	6	176
7:15 - 6:30	27	34	15	40	48	19	183
7:30 - 7:45	47	56	35	36	49	37	260
7:45 - 8:00	58	60	46	51	87	41	343
8:00 - 8:15	69	73	31	69	97	33	372
8:15 - 8:30	59	67	25	65	61	29	306
8:30 - 8:45	45	48	30	54	76	35	288
8:45 - 9:00	27	18	22	21	10	13	111

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Para tener una perspectiva clara sobre los infractores que a diario usan este movimiento, se presenta la **figura 5.67**, donde se puede analizar crecimiento entre las 7:45 a.m. y las 8:45 a.m., adicionalmente se muestran los totales de personas que realizan este cruce para cada día de la semana.

Figura 5.67. Volumen general de peatones en horas de la mañana, sentido Oeste - Este



Fuente: Elaboración propia (julio de 2016).

5.4.2.2. Jornada nocturna

Para esta jornada, los flujos disminuyen, por razones similares a las que se han mencionado, y es que para los peatones que llegan al centro de la capital su demanda crece en horas de la mañana, pero como se ha realizado a lo largo de este capítulo; también se realiza un análisis a los datos que se obtuvieron para esta jornada, **tabla 5.24**.

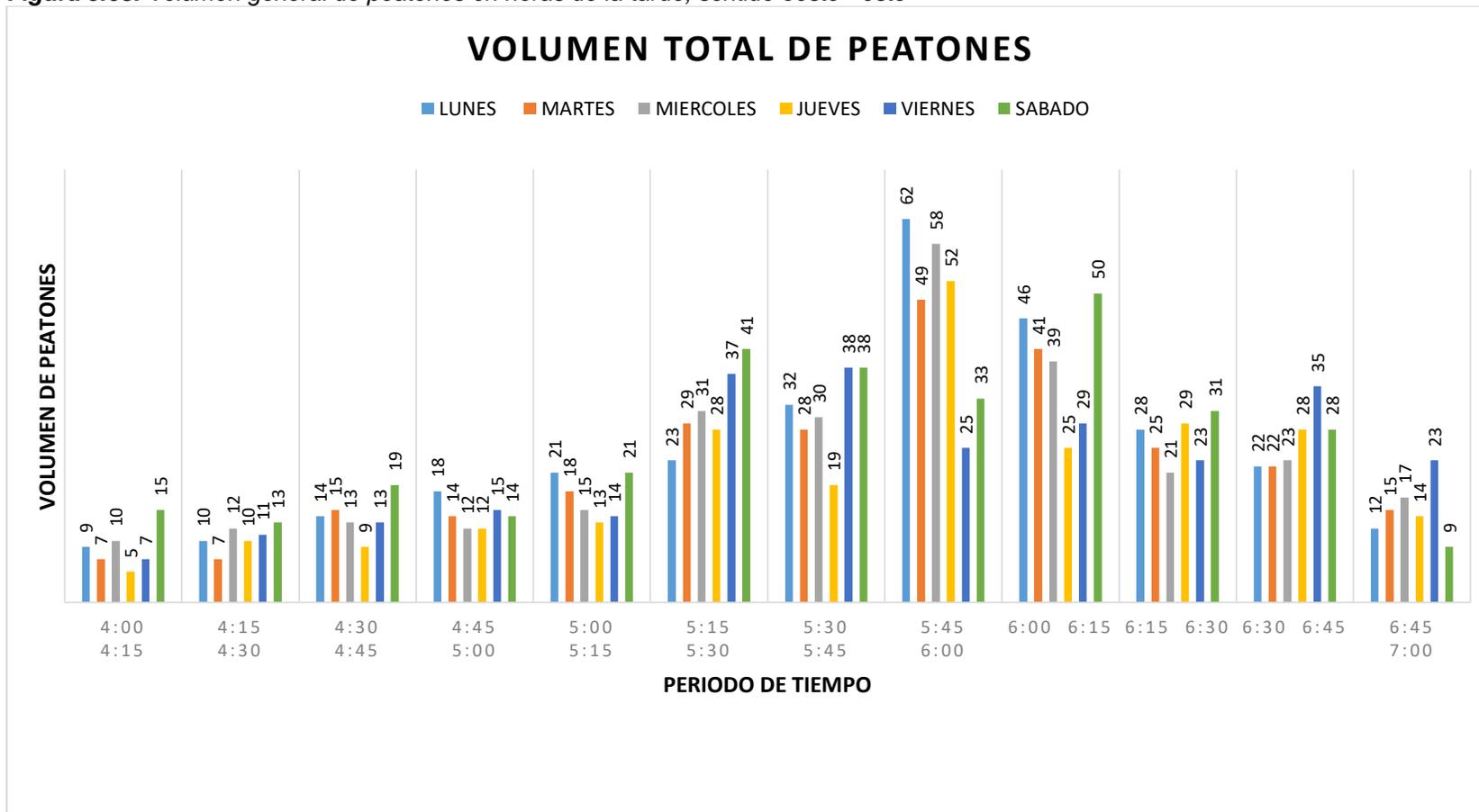
Tabla 5.24. Variación de volumen peatonal en horas de la tarde, sentido Oeste - Este

AFORO PEATONAL							
Fecha: 11 al 16 - Julio - 2016				Intersección: Calle 13 - Carrera 12 Bogotá			
Hora Inicio: 4:00 P.m.				Hora Final: 7:00 P.m.			
Aforadores: Yonalbert Bahamón, Hernán Bonilla							
Hora de Inicio	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	Flujo cada 15 minutos
4:00 - 4:15	9	7	10	5	7	15	53
4:15 - 4:30	10	7	12	10	11	13	63
4:30 - 4:45	14	15	13	9	13	19	83
4:45 - 5:00	18	14	12	12	15	14	85
5:00 - 5:15	21	18	15	13	14	21	102
5:15 - 5:30	23	29	31	28	37	41	189
5:30 - 5:45	32	28	30	19	38	38	185
5:45 - 6:00	62	49	58	52	25	33	279
6:00 - 6:15	46	41	39	25	29	50	230
6:15 - 6:30	28	25	21	29	23	31	157
6:30 - 6:45	22	22	23	28	35	28	158
6:45 - 7:00	12	15	17	14	23	9	90

Fuente: *Elaboración propia (julio de 2016).*

Con respecto a los datos, se presenta la **figura 5.68** para tener una perspectiva gráfica en cuanto a los infractores que realizan estos movimientos en esta zona de la ciudad.

Figura 5.68. Volumen general de peatones en horas de la tarde, sentido oeste - este



Fuente: Elaboración propia (Julio 2016).

5.5. NIVEL DE SERVICIO Y EFICIENCIA DEL PASO EXISTENTE

El nivel de servicio que se le asigna a un cruce peatonal indica las características generales del mismo, teniendo en cuenta las comodidades de recorrido que tiene el peatón, las velocidades con que se puede desplazar y los posibles problemas que se pueden presentar para niveles de servicio inferiores, **tabla 5.25**. En esta sección se determina el nivel de servicio para los cruces regulados semafóricamente ubicados en la calle 13 con carrera 12, la metodología a utilizar se realiza en base al documento presentado por **Bañón Blásquez (1999)**, por otra parte los datos numéricos que se tienen en cuenta para el desarrollo de dicha metodología son obtenidos a partir del libro de **Cal y mayor y Cárdenas (2007)**.

Tabla 5.25a. Condiciones existentes en cada nivel de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
A	Los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones. Se elige libremente la velocidad de marcha, y los conflictos entre los peatones son poco frecuentes.
B	Proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre sí. En este nivel, los peatones comienzan a acusar la presencia del resto, hecho que manifiestan en la elección de sus trayectorias.
C	Existe la superficie suficiente para seleccionar una velocidad normal de marcha y permitir el adelantamiento, principalmente en corrientes de sentido único de circulación. En el caso de que también haya movimiento en sentido contrario, o incluso entrecruzado, se producirán ligeros conflictos esporádicos y las velocidades y el volumen serán menores.
D	Se restringe la libertad individual de elegir la velocidad normal de marcha y el adelantamiento. En el caso de que haya movimientos de entrecruzamiento o en sentido contrario existe una alta probabilidad de que se presenten conflictos, siendo precisos frecuentes cambios de velocidad y de posición para eludirlos. Este nivel de servicio proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, es probable que se produzca entre los peatones unas fricciones e interacciones notables.

Fuente: **Bañón Blásquez (1999)**.

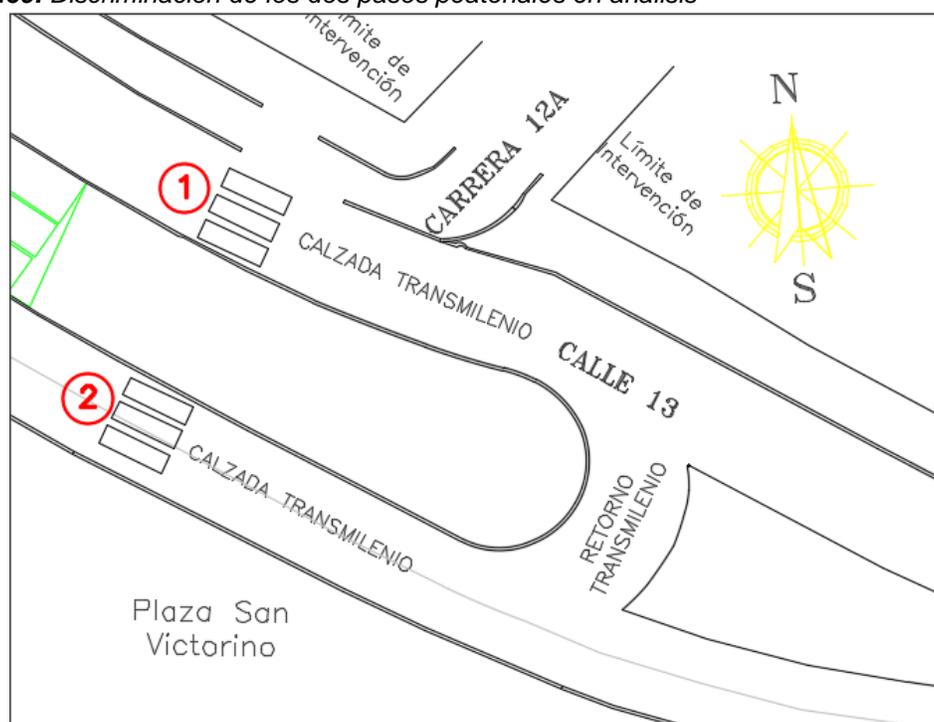
Tabla 5.25b. Continuación de condiciones existentes en cada nivel de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
E	Prácticamente todos los peatones verán restringida su velocidad normal de marcha, lo que les exigirá con frecuencia modificar y ajustar su paso. En la zona inferior de este nivel, el movimiento hacia delante sólo es posible mediante una forma de avance denominada <i>arrastre de pie</i> . No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzamiento sólo son posibles con extrema dificultad. La necesidad de este nivel se identifica con la capacidad de la vía peatonal, lo que origina detenciones e interrupciones en el flujo.
F	Todas las variedades de marcha se ven frecuentemente restringidas y el avance sólo se puede realizar mediante el paso de <i>arrastre de pie</i> . Entre los peatones se produce frecuentes e inevitables contactos, y los movimientos en sentido contrario y entrecruzado son virtualmente imposibles de efectuar. El flujo es esporádico e inestable, y se producen frecuentes colas y aglomeraciones.

Fuente: Bañón Blásquez (1999).

Los cruces peatonales sobre la calle 13, tienen como función encausar el flujo de transeúntes que hace uso de la estación de Transmilenio Av. Jiménez conectándolos con la Cra. 12 o la plaza San Victorino, para realizar dicho análisis se discriminaron los dos pasos peatonales como muestra la figura 5.69.

Figura 5.69. Discriminación de los dos pasos peatonales en análisis



Fuente: Elaboración Propia a partir de [1], (Julio 2016).

En la imagen se muestran los cruces a analizar, asignándole los nombre de 1 y 2; 1 para el cruce que se ubica al costado norte de la calle 13 y 2 para el cruce que se ubica al costado sur de la misma calle. De acuerdo a los aforos realizados y a las intervenciones que se realizaron en campo se determinaron los datos presentados en la **tabla 5.26** y que se explican enseguida.

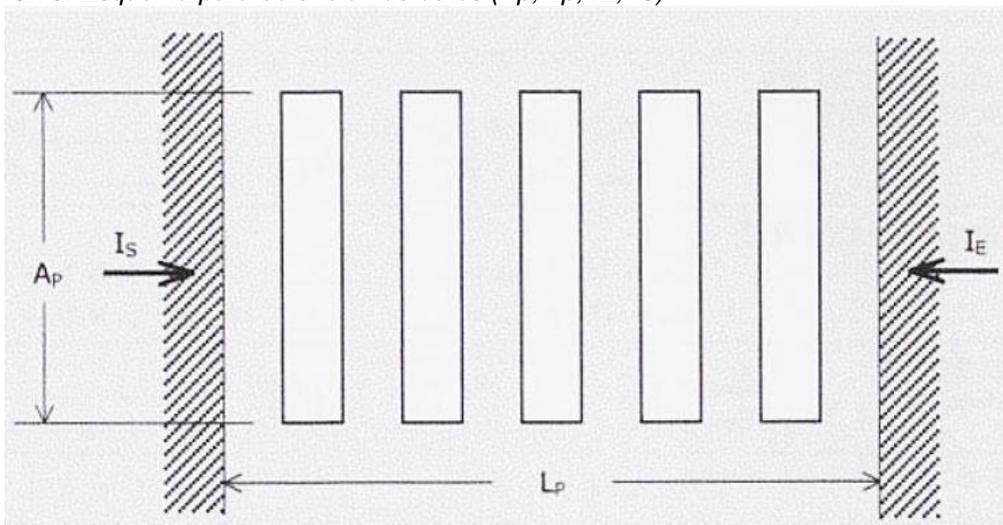
Tabla 5.26. Datos de campo para análisis

N° paso peatonal	1	2
A_p (m)	7,6	7,6
L_p (m)	6,7	6,7
V_p (s)	22	22
R_p (s)	22	22
C (s)	44	44
I_E (pt/C)	18	16
I_S (pt/C)	34	37

Fuente: *Elaboración Propia (Agosto 2016).*

- Ancho y largo de los pasos peatonales (A_p , L_p) en metros, **Figura 5.70.**

Figura 5.70. Esquema para obtención de datos (A_p , L_p , I_E , I_S)



Fuente: *Bañón Blásquez (1999).*

- Reglaje peatonal de semáforos (V_p , R_p , C) en segundos.

Siendo V_p el tiempo que tarda activa la luz verde del semáforo en análisis, R_p el tiempo que tarda activa la luz roja del semáforo y C el tiempo que tarda en realizarse el ciclo semafórico.

- Peatones que incorporan al paso peatonal durante un ciclo semafórico (I_E) en pt/C, **ilustración 5.14**.
- Peatones que se salen del cruce en cuestión durante un ciclo semafórico (I_S) en pt/C, **ilustración 5.14**.

5.5.1. Obtención de tiempo – espacio disponible (TS_p)

Se refiere al espacio disponible durante el intervalo de luz verde que posee el semáforo peatonal, **ecuación 5.1**.

$$TS_p = S_p * \frac{V_p}{60} = A_p * L_p * \frac{V_p}{60} \quad (5.1)$$

Siendo:

TS_p = Tiempo espacio – espacio disponible ($m^2 * min$).

A_p = Ancho del paso peatonal (m).

L_p = Largo del paso peatonal (m).

V_p = Tiempo de luz verde peatonal (s).

En base a la **ecuación 5.1**, se determinó tiempo - espacio disponible para cada paso peatonal:

- Paso peatonal 1, $TS_p = 25,64 m^2 * min$.
- Paso peatonal 2, $TS_p = 18,67 m^2 * min$.

5.5.2. Tiempo medio de cruce (t_p)

Éste es el tiempo que tarda un peatón en realizar el cruce, **ecuación 5.2**, teniendo en cuenta que el paso peatonal analizado está regulado semafóricamente, para este aplica la definición de cruce con presencia de acumulación de peatones, por tal razón la velocidad media obtenida para un peatón que se encuentra en un pelotón es de $1,35 m/s$, según Bañón Blásquez.

$$t_p = \frac{L_p}{V} = \frac{L_p}{1.35} \quad (5.2)$$

Siendo:

t_p = Tiempo medio de cruce (s).

L_p = Largo del paso peatonal (m).

V = Velocidad media del peatón (m/s).

Se determinó el tiempo de cruce para los dos pasos peatonales en análisis y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Paso peatonal 1, $t_p = 6,8 s$.
- Paso peatonal 2, $t_p = 5,0 s$.

5.5.3. Ocupación del cruce (T_p)

Es referente al tiempo total que puede ocuparse el cruce por los peatones que hacen uso de éste, **ecuación 5.3**, se obtiene mediante el producto del tiempo medio de cruce y el número de personas que lo utilizan para cada ciclo semafórico.

$$T_p = (I_E + I_S) * \frac{T_p}{60} \quad (5.3)$$

Siendo:

T_p = Tiempo total de ocupación ($pt * min$).

I_E = Volumen de peatones que entra en el cruce, tomando uno de los extremos como referencia, en un ciclo semafórico ($pt/Ciclo$).

I_S = Volumen de peatones que salen del cruce por dicha acera en un ciclo semafórico ($pt/Ciclo$).

t_p = Tiempo medio de cruce (s).

Los datos que se obtuvieron para los pasos peatonales en cuestión son:

- Paso peatonal 1, $T_p = 6 pt * min$.
- Paso peatonal 2, $T_p = 4 pt * min$.

5.5.4. Nivel de servicio en oleada media

Para determinar el nivel de servicio, previamente se debe calcular la ocupación media, corresponde a la superficie de la que dispone cada peatón al realizar el cruce.

$$\Omega_p = \frac{TS_p}{T_p} \quad (5.4)$$

Siendo:

Ω_p = Ocupación media (m^2/pt).

TS_p = Tiempo espacio – espacio disponible ($m^2 * min$).

T_p = Tiempo total de ocupación ($pt * min$).

Se obtuvieron los siguientes datos de ocupación media para cada paso peatonal analizado:

- Paso peatonal 1, $\Omega_p = 4,34 m^2/pt$.
- Paso peatonal 2, $\Omega_p = 4,28 m^2/pt$

Teniendo los valores para la ocupación media, la determinación del nivel de servicio se hace mediante la **tabla 5.27** que se muestra a continuación:

Tabla 5.27. Niveles de servicio en vías peatonales

	OCUPACION (m ² /pt)	V (m/s)	I (pt/min/m)
A	≥ 5.60	≥ 1.30	≤ 16
B	≥ 3.70	≥ 1.27	> 16
C	≥ 2.20	≥ 1.22	> 23
D	≥ 1.40	≥ 1.14	> 33
E	≥ 0.75	≥ 0.75	> 49
F	< 0.75	< 0.75	Variable

Fuente: Manual de capacidad de carreteras (2000).

Con respecto a la tabla anterior, se obtiene un nivel de servicio **B** para el paso peatonal 1 y 2.

Teniendo en cuenta que éste es un análisis para la ocupación media; el paso peatonal B alcanza a cumplir con un nivel de servicio favorable para los ciudadanos, debido a que su flujo peatonal es relativamente bajo a comparación con el flujo en el paso peatonal 2, por lo que para éste se determina un servicio que ya empieza a generar molestias en los usuarios.

5.5.5. Nivel de servicio en la oleada máxima

El nivel de servicio es importante analizarlo para el máximo caudal de peatones que se pueda presentar en el cruce analizado, teniendo en cuenta los transeúntes de cada dirección. En base a la **ecuación 5.5**, se determina la oleada máxima.

$$Q_{max} = (I_E + I_S) * \frac{(R_E + t_s)}{60} \quad (5.5)$$

Siendo:

$(I_E + I_S)$ = Volumen total de peatones que llegan al cruce por ambos extremos (pt/min).

R_p = Tiempo de rojo peatonal del semáforo (s).

Q_{max} = Máxima oleada (pt).

t_p = Tiempo medio de cruce (s).

Para el análisis de los cruces se obtienen los siguientes resultados en cuanto a la máxima oleada:

- Paso peatonal 1, $Q_{max} = 34$ pt.
- Paso peatonal 2, $Q_{max} = 32$ pt.

Se halla la ocupación media **ecuación 5.5** y se consulta en la **tabla 5.27** el nivel de servicio para máximas oleadas.

$$\Omega = \frac{S_p}{Q_{max}} = \frac{(L_p + A_p)}{Q_{max}} \quad (5.6)$$

Siendo:

Ω = Ocupación media (m^2/pt).

S_p = Superficie total disponible (m^2).

Q_{max} = Máxima oleada (pt).

Se obtienen los siguientes resultados para la ocupación media en oleadas peatonales.

- Paso peatonal 1, $\Omega = 2.05 m^2/pt$.
- Paso peatonal 2, $\Omega = 1.57 m^2/pt$.

Con lo que se obtiene un nivel de servicio **D** para los pasos peatonales analizados.

A partir de la **tabla 5.25**, se determina que los pasos peatonales analizados no tienen un nivel de servicio cómodo para los peatones en el momento de presentarse los caudales máximos, haciendo que su velocidad promedio de recorrido disminuya sin opción de adelantar en el pelotón; con esta definición se confirma que el actual paso peatonal ubicado en la calle 13 con carrera 12 no tiene capacidad para satisfacer su alta demanda.

5.6. PROYECCIÓN POBLACIONAL

Con el objetivo de entregar un pre-diseño de túnel peatonal confortable y que cumpla con todos los parámetros de aceptación para el peatón, en este numeral se estima la proyección del **flujo peatonal para 30 años**. Teniendo en cuenta el crecimiento exponencial determinado por el DANE (Departamento Nacional de Estadísticas), **tabla 5.28**.

Para la localidad de Los Mártires, donde pertenece el punto de análisis para el túnel peatonal, la tasa de crecimiento exponencial es 0.63%, pero teniendo en cuenta que este sector de la ciudad tienen un alto índice de población flotante, debido al gran comercio que ésta ofrece, **se optó por tomar como dato de cálculo el valor total de la tasa de crecimiento exponencial 1.50%, correspondiente al crecimiento poblacional de la ciudad de Bogotá**.

A continuación utilizando la tabla 5.28 se realiza una proyección de peatones para cada movimiento aforado, utilizando la **ecuación 5.7** de crecimiento exponencial.

$$M_t = M_0 * e^{rt} \quad (5.7)$$

Siendo:

M_t = Tránsito peatonal a futuro (pt).

M_0 = Tránsito peatonal base (pt).

r = Tasa de crecimiento exponencial (*Adimensional*).

t = Periodo de diseño (año).

Tabla 5.28. Población de Bogotá discriminada por localidades

Localidad	2011	2014	Crecimiento exponencial
	Total Personas	Total Personas	
Usaquén	471.909	490.691	1,30
Chapinero	133.471	138.417	1,21
Santa Fe	103.593	104.749	0,37
San Cristóbal	409.628	411.820	0,18
Usme	382.654	423.650	3,39
Tunjuelito	201.843	203.130	0,21
Bosa	583.056	627.098	2,43
Kennedy	1.019.949	1.060.016	1,28
Fontibón	345.909	370.912	2,33
Engativá	843.722	873.286	1,15
Suba	1.068.932	1.146.366	2,33
Barrios Unidos	233.781	241.032	1,02
Teusaquillo	146.583	151.911	1,19
Los Mártires	97.926	99.792	0,63
Antonio Nariño	108.307	110.027	0,53
Puente Aranda	258.441	261.468	0,39
Candelaria	24.144	24.476	0,46
Rafael Uribe Uribe	377.615	380.362	0,24
Ciudad Bolívar	639.768	675.260	1,80
Total	7.451.231	7.794.463	1,50

Fuente: DANE – SDP, (2014).

En base a la **ecuación 5.7** y teniendo el máximo de los promedios semanales en intervalos de 15 minutos de flujo peatonal, se determina la proyección para un periodo de 30 años, **tabla 5.29**.

Tabla 5.29. Proyección de peatones para un periodo de 30 años

MOVIMIENTOS AFORADOS	Flujo peatonal (pt/min) para el año 2016	Flujo peatonal (pt/min) para el año 2046
Paso 1	70	109
Paso 2	72	113

Fuente: *Elaboración propia* (Agosto 2016).

De acuerdo a las proyecciones obtenidas para el año 2046, se determina el ancho efectivo del túnel peatonal, de esta manera garantizamos un confortable diseño para los ciudadanos que transitarán por la zona. Los cálculos y diseños del túnel peatonal se presentan en el siguiente capítulo.

5.7. PROYECCIÓN VEHICULAR

Stalin Rojas, en el año 2015 indica que el transporte público en la ciudad de Bogotá ha presentado un crecimiento del 5% durante los últimos 10 años, a partir de este comentario se indican las proyecciones para el sistema Transmilenio, **tabla 5.30**. lo anterior teniendo en cuenta que los datos de crecimiento para el sistema son de difícil acceso al público, y que adicionalmente es evidente la situación de dicho transporte público, el cual ya presenta deficiencia en su servicio debido a la gran demanda de usuarios.

Tabla 5.30. Proyecciones de articulados estimadas para un periodo de 30 años

Sentidos aforados	Flujo vehicular promedio en el año 2016 (15min)	Proyecciones para el año 2046 (0.5% anual)
Oeste – Este (3)	16	19
Oeste – Giro en U (10(3))	39	46
Este – Oeste (4)	20	24
Oeste – Giro a la izquierda (7)	14	17

Fuente: *Elaboración propia (Septiembre 2016).*

Las proyecciones estimadas anteriormente se determinan usando la **ecuación 5.7**.

5.8. CONCLUSIONES

- Aunque el pavimento rígido de la Avenida Jiménez se encuentra actualmente en muy buen estado, la señalización horizontal y vertical de la zona está deteriorada y poco visible, teniendo en cuenta que el mantenimiento de éstas es de suma importancia y aún más significativo para un cruce que maneja altos volumen de peatones.
- Durante los aforos realizados para determinar los volúmenes peatonales en el paso semaforizado que está ubicado en el lugar de pre-diseño; se evidenció una gran cantidad de peatones que realizan un cruce no permitido hacia el oriente de la ciudad, estas acciones se llevan a cabo en su mayoría en horas de la tarde y son hechas por personas que intentan ahorrarse unos pocos segundos de recorrido hacia la estación Av. Jiménez.
- Cada uno de los movimientos peatonales permitidos, presentan drásticos cambios de volúmenes peatonales de mañana a tarde. Debido a la naturaleza comercial de la zona; en la mañana los ciudadanos salen de la estación Av. Jiménez hacia los diferentes lugares de interés en la zona y en la tarde realizan un ingreso a dicha estación con el objetivo de dirigirse hacia sus viviendas.
- La cantidad de vehículos aforados para el cruce (7) que pertenece a los vehículos que toman la carrera 12 hacia el norte, demuestra que es una vía vehicular totalmente innecesaria, además, se encuentra obstaculizada por comercio informal y numerosos transeúntes que impiden una adecuada movilidad a los escasos vehículos que toman esta calzada.
- Aunque su número no es muy significativo, se confirmó la presencia de usuarios que requieren la implementación de rampas de ascenso y descenso (bicicletas, personas con discapacidad, coches de bebés, carros ambulantes y de carga, etc.)
- El nivel de servicio del paso peatonal actual (semaforizado) alcanza a ser un eficiente nivel de servicio B para la ocupación peatonal en la oleada media, sin embargo, para una oleada máxima de ocupación de peatones, (muy común en horas pico) su nivel de servicio es D, es decir, existen molestias de tránsito durante la hora pico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. A.C.I PROYECTOS S.A. Localización de sondeos para estudio de suelos. Bogotá D.C.: IDU, 2002. Contrato IDU 504 de 2001
- [2]. BAÑÓN BLÁSQUEZ, Luis y BEVIÁ GARCÍA, Jose Francisco. Manual de carreteras. Alicante: Contratistas de obras S.A., 1999.
- [3]. CAL Y MAYOR, Rafael y CÁRDENAS James. Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. México D.F: Alfaomega, 2007.
- [4]. ROJAS, José. S. (13 de Abril de 2015). Cifras revelan dramática caída de pasajeros en buses en Bogotá. (E. TIEMPO, Entrevistador)
- [5]. SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN BOGOTÁ D.C. Encuesta multiproposito. Boletín 65. Bogotá D.C: Bogotá humana, 2014.
- [6]. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual. Washington D.C: National Research Council, 2000.

6. PRE-DISEÑO DEL TÚNEL PEATONAL

Las tesis de los anteriores capítulos convergen en un capítulo final de pre-diseño en el que se presenta un planteamiento de paso subterráneo y todas las soluciones, beneficios y facilidades que éste confiere. Tales planteamientos avanzan hasta los **límites que circunda un pre-diseño** y a las recomendaciones pertinentes para un posible **diseño**, su desarrollo se fundamenta en las ventajas y eficiencias ofrecidas por un cruce a desnivel ya analizadas... véase **capítulo 3...** y en la demanda peatonal y desorden público actual expuestos... en el **capítulo 5**. Durante el avance del pre-diseño se podrá observar **decisiones complementarias** tomadas por los autores, éstas hacen parte fundamental de una solución integral y suplementaría de un eficiente túnel peatonal.

6.1. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

6.1.1. Compensación de cargas

Para determinar la compensación de esfuerzos, se calculan las cargas que produce la estructura y la carga liberada por el proceso de excavación.

- **Cargas vivas**

Durante el cálculo de las cargas que ejercen los vehículos, en este caso los articulados de Transmilenio; **se opta por el caso más crítico** que se dará en el momento que dos buses se detengan ocupando los dos carriles que contiene la vía de 6,8 m de ancho.

La separación entre ejes de los articulados, se obtiene de las especificaciones técnicas en la página web oficial de VOLVO, los cuales se encuentran separados entre sí de 5,80 a 6,00 m. Dado que el túnel tiene una medida transversal exterior de 6,80 m; **soportaría el peso de 2 ejes simultáneamente por cada articulado.**

- Cargas vehiculares:

$$w_{eje} = 12,5 t$$

$$w_{total} = 12,5 t * 4 \text{ número de ejes en contacto}$$

$$w_{total} = 50 t$$

$$w_{vehicular} = \frac{50 t}{6,8m_{\text{ancho del túnel}}}$$

$$w_{vehicular} = 7,35 t/m$$

- Cargas peatonales (NSR-10):

$$w_{peatonal} = 0,5 \text{ t/m}^2$$

$$w_{peatonal} = 0,5 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} * 6,8 m_{\text{ancho calzada}}$$

$$w_{peatonal} = 3,4 \text{ t/m}$$

$$W_L = 7,69 \text{ t/m} + 3,4 \text{ t/m} = 11,09 \text{ t/m}$$

- **Cargas muertas**

Para determinar la carga que ejerce el túnel sobre el terreno, se dan a conocer las densidades de los materiales a utilizar:

- Concreto reforzado: **2,4 t/m³**
- Refuerzo: **0,0204 t/m** (referente a la masa del arco HEB 100, **figura 6.19**)
- Terreno natural: **1,9 t/m³**
-

- **Peso de la estructura:**

$$w_{estructura} = \text{Area transversal} * 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$w_{estructura} = 7,32 \text{ m}^2 * 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$w_{estructura} = 17,56 \text{ t/m}$$

- **Refuerzo (perfil HEB 100)**

$$w_{Refuerzo} = 19,1 \text{ m de sección} * 0,0204 \text{ t/m}$$

$$w_{Refuerzo} = 0,390 \text{ t}$$

$$w_{Refuerzo} = \frac{0,390 \text{ t}}{0,96 \text{ m}_{\text{espacio entre perfiles}}}$$

$$w_{Refuerzo} = 0,407 \text{ t/m}$$

- **Concreto con refuerzo HEB 100**

$$w_{estr.+refuer.} = 17,56 \text{ t/m} + 0,407 \text{ t/m}$$

$$w_{estr.+refuer.} = 17,967 \text{ t/m}$$

- **Losa de pavimento rígido**

$$w_{losa} = 0,20 \text{ m}_{\text{espesor}} * 6,8 \text{ m}_{\text{Ancho calzada}} * 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$w_{losa} = 3,26 \text{ t/m}$$

- **Relleno compactado sobre placa superior**

$$w_{relleno comp.} = 0,30 \text{ m}_{\text{espesor}} * 6,8 \text{ m}_{\text{Ancho calzada}} * 2,0 \text{ t/m}^3$$

$$w_{relleno comp.} = 4,08 \text{ t/m}$$

- Terreno sobre placa superior

$$w_{\text{Terreno}} = 1,40 \text{ m}_{\text{espesor}} * 6,8 \text{ m}_{\text{Ancho calzada}} * 1,9 \text{ t/m}^3$$

$$w_{\text{relleno comp.}} = \mathbf{18,09 \text{ t/m}}$$

- Láminas de pre-sostenimiento Bernold

$$w_{\text{estr.+refuer.}} = \frac{0,020 \text{ t}}{0,96 \text{ m}} * 7 \text{ und}$$

$$w_{\text{estr.+refuer.}} = \mathbf{0,146 \text{ t/m}}$$

- Acabados

$$w_{\text{cerámica}} = 0,11 \text{ t/m}^2$$

$$w_{\text{cielo raso}} = 0,025 \text{ t/m}^2$$

$$w_{\text{barandas}} = 0,017 \text{ t/m}$$

$$w_{\text{acabados}} = \frac{(w_{\text{cerámica}} * 10,9 \text{ m}_{\text{piso+paredes}} + w_{\text{cielo raso}} * 6,43 \text{ m})}{6,8 \text{ m}_{\text{anchocalzada}}} + w_{\text{barandas}}$$

$$w_{\text{acabados.}} = \mathbf{0,217 \text{ t/m}}$$

Carga muerta total: corresponde a la carga que ejerce el túnel al terreno por metro lineal de sección

$$w_D = w_{\text{estr.+refuer.}} + w_{\text{losa}} + w_{\text{relleno comp.}} + w_{\text{relleno comp.}} + w_{\text{láminas bernold}} + w_{\text{acabados}}$$

$$w_D = \mathbf{43.76 \text{ t/m}}$$

Sumando los valores de cargas muertas y cargas vivas se tiene una carga total para el proyecto de:

$$w_D + w_L = \mathbf{43.76 \text{ t/m} + 11.09 \text{ t/m}}$$

$$w_D + w_L = \mathbf{54.85 \text{ t/m}}$$

- **Suelo excavado**

Se determina la carga correspondiente al suelo excavado:

$$w_{\text{suelo}} = H_{\text{excavada}} * \text{Ancho}_{\text{calzada}} * 1,9 \text{ t/m}^3$$

$$w_{\text{suelo}} = 5.3 \text{ m} * 6.8 \text{ m} * 1,9 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = \mathbf{68,48 \text{ t/m}}$$

Como las cargas del suelo excavado son bastante superiores a las cargas totales de la estructura propuesta en su estado más crítico; **es necesario que en una etapa de diseño**, se evalué la capacidad portante y los asentamientos, usando como cimentación la **placa inferior del túnel**. De no cumplir este tipo de cimentación será necesario el diseño e implementación de **micro-pilotes**, los cuales son muy frecuentes en túneles de este tipo.

6.1.2. Proceso constructivo

6.1.2.1. Mejoramiento de la carpeta encima del túnel

Las considerables cargas provocadas por los vehículos de Transmilenio que se deberán soportar durante el proceso de excavación, hacen necesario mejorar la capacidad portante del suelo entre la carpeta asfáltica del pavimento rígido en la Cll. 13 y la placa superior del túnel, el cual posee un espesor promedio de 2 metros. Este mejoramiento podrá realizarse mediante inyección de **lechada con material cementante** a lo largo de toda la excavación y en todo el espesor del suelo encima del túnel, dicho procedimiento es conocido como *Jet Grouting*.

6.1.2.2. Pre-sostenimiento

Debido a que el túnel se ubica en una vía troncal en la que transitan buses de Transmilenio, hacer un cerramiento de ésta, afectaría considerablemente la movilización y conexión del centro de la ciudad; por lo que un proceso constructivo a cielo abierto estaría descartado. **Es necesario entonces hacer una excavación mecánica subterránea.** Debido a las características del suelo, el cual puede presentar inestabilidad durante el proceso de excavación, es recomendable un método de pre-sostenimiento.

Existen diferentes métodos que durante el proceso de excavación ofrecen un pre-sostenimiento en avance para diferentes tipos de terreno, tales como: Pipe Jacking, Tunnel Linner, Láminas Bernold, Paraguas o Corona de Jet Gruting, entre otros. De igual forma se puede contar con maquinaria especializada que se encarga de realizar la excavación y el revestimiento simultáneamente como las tuneladoras, entre las cuales existen diferentes referencias especializadas para cada tipo de suelo y de acuerdo a la función que cumplen.

Teniendo en cuenta las características principales del túnel proyectado como: la geometría de la sección transversal, la longitud relativamente corta, el aspecto económico y asequibilidad de recursos, se optó por utilizar el método de pre-sostenimiento **Bernold**, el cual ha sido mencionado en el marco conceptual del presente proyecto.

Se inicia penetrando las láminas Bernold por el perímetro de la sección del túnel, haciendo un pre-sostenimiento, luego se inicia la excavación del túnel propiamente dicho, atacándolo por secciones, para los cuales la bibliografía recomienda el método de sección dividida tales como: alemán, belga entre otros. Para efectos del presente estudio se analizó la posibilidad de utilizar el método alemán, el cual consiste en atacar en primera instancia la parte inferior de la sección en los hastiales, lo cual permite desarrollar el sostenimiento definitivo por los hastiales y continua la excavación del túnel conforme lo ilustra la **figura 6.3**, Se debe tener en cuenta que estas laminas deben tener un traslapo de 0,12m que corresponde a la última onda de la lámina y una inclinación de aproximadamente 3°, que permita la penetración de la siguiente lamina, el avance para el método implementado se

determina a partir del tipo de suelo que se interviene, por lo cual se recomienda realizar un avance de 1 a 2 m teniendo en cuenta la inestabilidad que este presenta, a medida que se realiza el avance, se instalan los perfiles HBE, anteriormente mencionados; los cuales soportaran las láminas de Bernold, estos perfiles deben tener una separación entre 0,96 y 1,02m dependiendo de la dimensión de la lámina. Una vez colocado los arcos metálicos o perfiles HEB, estos se deben unir con pernos o tubos metálico, simultáneamente se realiza el proceso de hormigonado, y se continúa con el avance repitiendo el procedimiento, **figura 6.1**.

Figura 6.1. Avance método Bernold



Fuente: TEDESA (2015.).

6.1.2.3. Excavación

- **Accesos**

Se recomienda usar un sistema de sostenimiento por medio de **tablones verticales** alrededor de las paredes, éstos pueden ser de madera o metálicos, que serán soportados por medio de **vigas horizontales llamadas largueros** y que a su vez son soportados por **puntales** que se extienden a lo largo de la excavación.

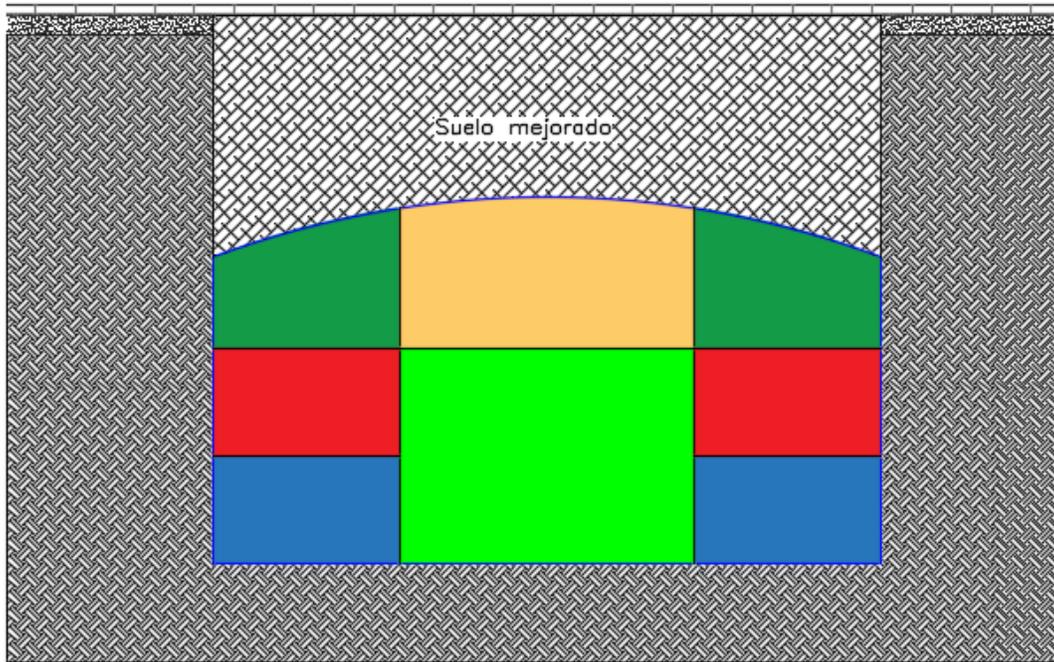
Adicionalmente se recomienda contar con un **sistema de bombeo** durante el proceso de excavación, ya que como se ha venido mencionando, es importante tener en cuenta la posible presencia de agua subterránea, la cual será conducida hacia el alcantarillado más próximo.

- **Sección transversal**

El método alemán es utilizado frecuentemente en suelos poco estables, aunque el tipo de suelo encontrado en la zona de pre-diseño no es malo, **utilizar este proceso sería más conservador**. Este método permite inicialmente la construcción de los hastiales, para que éstos sirvan de apoyo durante el resto de la excavación, las fases de la excavación son las siguientes, (figura 6).

1. Sección transversal inicial **figura 6.2.**

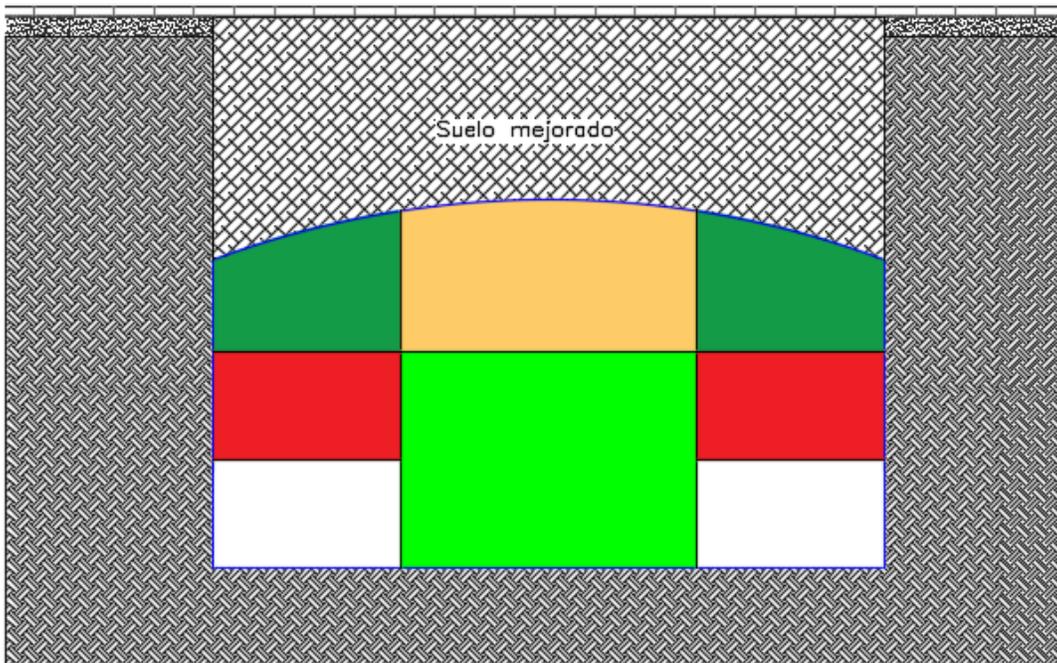
Figura 6.2. Paso 1 del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

2. Excavación de la parte inferior de los hastiales, **figura 6.3.**

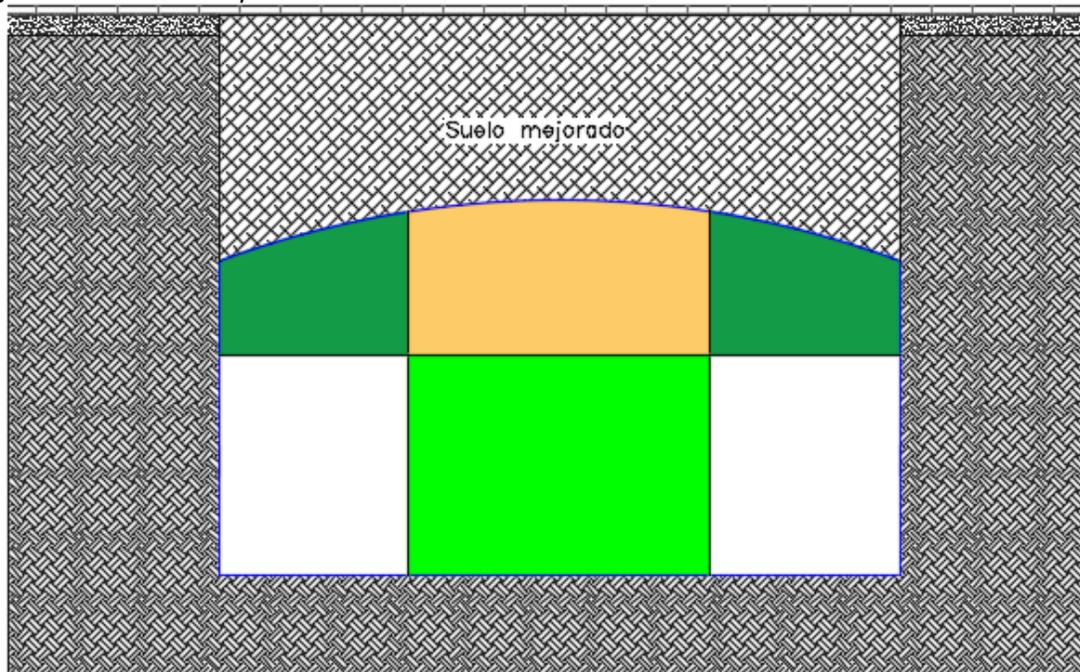
Figura 6.3. Paso 2 del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

3. Excavación de la parte superior de los hastiales, **figura 6.4.**

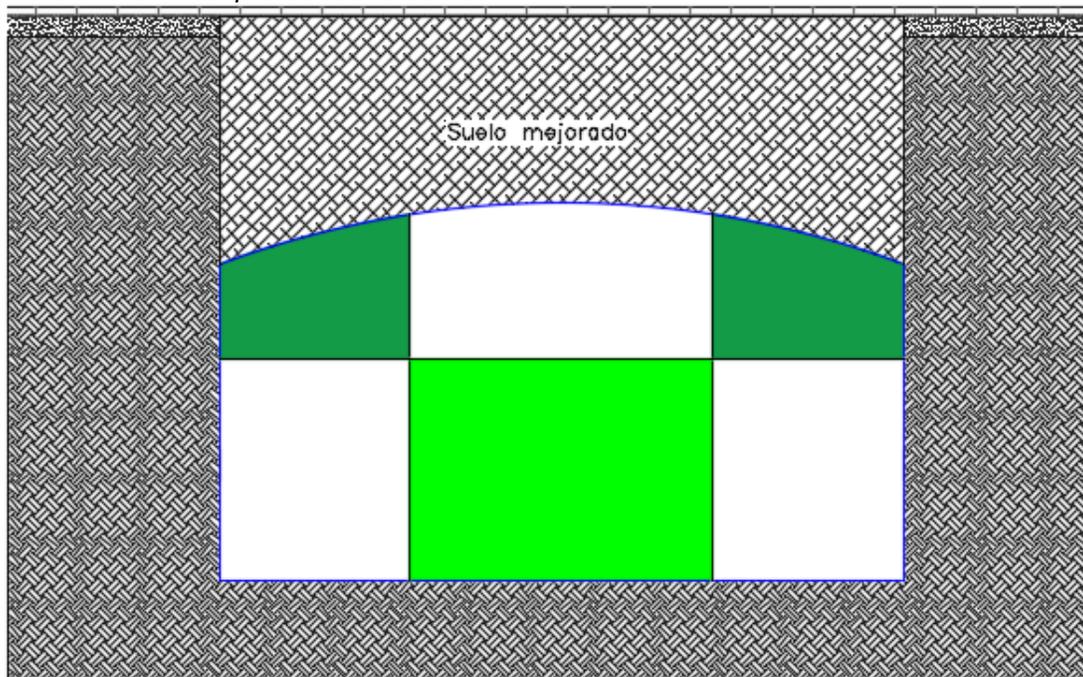
Figura 6.4. Paso 3 del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

4. Excavación de galería en clave, **figura 6.5.**

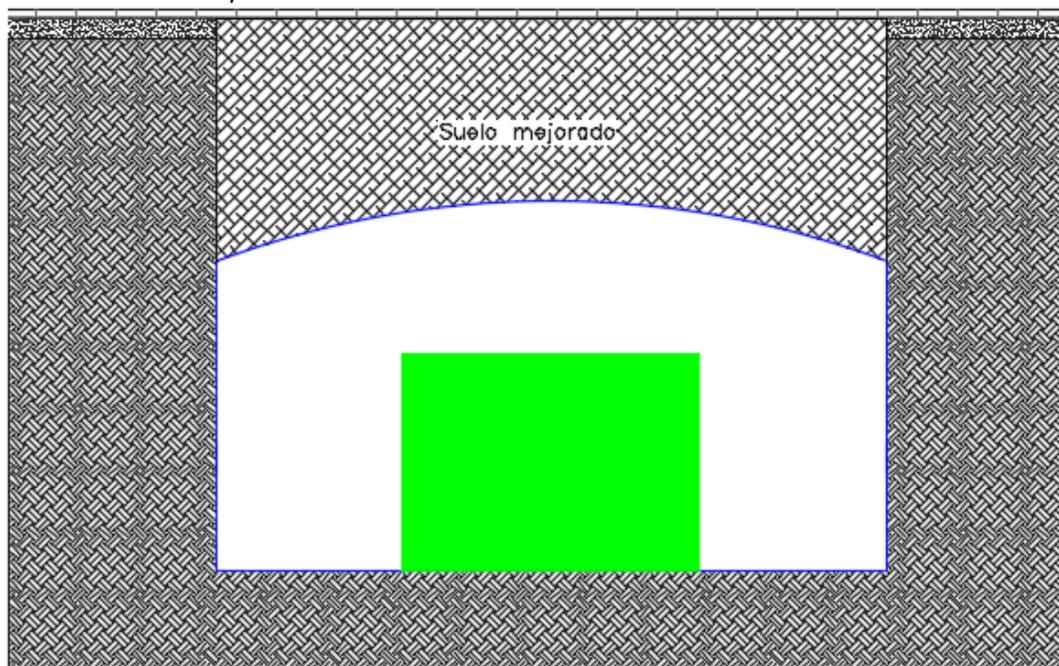
Figura 6.5. Paso 4 del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

5. Excavación de costillas de la bóveda, **figura 6.6.**

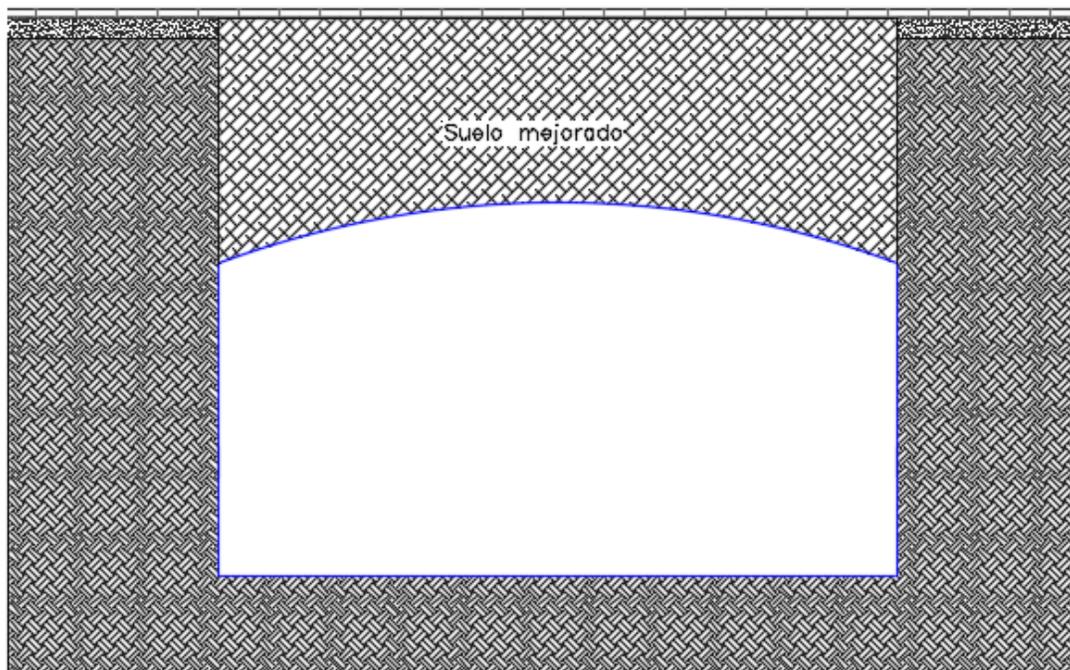
Figura 6.6. Paso 5 del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6. Excavación de contra-bóveda, **figura 6.7.**

Figura 6.7. Paso 6 del proceso constructivo



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

- **Frente de excavación**

En terrenos inestables, la estabilización del frente de excavación se hace necesaria por seguridad de los operarios, debido a la posibilidad de derrumbe del mismo hacia el interior del túnel. Existen diversos métodos entre los cuales están:

- Machón central: consiste en escavar la parte superior del frente, dejando un macho con aproximadamente una inclinación de 45°, este funciona como estabilización soportando los empujes del frente.
- Bulones del frente: es utilizado como estabilización del frente de excavación tanto en suelos como en rocas alteradas y fracturada, los bulones son barras de acero que se introducen en un orificio perforado en la roca, el cual lleva un mecanismo o pieza que se ancla firmemente.
- Sellado de frente: este método evita el lavado de las juntas y el arrastre de roca suelta, se realiza mediante un lanzado de hormigón sobre el frente de excavación de aproximadamente 3 a 5 cm de espesor, se debe tener en cuenta que en caso de presentar alto nivel freático o suelos muy húmedos, se debe realizar un procedimiento de drenaje.

Teniendo presente las características que del terreno a intervenir, las cuales han sido mencionadas a lo largo de este documento, se optó por el método de **sellado de frente** como método estabilización, es importante aclarar que se debe considerar la presencia de un nivel freático en la zona de excavación, teniendo en cuenta que en los sondeos que se realizaron para el Metro de Bogotá y los cuales se usaron en este proyecto como guía registra un nivel freático.

- **Examine 2D**

Mediante el programa Examine 2D se evaluaron las consecuencias de excavar el túnel a **sección completa** (figura 6.20) utilizando los parámetros geotécnicos hallados... en el **numeral 4.3...** y resumidos a continuación:

- **Descripción del suelo: Arcilla limosa moderadamente firme** un espesor mínimo de 8 m, humedad natural 11-15 %
- **Condiciones a corto plazo:** Se considera una condición inicial no drenada.
 - Peso Unitario: $\gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
 - Ángulo de rozamiento interno: $\varphi = 0^\circ$
 - Resistencia a la compresión no drenada: $C_u = 3,75 \text{ t/m}^2$
 - Resistencia a la compresión simple: $q_u = 7,5 \text{ t/m}^2$
- **Condiciones a largo plazo:** Condición drenada.
 - Peso Unitario: $\gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$
 - Ángulo de rozamiento interno: $\varphi = 29^\circ$

- Para el cálculo de asentamientos elásticos se adopta el módulo de elasticidad longitudinal:

$$E = 550 \text{ t/m}^2$$

Las características del suelo son incluidas como condiciones iniciales en el modelamiento hecho por el programa Examine 2D, **figura 6.8**; obteniendo así las gráficas de los desplazamientos totales causados por la excavación a plena sección, **figura 6.9**.

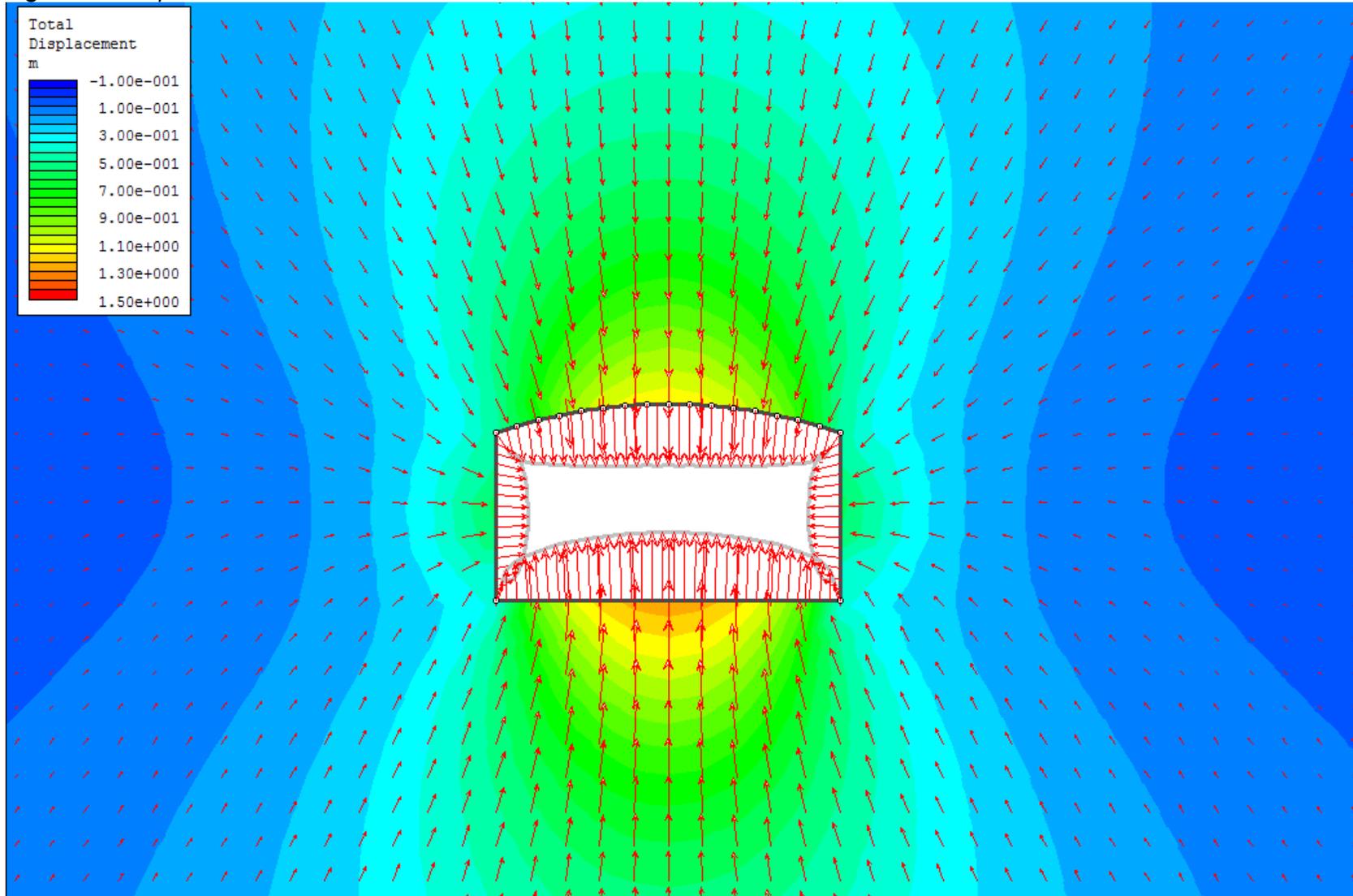
Figura 6.8. Condiciones iniciales Examine 2D

Section	Parameter	Value	Unit
Insitu Field Stress - Constant	Sigma1:	1	MPa
	Sigma3:	1	MPa
	SigmaZ:	1	MPa
	Angle:	0	deg
Rock Mass Strength - Mohr-Coulomb	Tensile Strength	0.1	MPa
	Cohesion:	0.3	MPa
	Friction Angle:	30	deg
Rock Mass Elastic Properties	Em:	5.5	MPa
	Poisson Ratio:	0.25	
Joint Properties	Kn:	0	MPa/m
	Ks:	0	MPa/m

Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

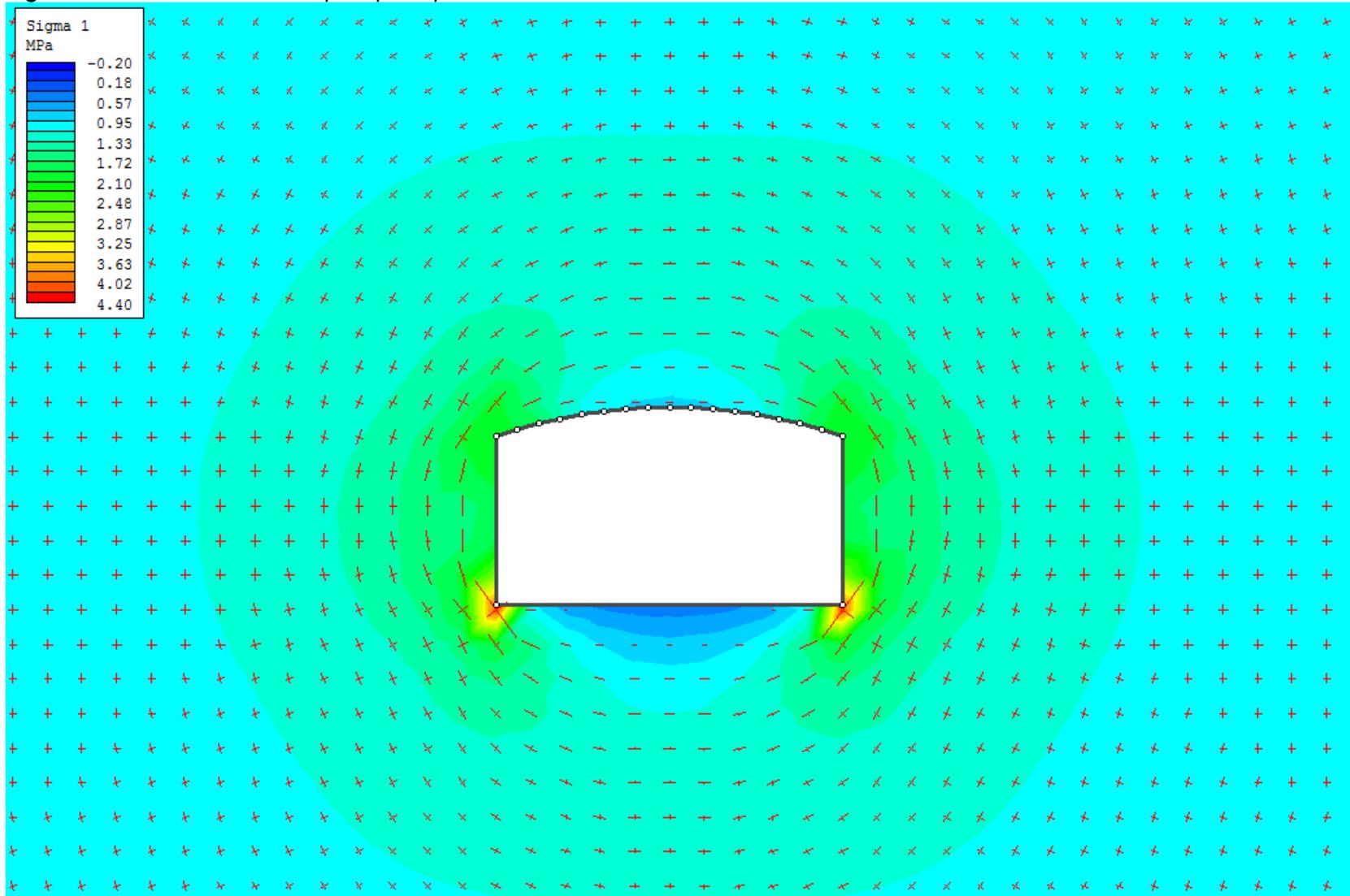
En las **figuras 6.10 y 6.11**, se observan los esfuerzos causados a la geometría y dimensiones de la sección transversal, si bien **no** son muy elevados los esfuerzos aplicados, se puede evidenciar un incremento sustancial de éstos (σ_1 y σ_3) en la parte inferior del túnel, correspondientes a esfuerzos tangenciales a las secciones estructurales. Esta situación puede ser controlada cambiando ligeramente la geometría inferior del túnel, redondeando o suavizando los ángulos de 90° que allí se pueden observar; **siendo una solución que evita el aumento de refuerzo y material necesario para contrarrestar los esfuerzos tangenciales**, a cambio de utilizar una sección transversal más noble con el terreno.

Figura 6.9. Desplazamientos totales durante la excavación



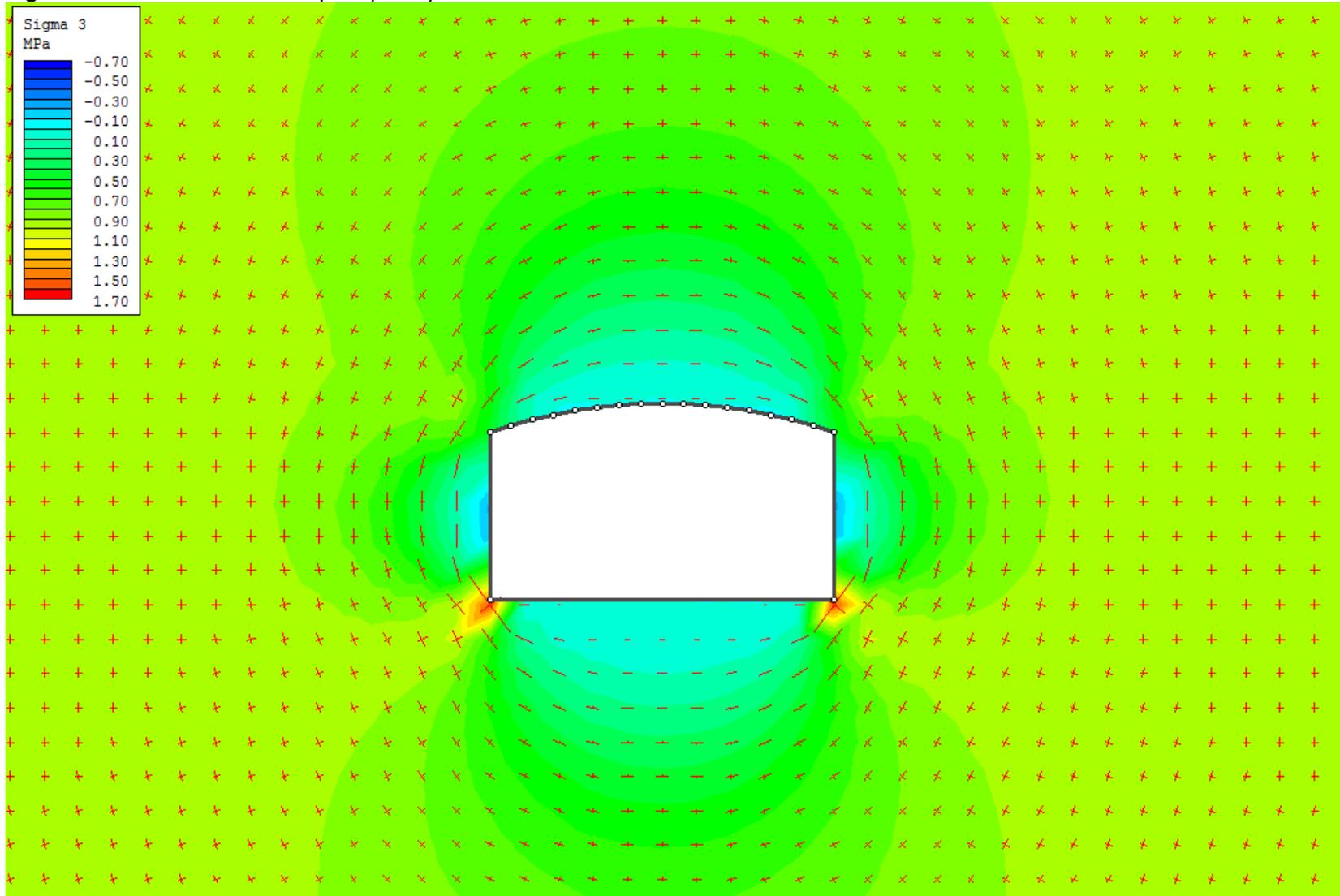
Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Figura 6.10. Esfuerzos máximos principales para la sección transversal del túnel



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Figura 6.11. Esfuerzos mínimos principales para la sección transversal del túnel



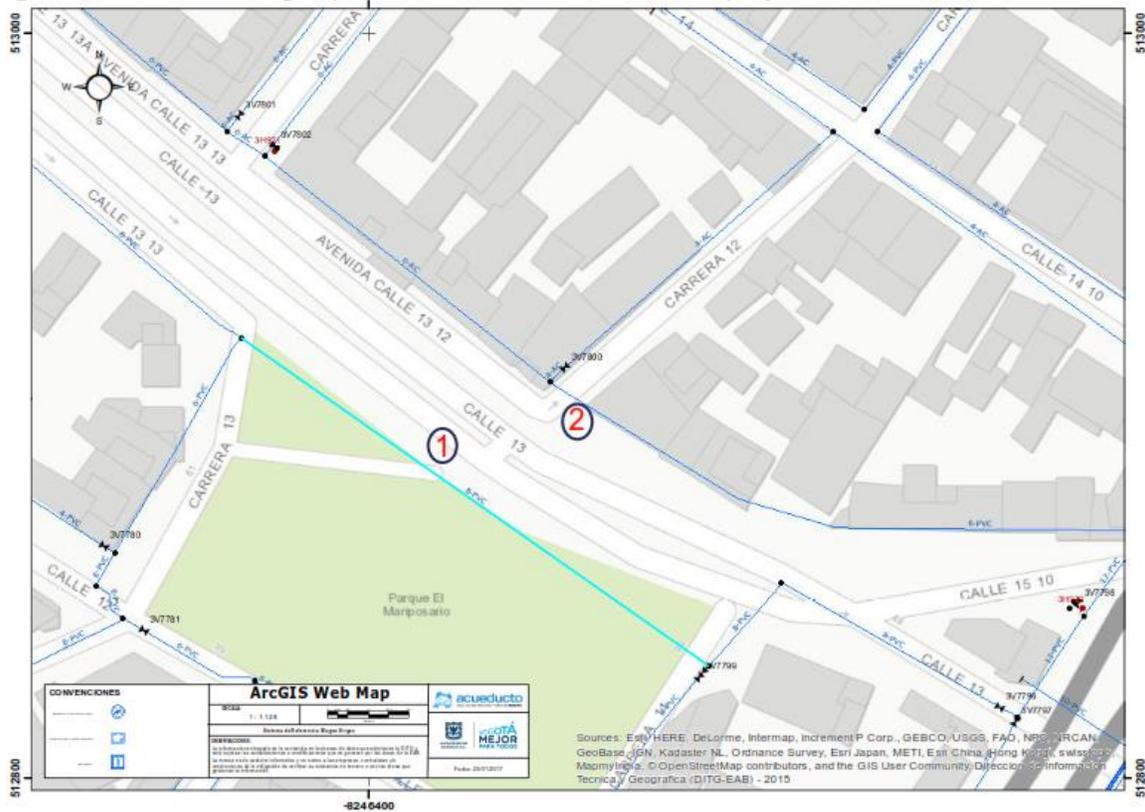
Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.1.2.4. Interferencia con redes de servicios públicos

- Tubería de agua potable

Con respecto a los planos disponibles por la EAB (Empresa de Acueducto de Bogotá), se puede identificar dos redes de suministro de agua potable, las cuales se intervendrán durante el proceso constructivo, dichas redes se enumeran en la **figura 6.12**. Se le asignó el numero 1 a la red que se ubica al sur de la calle 13; esta tubería es de PVC (Policloruro de Vinilo), con un diámetro de 8" y está a una profundidad de 0,43m, la tubería número 2 se encuentra al norte de la calle 13; esta es de PVC (Policloruro de Vinilo), con un diámetro 6" y a una profundidad de 0,43m.

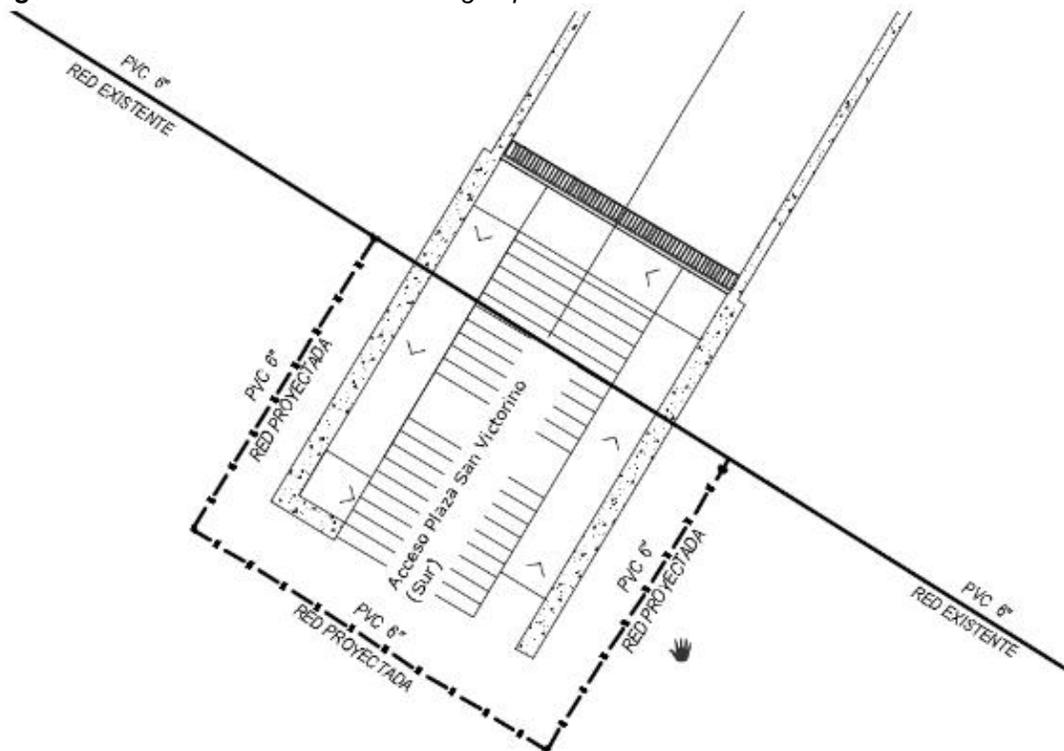
Figura 6.12. Redes de agua potable existentes en la zona del proyecto



Fuente: Sistema de Información Geográfico EAB (2017)

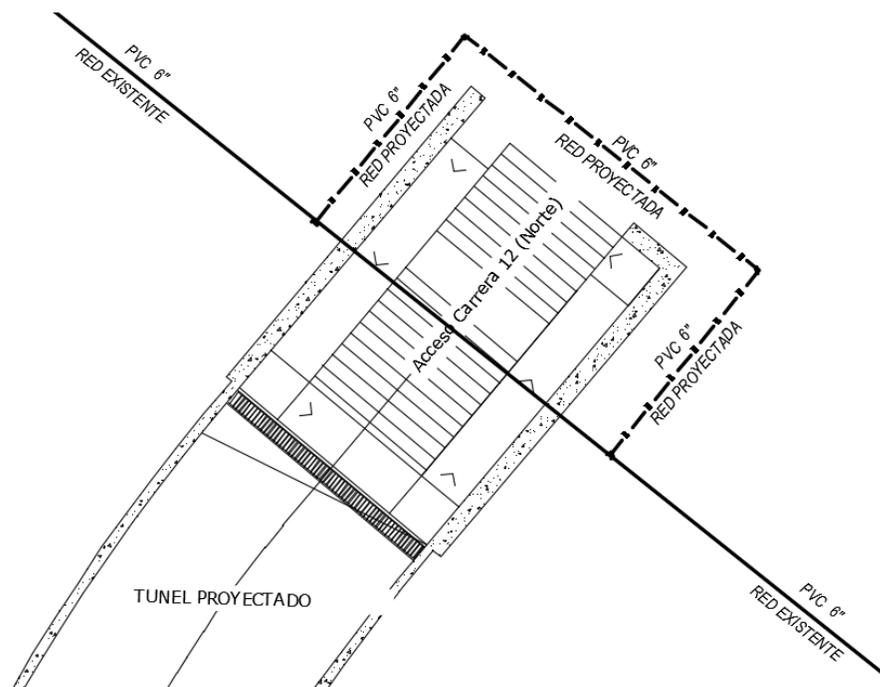
Estas tuberías están exactamente en la posición donde se ubicarán los accesos sur y norte del túnel peatonal, por lo tanto se recomienda un manejo adecuado y la reubicación de éstas, como se muestra en la **figura 6.13 y 6.14** respectivamente para cada acceso.

Figura 6.13. Reubicación de redes de agua potable acceso sur del túnel



Fuente: Elaboración propia (Febrero de 2017).

Figura 6.14. Reubicación de redes de agua potable acceso norte del túnel



Fuente: Elaboración propia (Febrero de 2017).

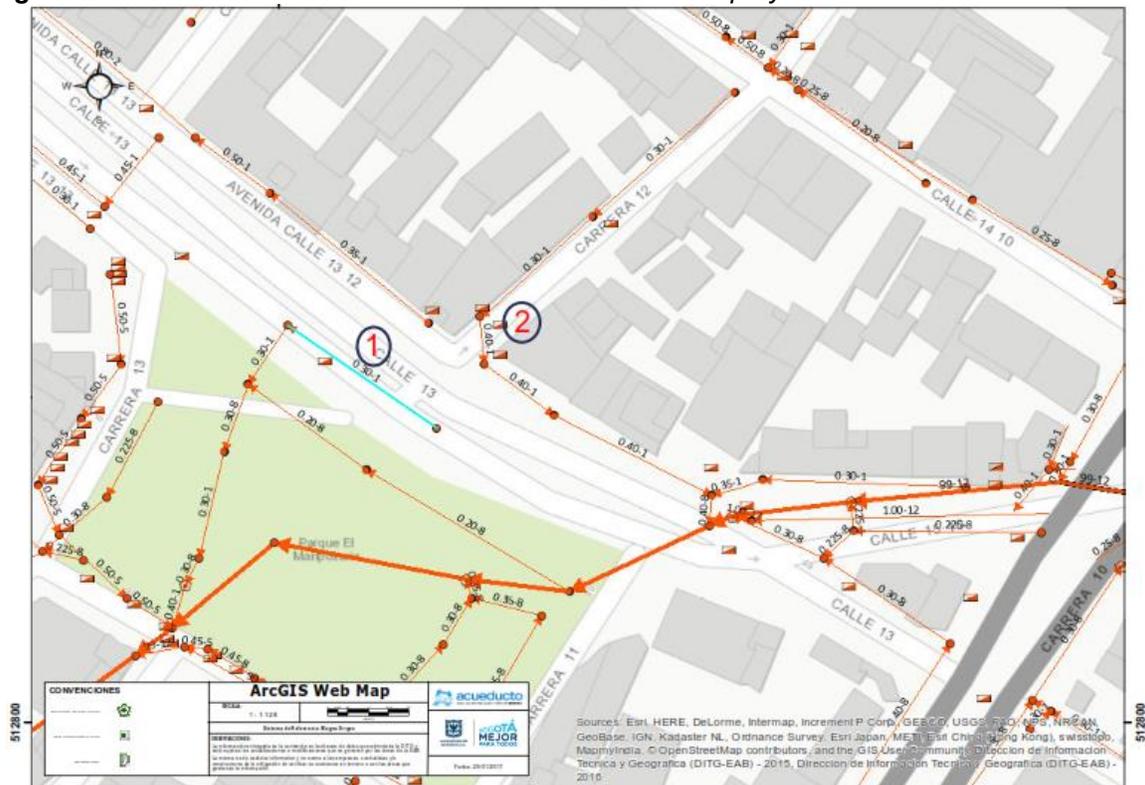
La intervención de estas redes se realiza teniendo en cuenta el código Colombiano de Fontanería (NTC 1500), o el código vigente para el momento de la construcción del túnel, esta norma establece los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de abastecimiento de agua potable.

Se recomienda realizar una reubicación de la tubería, llevando ésta por la parte posterior de los accesos al túnel, esta reubicación se realizara en el momento que se inicie con la excavación de los accesos y se suspenderá el servicio por algunas horas. Para el momento de la construcción lo ideal es que este procedimiento se realice por un ingeniero especialista en hidráulica quien garantice el buen funcionamiento de la red.

- **Tubería de alcantarillado**

La información sobre las redes existente en la zona de estudio se extrae de la EAB (Empresa de Acueducto de Bogotá), en la **figura 6.15** se discriminan las tuberías que durante el proceso constructivo se intervendrán.

Figura 6.15. Redes de alcantarillado existentes en la zona del proyecto



Fuente. Sistema de Información Geográfico EAB (2017)

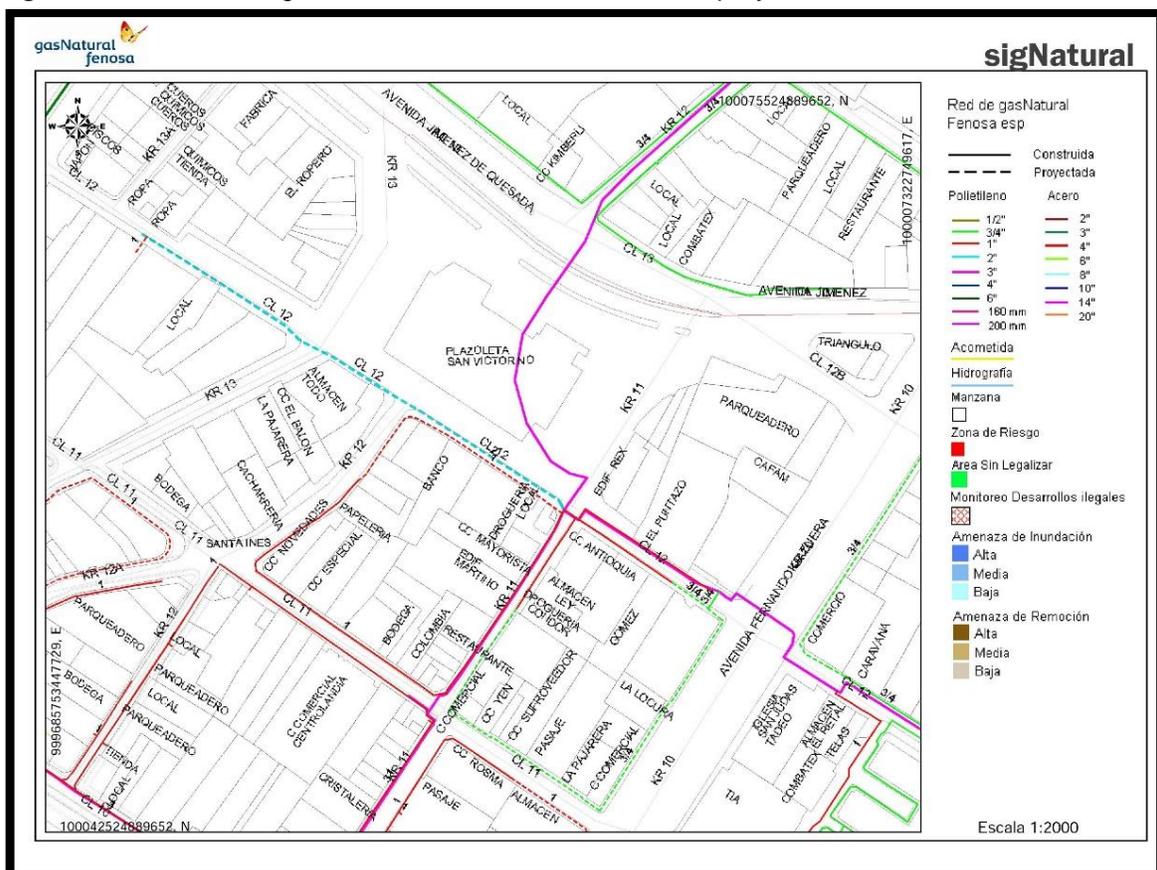
La tubería numero 1 está ubicada bajo la vía de la calle 13 que va de Occidente a Oriente, es un colector de concreto sin refuerzo, está a una profundidad media de 1,09m con pendiente de 1,28% y un diámetro de 12”, la tubería numero 2 está ubicada bajo la carrera 12, es un colector de concreto sin refuerzo, está a una

profundidad media de 1,13m, con pendiente de 3,19% y con un diámetro de 16". En base a estos datos se puede concluir que **la tubería número 1 no será intervenida**, puesto que el túnel está diseñado para tener una profundidad de 1,70 m por lo tanto esta tubería no será afectada durante el proceso, para la tubería número 2 que se ubica exactamente en el acceso norte del túnel en estudio, se propone como solución; **profundizar los pozos de conexión hasta llegar a ubicar la tubería bajo la estructura e implementar un sistema de bombeo que permita continuar con el flujo de las aguas.**

- **Tubería de gas natural**

La información sobre las tuberías de Gas Natural existentes en la ciudad se tomó a partir de la empresa prestadora de este servicio (Gas Natural Fenosa), en la **figura 6.16** está la ubicación de las tuberías que se encuentran en la zona de estudio, determinando cual será intervenida en el proceso de excavación del túnel, se concluye que es la tubería que cruza la calle 13 de norte a sur.

Figura 6.16. Redes de gas natural existentes en la zona del proyecto.



Fuente: Empresa de gas natural FENOSA

La tubería que será intervenida es de polietileno y tiene un diámetro de 3", la profundidad a la que se encuentran las tuberías de Gas natural comúnmente es de

0,50 a 0,60 m, para el proceso de intervención de estas redes se sugiere realizar una reubicación en el punto exacto sobre la carrera 12 en intersección con la calle 13, siendo aquí la ubicación proyectada para el acceso norte del túnel peatonal, se debe tener en cuenta que **el proceso de manipulación de redes las realiza directamente la empresa encargada de prestar el servicio**, para este caso se solicita la reubicación a la empresa de Gas Natural Fenosa, y se debe realizar antes de iniciar el proceso de excavación.

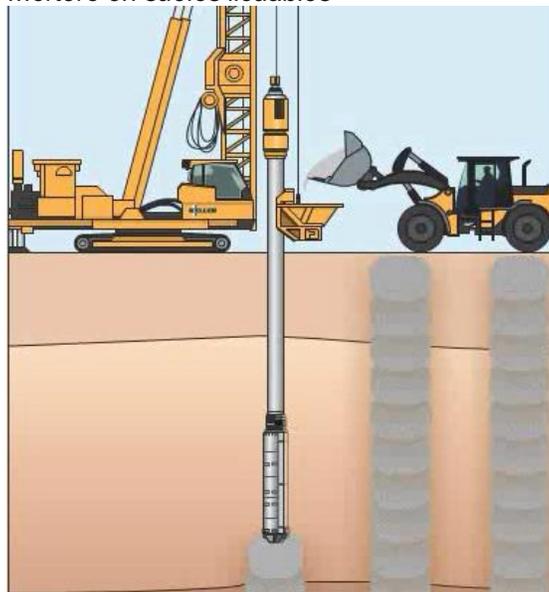
- **Redes de comunicación y electricidad.**

Con respecto a las redes de energía, la empresa CODENSA informó mediante una respuesta a una solicitud de información, la inexistencia de redes subterráneas en la zona de estudio, y en cuanto a las redes de comunicación la información no es veras, pero teniendo en cuenta las visitas al punto de estudio se evidencia cajas de inspección ubicadas en las esquinas noroccidente y nororiente de la carrera 12, que contienen dichas redes, por lo cual se sugiere revisar la ubicación exacta del cableado para intervenir y reubicarlos de manera que no intervenga en el proceso de excavación para el acceso norte del túnel.

6.1.3. Reducción del riesgo de licuación

Como fue evaluado... en el **numeral 4.2.3.3...** por medio de los estudios de suelos para la Primera Línea del Metro de Bogotá, existe susceptibilidad a la licuación en los suelos aledaños al lugar de pre-diseño; por lo que es necesario utilizar métodos de reducción a este fenómeno. Santiago Botana recomienda la **inyección de mortero en suelos licuables** como un método que se puede utilizar para construcciones nuevas o existentes, **figura 6.17**, su función es compactar y aumentar la densidad relativa del suelo, previniendo así el riesgo a la licuación.

Figura 6.17. Inyección de mortero en suelos licuables



Fuente: KELLER (2014).

Considerando la cantidad y la profundidad de suelos licuables que se pueden encontrar en San Victorino, **la inyección de mortero resultaría ser un método apropiado para las necesidades que allí se presentan**, igualmente, se mencionan a continuación algunos métodos alternos que son pertinentes para la prevención de una eventual licuación en la zona:

- *“Inyección para impermeabilización: Llenar los vacíos con una lechada de cemento, silicatos o productos químicos*
- *Pilotes de compactación*
- *Drenaje de agua por bombeo*
- *Ubicar la cimentación debajo de los materiales licuables” [3]*

6.2. PRE-DISEÑO ESTRUCTURAL

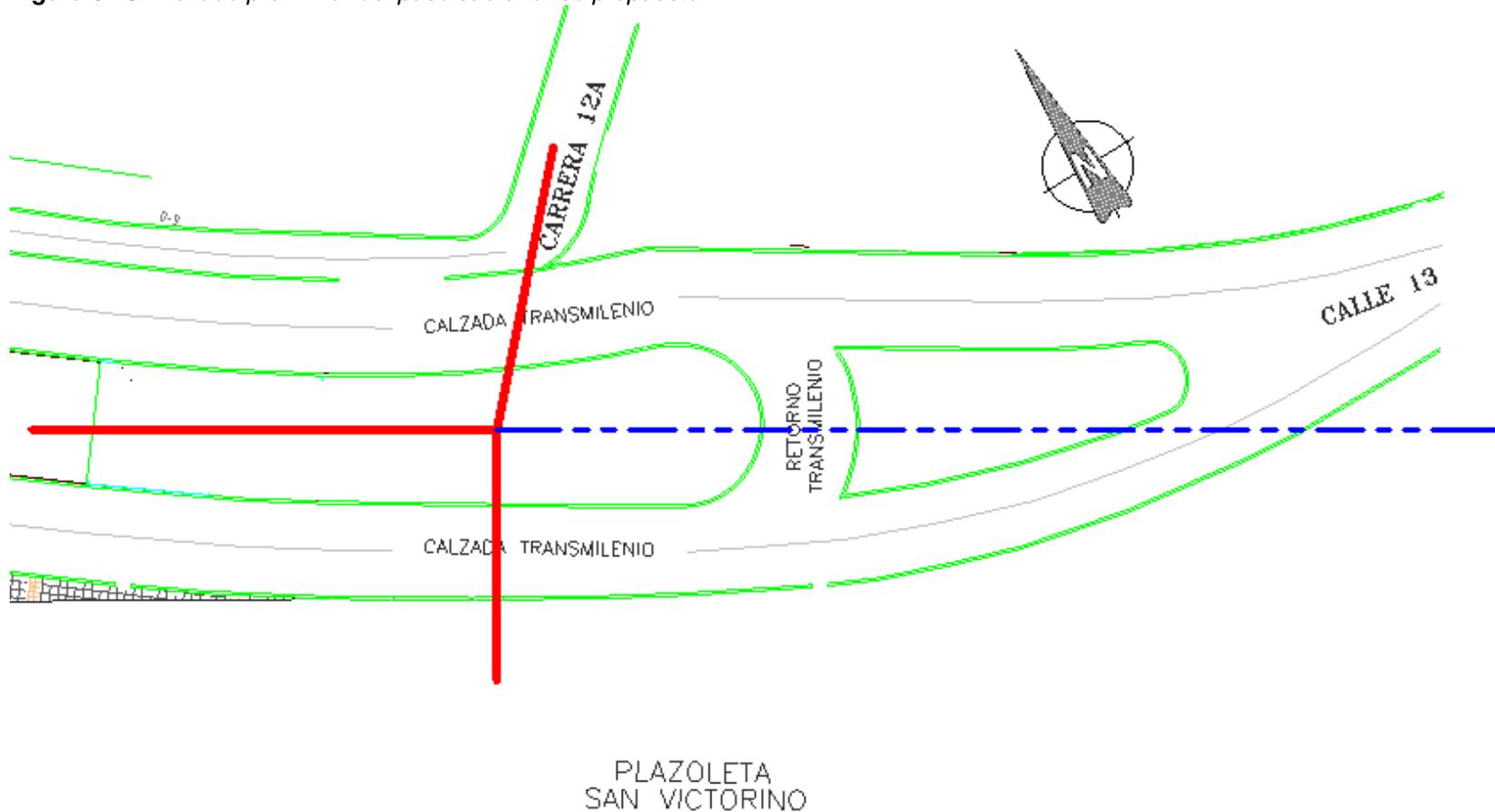
Consiste en el dimensionamiento de los espacios efectivos del túnel para la satisfacción de su demanda y en los espesores y dimensiones básicas de sus componentes estructurales.

6.2.1. Trazado preliminar

La propuesta y trazado del túnel se divide en dos secciones. **La primera:** cuya proyección se realizó desde la justificación inicial del presente proyecto de grado, consiste en un paso subterráneo que conecte la plaza de San Victorino con la calle 12 y la estación de Transmilenio Av. Jiménez; es decir, esta sección suplantaría el cruce de semáforos peatonales allí existentes... **sección 5.5. Su construcción es de gran importancia** para el aumento de la infraestructura subterránea en el país, para la solución puntal a la movilidad vehicular y para la seguridad vial del peatón en este sector. **La segunda sección:** consiste en un tramo complementario cuya entrada es aledaña a la esquina de la Cl. 13 con Cra. 11, su planteamiento se basa en el comportamiento del flujo peatonal analizado durante los aforos, **figura 6.18.**

El trabajo de campo expuso la cantidad de personas que utilizarían la segunda sección del trazado preliminar. La magnitud y el comportamiento de las personas que transitaban por cruces no permitidos se puede observar... en la **sección 5.4...** Aunque debido la construcción del paso subterráneo, los torniquetes de entrada al sistema y las ventanillas de venta de tiquetes tendrán que ubicarse de igual forma en el subsuelo; obligando a los usuarios de Transmilenio a ingresar por alguna de las dos entradas de la primera sección del presente trazado. **Se recomienda la construcción de la sección número dos** del paso subterráneo y se incluye dentro del pre-diseño, ya que con ésta se haría mucho más eficiente el cruce y se aumentaría la predisposición de uso en los ciudadanos.

Figura 6.18. Trazado preliminar del paso subterráneo propuesto



Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (agosto de 2016). La línea gruesa continua representa la sección 1 del trazado preliminar incluyendo la entrada a la estación Av. Jiménez, en una línea punteada se puede observar la sección 2, ambos tramos se conectan en la mita del ancho transversal de la Cll. 13 .

6.2.2. Altura efectiva

A partir de especificaciones mínimas de espacio para pasos peatonales a desnivel presentadas por Megaw y Barlet (1997), se especifica un gálibo libre mínimo de 2,3 m y un ancho libre no menor a 2 m. De igual manera Jerez Castillo (2012) menciona los requerimientos de espacio de acuerdo a las dimensiones corporales de un peatón, en la cual se estipula una altura mínima de 2,1 m.

Teniendo como referencia las alturas de pasos subterráneos ya existentes en la ciudad de Bogotá D.C. y la geometría de diseño de la sección transversal observada en la **figura 6.20**, se opta por una altura libre máxima de **2,85 m** y mínima de **2,3 m**, distancia que cumple con los mínimos establecidos por los autores mencionados anteriormente.

$$H = 2,85 \text{ m}$$

6.2.3. Ancho efectivo

La determinación de un ancho efectivo deriva de la intensidad peatonal proyectada a 30 años (periodo de diseño de la estructura) en el sitio de pre-diseño, **tabla 5.29** y del nivel de servicio escogido bajo criterios del diseñador, **tabla 5.25**. Bañón Blazquez y Beviá García (1999) exponen una metodología para hallar el nivel de servicio en vías peatonales a partir de datos obtenidos en campo (aforos peatonales y dimensiones del paso peatonal existente), como el parámetro a determinar es el ancho efectivo; se realizó el procedimiento inverso de dicha metodología.

6.2.3.1. Peatones por cada 15 minutos $Q_{p,15}$

Corresponde a la cantidad de peatones proyectados para el periodo de diseño, estipulado por el diseñador en intervalos de 15 min para cada una de las 3 vías peatonales. La metodología de proyección de peatones se puede observar... **en la sección 5.6...** y los caudales aforados con su respectiva proyección a 30 años se presentan en la **tabla 6.1**.

Tabla 6.1. Peatones proyectados por cada 15 minutos $Q_{p,15}$

Vía aforada	Caudal peatonal (pt/15 min) año 2016	Caudal proyectado $Q_{p,15}$ (pt/15min) año 2046
1	1057	1652
2	1083	1693
3	393	614

Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.2.3.2. Nivel de servicio

El nivel de servicio escogido de acuerdo a la complejidad del sector y al tipo de usuario que por allí transitarían (ciclistas, carretillas de carga, carros de comercio ambulante etc.) es el nivel **C**, que se utilizarán para las 3 vías peatonales aforadas, en el cual se incluyen los movimientos de cruces no permitidos (infractores), **figura 6.19**.

Figura 6.19. Discriminación de las 3 vías peatonales en análisis



Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (agosto de 2016).

6.2.3.3. Intensidad de los pelotones i_p

A partir de la **tabla 5.27** donde se relacionan los rangos de intensidad peatonal con los niveles de servicio de la vía. Para un nivel “**C**” los valores de intensidad peatonal están entre $(24 - 33) \text{ pt}/\text{min}/\text{m}^2$, se utilizará un valor cercano al tope:

$$i_p = 32 \text{ pt}/\text{min}/\text{m}^2$$

Donde:

pt = Peatones

6.2.3.4. Intensidad unitaria i

Existe una relación lineal entre la intensidad de pelotones (i_p) y la intensidad unitaria (i), determinada experimentalmente por Bañón Blazquez y Beviá García (1999) y representada por la siguiente **ecuación 6.1**.

$$i_p = i + 13,12 \quad (6.1)$$

Despejando i:

$$i = i_p - 13,12$$

$$i = \mathbf{18,88 \text{ (pt/min/m}^2\text{)}}$$

Este valor posiciona la intensidad unitaria en un buen nivel de servicio “B”, ofreciendo comodidad al transeúnte y libertad en sus cambios de velocidad.

6.2.3.5. Cálculo del ancho efectivo A_E

Usando la **ecuación 6.2** empleada para calcular la intensidad unitaria, se obtiene el ancho efectivo.

$$i = \frac{Q_{p,15}}{15 * A_E} \quad (6.2)$$

Despejando A_E :

$$A_E = \frac{Q_{p,15}}{15 * i}$$

Utilizando el valor de intensidad unitaria hallado anteriormente y los caudales de peatones proyectados para las tres vías peatonales, se obtiene la siguiente **tabla 6.2**.

Tabla 6.2. *Anchos efectivos de vías peatonales*

Vía aforada	$Q_{p,15}$ (pt/15min)	i_p (pt/min/m ²)	i (pt/min/m ²)	A_E (m)
1	1652	32	18,8	5,86
2	1693	32	18,8	6,00
3	614	32	18,8	2,18

Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo a los resultados obtenidos se utilizará un valor de $A_E = 6 \text{ m}$ para el ancho de las 3 vías aforadas, teniendo en cuenta que el caudal de infractores en la vía 3 podría aumentar al convertirse en una cruce permitido.

6.2.3.6. Cálculo del ancho total A

Al ancho efectivo obtenido en el numeral anterior es necesario sumarle los anchos de acabados, mobiliario y elementos de fachada que se utilizarán para el túnel peatonal.

- **Acabados**

En el **numeral 6.3.1.1...** se recomienda el uso de acabados impermeables como enchapes de cerámica, los cuales, incluyendo el mortero necesario para su

instalación tienen aproximadamente un **espesor de 3 cm por cada costado del túnel**

- **Barandas**

En el **numeral 6.3.1.5...** puede observarse las dimensiones necesarias para la instalación de barandas, las cuales requieren de un **ancho mínimo de 10 cm por cada costado del túnel**

Una vez determinadas las restricciones que tendrían los peatones durante su tránsito por el túnel peatonal se calcula el ancho total con la siguiente **ecuación 6.2**

$$A = A_E + R_i \quad (6.2)$$

Donde:

R_i = Restricciones

$$A = 6 \text{ m} + (0,03 + 0,03 + 0,10 + 0,10) \text{ m} \quad (6.2)$$
$$A = 6,26 \text{ m} \approx 6,30 \text{ m}$$

6.2.4. Espesores de la sección transversal

Se diseña la placa superior de la sección transversal en forma de arco con radio exterior aproximado de 10,30 m. **Este tipo de geometría distribuye mejor las cargas a los apoyos verticales, facilita el flujo de aguas e impide empozamientos e infiltraciones que meteoricen la estructura**, además, Megaw y Barlett mencionan este tipo de revestimiento como el más utilizado para soportar los esfuerzos del terreno.

Los espesores de la placa superior e inferior y de los muros verticales que hacen parte la estructura, se determinaron a partir de las recomendaciones de la NSR-10 (Norma Sismo Resistente del 2010) como se observa en la figura 6.20, considerando todos sus componentes como losas macizas simplemente apoyadas, se utiliza la **tabla 6.3** para vigas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios. En esta tabla se obtienen espesores más conservadores e ideales, para las grandes cargas vivas vehiculares que debe soportar la estructura, y para las demás necesidades del proyecto.

Tabla 6.3. Espesores conservadores de losas y vigas

Elementos	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

Fuente: Ministerio de Ambiente, Viviente y Desarrollo Territorial (2010).

Utilizando la relación para elementos simplemente apoyados se obtienen los siguientes espesores de la sección transversal:

- Placa superior e inferior

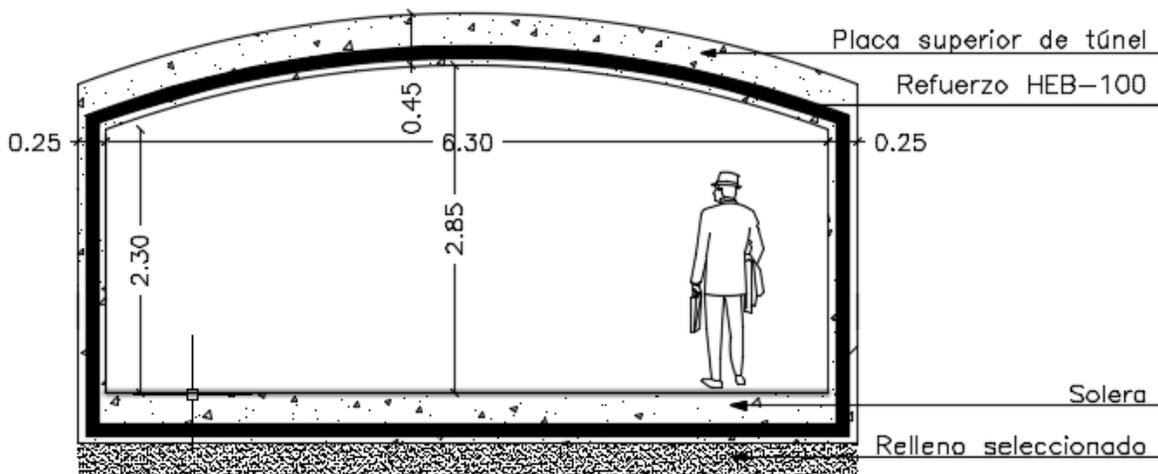
$$\frac{l}{14} = \frac{6,3 \text{ m}}{14} = 0,45 \approx \mathbf{0,45 \text{ m}}$$

- Muros laterales

$$\frac{l}{14} = \frac{2,8 \text{ m}}{14} = 0,2 \approx \mathbf{0,25 \text{ m}}$$

De acuerdo a las cargas dinámicas de gran magnitud y frecuencia causadas por los articulados de Transmilenio que tendrá que soportar la estructura y a la poca profundidad a la que se encuentra la placa superior del túnel, **se recomienda el uso de un perfil de acero tipo HEB-100** como el de la figura 6.21, que lleve la forma de herradura del túnel. Este refuerzo queda a consideración del diseñador estructural, teniendo en cuenta un análisis de resistencia detallado.

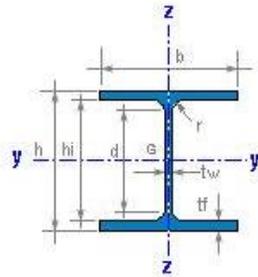
Figura 6.20. Sección transversal del túnel peatonal



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Figura 6.21. Sección transversal del túnel peatonal

HEB 100



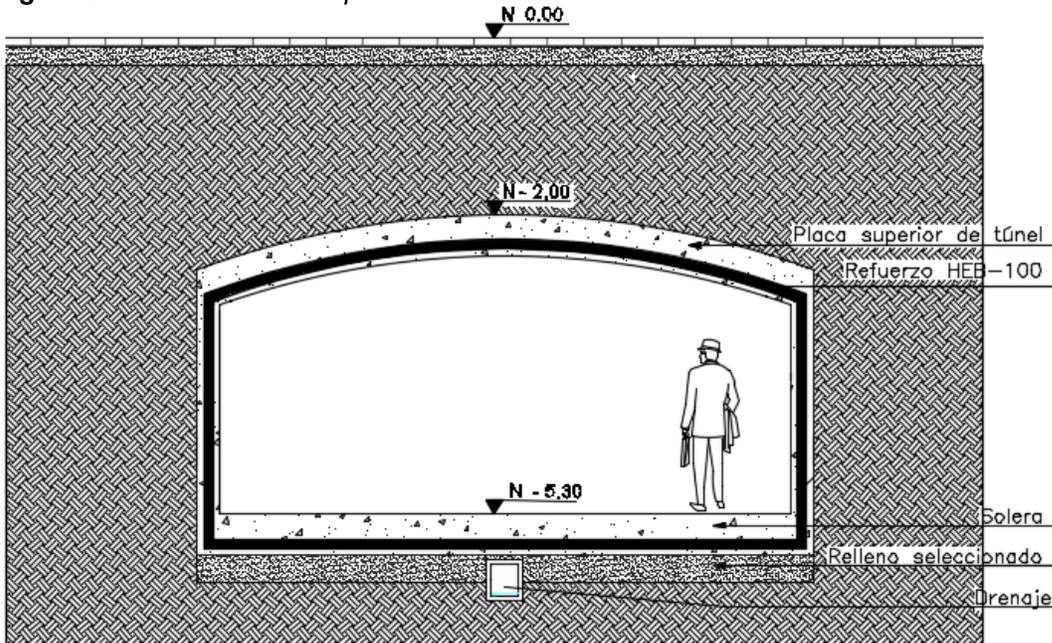
$h = 100 \text{ mm}$	$r = 12 \text{ mm}$
$b = 100 \text{ mm}$	$d = 56.0 \text{ mm}$
$t_w = 6.0 \text{ mm}$	$h_i = 80.0 \text{ mm}$
$t_f = 10.0 \text{ mm}$	
<hr/>	
$A = 26.0 \text{ cm}^2$	$M = 20.4 \text{ kg/m}$
<hr/>	
$I_y = 450 \text{ cm}^4$	$I_z = 167 \text{ cm}^4$
$W_y = 89.9 \text{ cm}^3$	$W_z = 33.5 \text{ cm}^3$
$W_{ply} = 104.2 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 51.4 \text{ cm}^3$
$i_y = 4.16 \text{ cm}$	$i_z = 2.53 \text{ cm}$
$I_t = 9.3 \text{ cm}^4$	$I_w = 3387 \text{ cm}^6$
<hr/>	
$S_y = 52.1 \text{ cm}^3$	$A_{vz} = 9.04 \text{ cm}^2$
$s_y = 8.6 \text{ cm}$	
<hr/>	
$AL = 0.567 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 27.76 \text{ m}^2/\text{t}$

Fuente: **HIERROS MERLE (2016)**.

6.2.5. Nivel de planta inferior

Teniendo en cuenta el dimensionamiento promedio de las estructuras del pavimento implementadas para las vías de Transmilenio, se considera una losa de concreto con espesor de **20 cm** y un espesor para base y sub base de **30 cm**, altura de **15 cm** para las aceras y adicionalmente un espesor de 1,7 m desde la rasante. Con las dimensiones halladas en la sección trasversal del túnel, se obtiene una **profundidad de 5,30 m** desde el nivel más bajo de la placa inferior del túnel, hasta el nivel de aceras, **figura 6.22**.

Figura 6.22. Profundidad del paso subterráneo.



Fuente: *Elaboración propia (septiembre de 2016)*.

6.2.6. Accesos al túnel

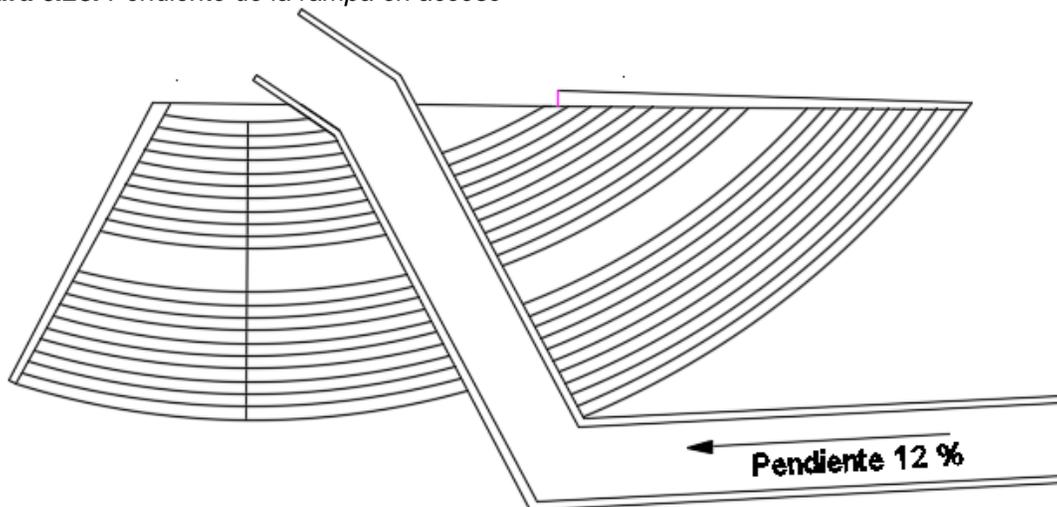
Teniendo en cuenta el trazado preliminar... en el **numeral 6.1.1**... es necesario ubicar 3 accesos hacia el espacio público: 1 en dirección de la carrera 12 y 2 hacia la plaza de la Jiménez, adicionalmente es necesario ubicar un tramo de conexión hacia la estación de Transmilenio Av. Jiménez.

6.2.6.1. Acceso oriental (Av. Jiménez)

Esta salida está destinada para los usuarios del tramo dos del túnel propuesto, su posición cuenta con gran cantidad de espacio disponible, y estará al aire libre, **figura 6.23** Se plantea una **forma inicial de abanico**; para otorgar una debida accesibilidad al volumen de peatones de los movimientos (3) y (4), explicados... en el **numeral 5.5**.

De acuerdo a la las recomendaciones vistas en la NSR-10, título K; las rampas de acceso se trazan bajo una pendiente máxima del 12 % y ancho libre de 2m. Las escaleras de acceso tendrán avance radial con una huella de 35 cm y contrahuella de 18 cm. Este acceso puede observarse con mayor detalle en el **plano 5**

Figura 6.23. Pendiente de la rampa en acceso

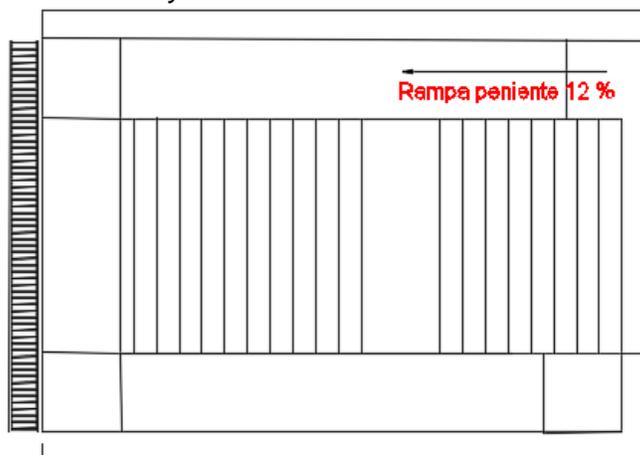


Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.2.6.2. Acceso Norte (Cra. 12) y Acceso sur (Av. Jiménez)

Igual que en la salida oriental; se utilizará también un acceso combinado entre escaleras y rampas, bajo las mismas especificaciones técnicas proporcionadas por las NSR-10, **figura 6.24**. Estos accesos estarán al aire libre y la rampa rodeará las escaleras manteniendo una altura efectiva durante todo el recorrido. Utilizando la **tabla 6.4** para el pre-dimensionamiento del espesor de las placas para escaleras y rampas; se obtiene un espesor conservador de 0,18 m. Este diseño, es utilizado para las salidas sur y norte del túnel peatonal las cuales pueden observarse detalladamente en el **corte A-A' del plano 4**.

Figura 6.24. Vista planta salida sur y norte



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.2.6.3. Conexión con la estación de Transmilenio

El tramo de conexión hacia la estación Av. Jiménez observado en el **corte B-B'** del **plano 4** consiste en una rampa con ancho efectivo de 8,75 m y está separado por; **una sección de transición** que se deriva de la intersección entre la sección 1 y 2 del túnel y **una cubierta** que continúa hasta la estación.

- **Sección de transición**

La sección de transición que conecta con la primera sección del túnel propuesto consiste en un *Box Culvert* con altura libre de 2,3 m y cuya placa superior irá apoyada sobre 3 columnas de sección circular, los espesores de sus elementos serán:

- **Placa superior:** se considera una condición simplemente apoyada y debido a que no soportará cargas considerables; su espesor se obtiene de las recomendaciones de la NSR-10 expuestas en tabla 6.4.

Tabla 6.4. Espesores de losas y vigas

	Espesor mínimo, <i>h</i>			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Fuente: Ministerio de Ambiente, Viviente y Desarrollo Territorial (2010).

$$\text{Espesor} = \frac{l}{20} = \frac{9 \text{ m}}{20} = 0,45 \text{ m}$$

- **Muros laterales:** es adecuado continuar con un espesor de 0,25 m proveniente de la sección transversal del túnel, figura 6.19.
- **Placa inferior:** igualmente se continúa un espesor de 0,45 m proveniente de la sección transversal del túnel, figura 6.19.
- **Columna:** Se ubicarán 3 columnas al inicio, mitad y final de la sección de transición hacia la estación Av. Jiménez, su sección será circular para evitar bordes que presenten algún tipo de riesgo para el peatón:

$$\text{Diametro } \phi = 0,25 \text{ m}$$

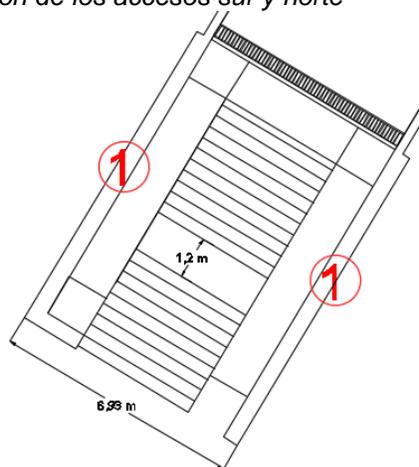
- **Cubierta**

Una vez terminada la sección de transición, **se continuará con una cubierta en vidrio templado y perfiles de acero hasta llegar a la cubierta de la estación Av. Jiménez.** La rampa mantendrá la misma pendiente de 12% y se unirá con el nivel de la plataforma de la estación: Según la página oficial de Transmilenio todas las estaciones se encuentran a una altura de **0.9 m** de la rodadura del pavimento. El tramo de conexión final puede observarse en el corte B-B' del plano 4.

6.2.6.4. Espesores para muros de contención

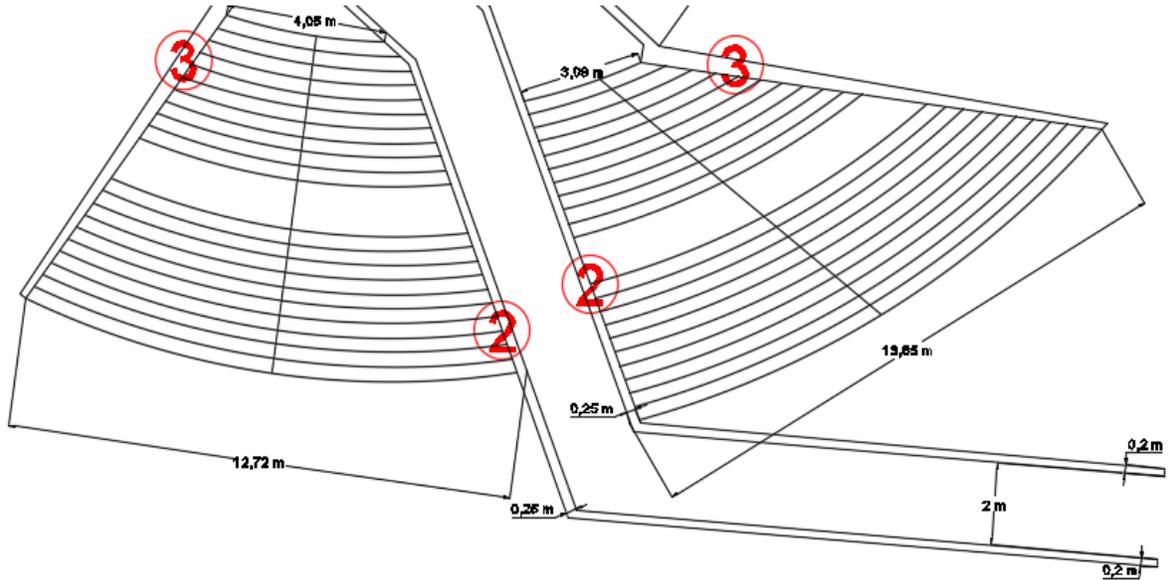
Los muros de contención están diseñados para soportar **los empujes efectuados por el terreno**, estos se implementarán en los accesos a cielo abierto del túnel y su pre-dimensionamiento se basará en las especificaciones proporcionadas por Das, Braja (2012) para muros de contención en voladizo. A partir de las profundidades obtenidas para cada muro de contención se discriminan 4 tipos de muros (**figuras 6.25, 6.26 y 6.27**) distribuidos en los 3 accesos al paso peatonal y en la sección de conexión con la estación.

Figura 6.25. Muros de contención de los accesos sur y norte



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

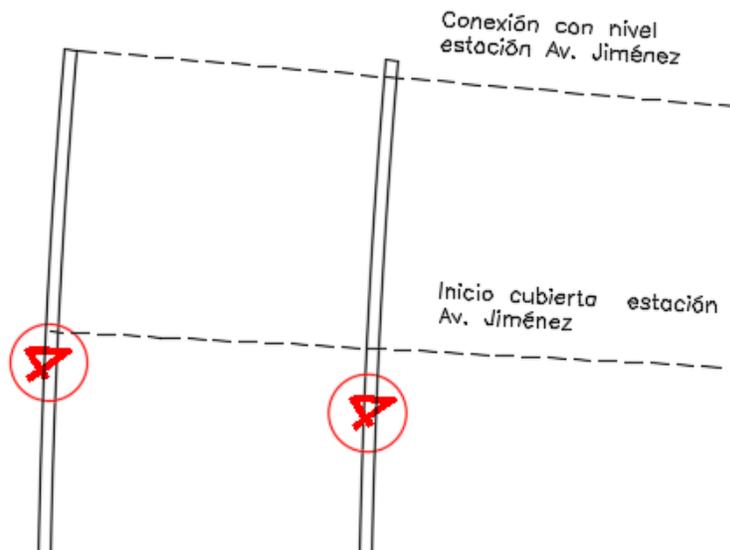
Figura 6.26. Muros de contención del acceso oriental



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Los muros de contención en la sección de conexión con la estación Av. Jiménez inician una vez empieza la cubierta en vidrio y perfiles metálicos, hasta el inicio de la estación.

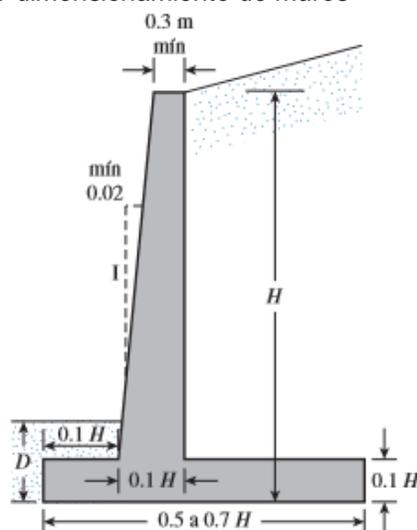
Figura 6.27. Muros de contención conexión con estación Av. Jiménez



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Una vez identificados los muros de contención en cada acceso del túnel; se realiza su dimensionamiento básico utilizando la **figura 6.28**. El dimensionamiento disminuirá una vez sea menor la profundidad de suelo que soporte el muro, hasta obtener un espesor mínimo constructivo. **En los planos realizados para el pre-diseño se discrimina la ubicación de los muros y sus dimensiones.**

Figura 6.28. Valores para el pre-dimensionamiento de muros



Fuente: Das Braja M. (septiembre de 2016).

6.3. PRE-DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Los elementos arquitectónicos y los acabados dispuestos para el túnel peatonal, tendrán como objetivo brindar un aspecto visual y un adecuado ambiente para los usuarios del paso deprimido, de igual manera es de suma importancia el **mantenimiento frecuente** de cada uno de los componentes del túnel, así éste podrá cumplir el objetivo de aportar de manera positiva a la estética visual de la ciudad.

6.3.1. Acabados

6.3.1.1. Enchapes

Para el revestimiento de la placa inferior y los muros internos del *Box Culvert*, se podrá instalar un **enchape de alto tráfico en cerámica**; teniendo en cuenta todas las especificaciones técnicas de sus materiales e instalación. Con este tipo de enchape se garantiza una mejor funcionalidad del túnel, además de la impermeabilización de los elementos que componen la estructura principal del mismo.

6.3.1.2. Cielo raso

En la cara interior de la placa superior del túnel se utilizará un cielo raso en yeso y pintura, que contengan componentes impermeabilizantes. También podrá utilizarse

cielo raso en paneles y perfiles metálicos, siempre y cuando su espesor sea menor a 5 cm; **garantizando la altura adecuada libre del túnel.**

6.3.1.3. Iluminación LED

Es recomendable que la iluminación del túnel se realice mediante paneles o bombillos LED que **disminuyan el consumo energético** del mismo, éstas deberán tener componentes a prueba de robo o vandalismo.

6.3.1.4. Escaleras y rampas

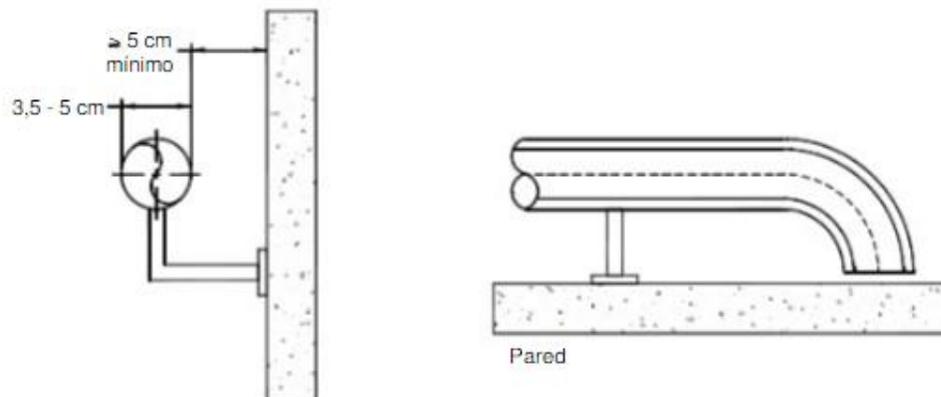
Se utilizará un material diferente al material empleado en el revestimiento del interior del túnel, que ayude a los usuarios a identificar el inicio o el fin de las estructuras de acceso (escaleras y rampas). **El material utilizado para las rampas deberá ser antideslizante**

6.3.1.5. Barandas

Es necesario la instalación de barandas tanto en las secciones principales del túnel peatonal como en sus accesos (rampas y escaleras), **éstas funcionan como apoyo para personas con cualquier tipo de discapacidad o simplemente para transeúntes con movilidad limitada; como es el caso de usuarios de avanzada edad.** El material de las barandas deberá ser ergonómico, con el cual se permita un buen agarre y sea lo suficientemente rígido para soportar las cargas de servicio. En la NTC 4201 de 2005 se especifican algunas dimensiones para la instalación y fabricación de barandas, estas especificaciones resultan pertinentes para su implementación en el túnel.

- Espacio con respecto a la pared: 50 mm
- Diámetro de baranda: 35 mm – 50 mm
- Sus extremos deberán ser curvados; con los que se eviten accidentes y enredamientos, **figura 6.29.**

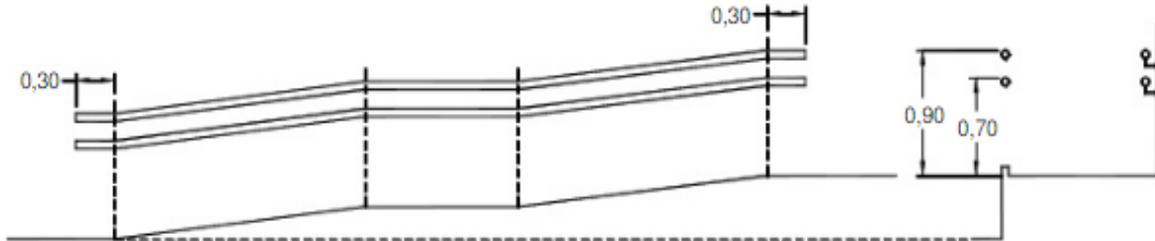
Figura 6.29. Especificaciones técnicas de barandas de apoyo



Fuente: ICONTEC (2005).

- La baranda deberá estar compuesta por 2 pasamanos con distancias desde el suelo de 0,90 m y 0,70 m como se muestra en la **figura 6.30**; medidas con las que se le da facilidad de uso a cualquier tipo de población.
- En escaleras y rampas la longitud de las barandas deberá extenderse como mínimo 0,30 m horizontales por encima de la longitud de escalera y/o rampa

Figura 6.30. Altura de barandas de apoyo



Fuente: ICONTEC (2005).

Por seguridad será necesario también instalar barandas apoyadas a la placa de piso en los costados de las rampas que tengan un considerable cambio de nivel, las barandas podrán ser como las que se muestran en la **figura 6.31**.

Figura 6.31. Barandas de seguridad



Fuente: ALUMINIO MONTORNÉS (2009).

6.3.1.6. Divisiones de seguridad

En las 3 salidas a cielo abierto del túnel será necesario la instalación de barreras de seguridad que tendrán como función; prevenir que los transeúntes que caminan por los andenes adyacentes a la salida, puedan caer sobre las escaleras o las rampas:

- Estas barreras deberán tener una altura de mínimo 1,50 m respecto al suelo
- Arquitectónicamente es recomendable que éstas estén hechas en vidrio templado, de mínimo 12 mm de espesor y acompañadas de perfiles de acero, **figura 6.32**.

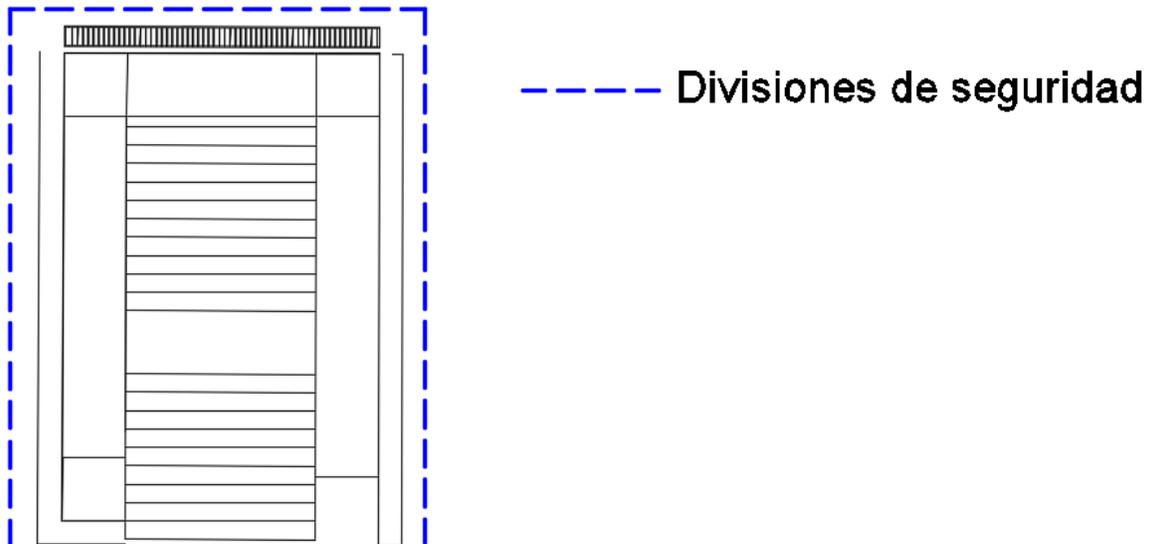
Figura 6.32. Divisiones de seguridad



Fuente: ESTINOX Argentina (2014).

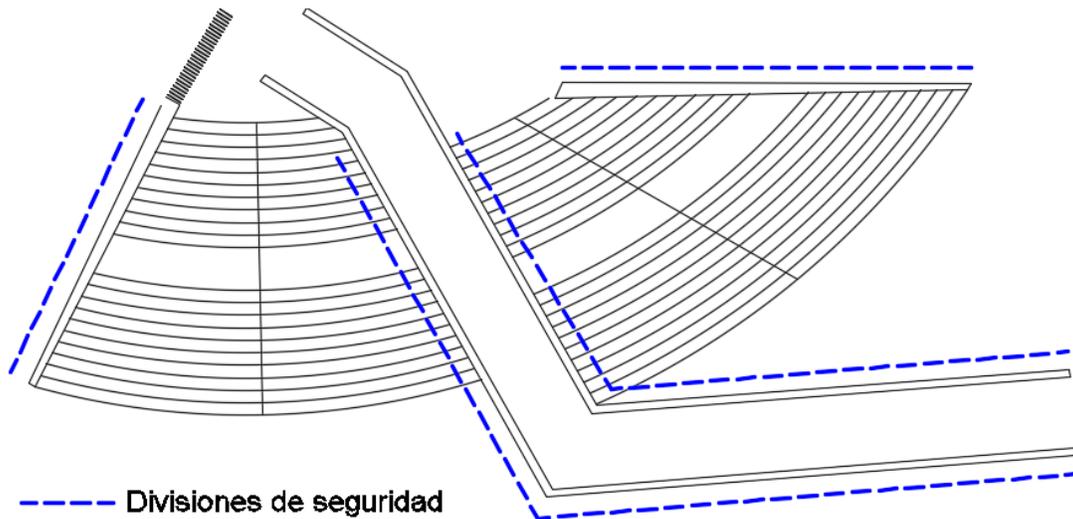
A continuación, con una línea punteada se presenta la ubicación en las que se instalarán las divisiones de seguridad, en la salida sur y salida norte observada en la **figura 6.33** y la salida oriental de la **figura 6.34**.

Figura 6.33. Ubicación divisiones de seguridad en salida norte y salida sur del túnel



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Figura 6.34. Ubicación divisiones de seguridad en salida oriental del túnel

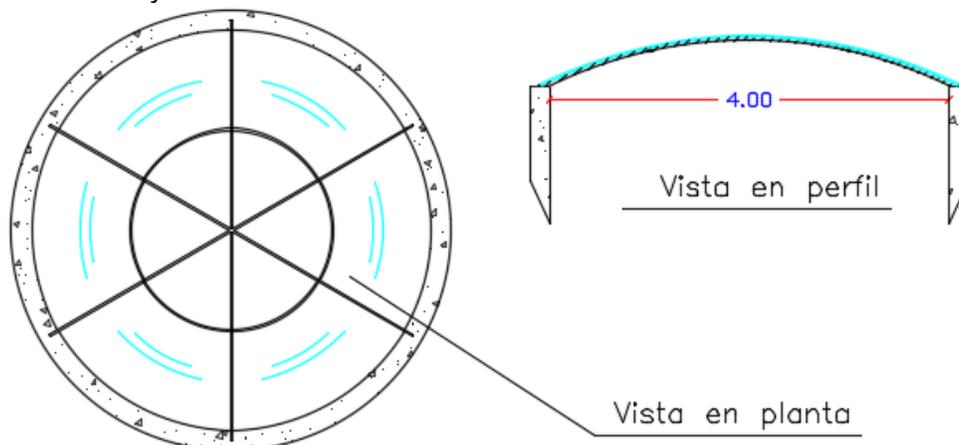


Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.3.2. Claraboyas de iluminación y ventilación

La geometría del túnel permite la construcción de claraboyas en ambas secciones del paso subterráneo propuesto, éstas irán ubicadas en lugares donde no exista circulación de buses de Transmilenio y estarán combinadas con rejillas que permitan la circulación de aire. La primera claraboya de iluminación irá posicionada en la intersección del tramo 1 y tramo 2 del túnel, tendrá una sección transversal circular con radio de 2 m y **consistirá en una cúpula de vidrio templado con perfiles en acero inoxidable**, como puede observarse en la **figura 6.35**.

Figura 6.35. Claraboya de iluminación circular

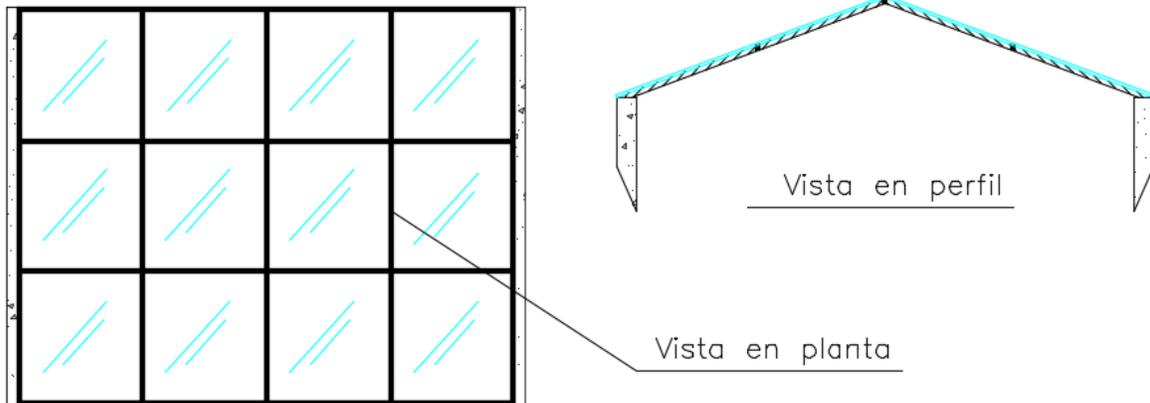


Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

La segunda claraboya irá ubicada cerca de la mitad del tramo 2 del túnel, e igualmente consistirá en una estructura de vidrio templado y perfiles de acero

inoxidable con pendiente a dos aguas, ésta dispondrá también de rejillas para el paso de aire. Su forma básica se puede observar en la **figura 6.36**.

Figura 6.36. Claraboya de iluminación a dos aguas

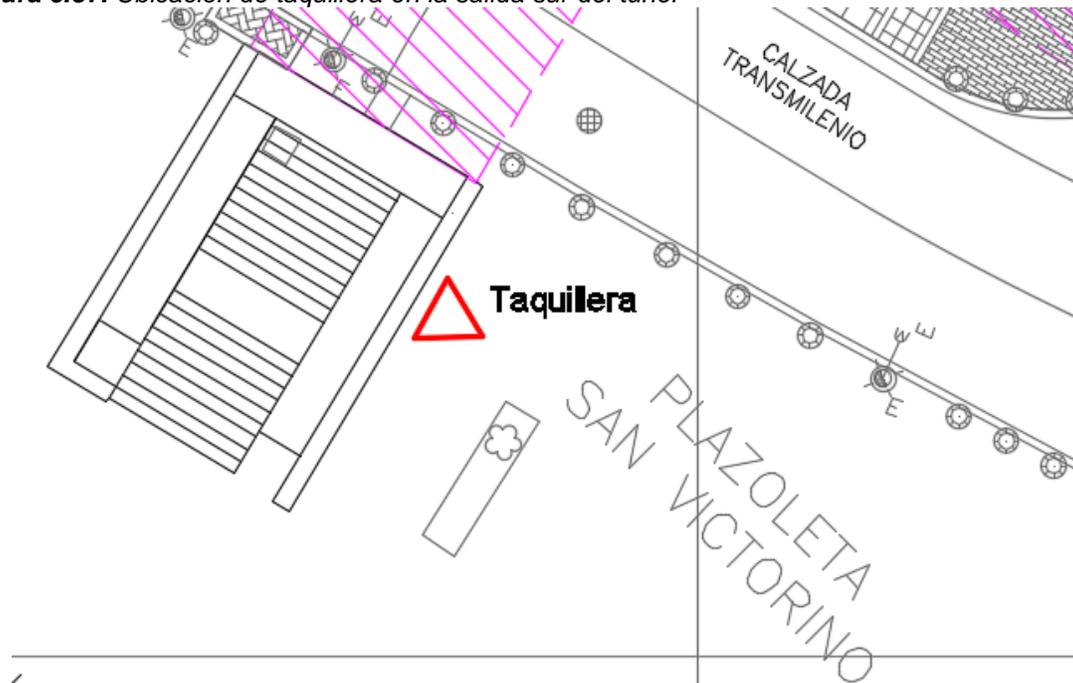


Fuente: *Elaboración propia (septiembre de 2016).*

6.3.3. Taquilleras

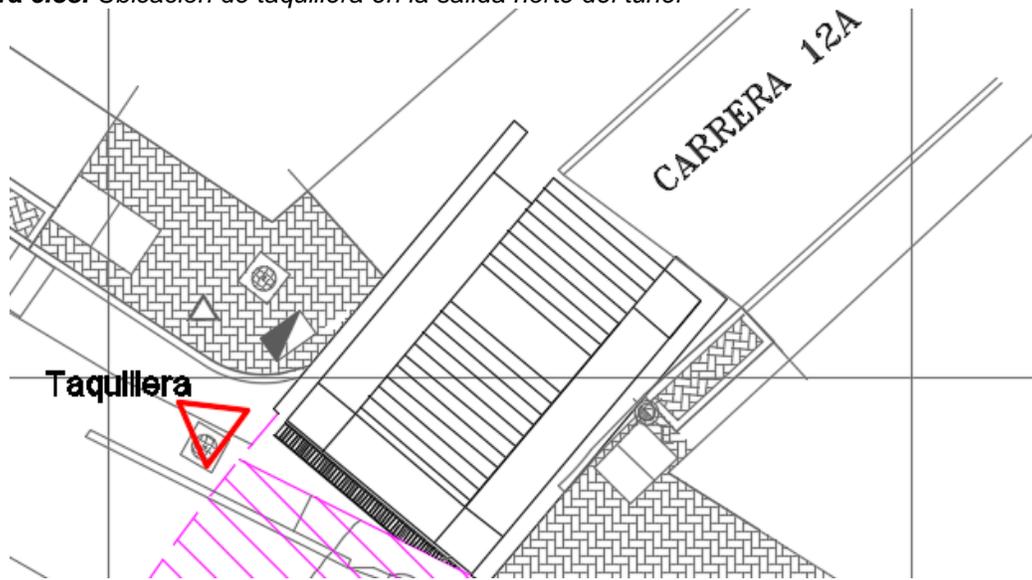
Para que el funcionamiento del túnel peatonal no se vea interrumpido u obstaculizado por filas en las taquillas de ventas de pasajes de Transmilenio; es necesario que la ubicación de éstas, se haga en los lugares aledaños a las entradas del túnel y no en las secciones principales del mismo. A continuación se presenta los lugares adecuados para la instalación de taquilleras referenciadas mediante un triángulo en las **figuras 6.37, 6.38 y 6.39**.

Figura 6.37. Ubicación de taquillera en la salida sur del túnel



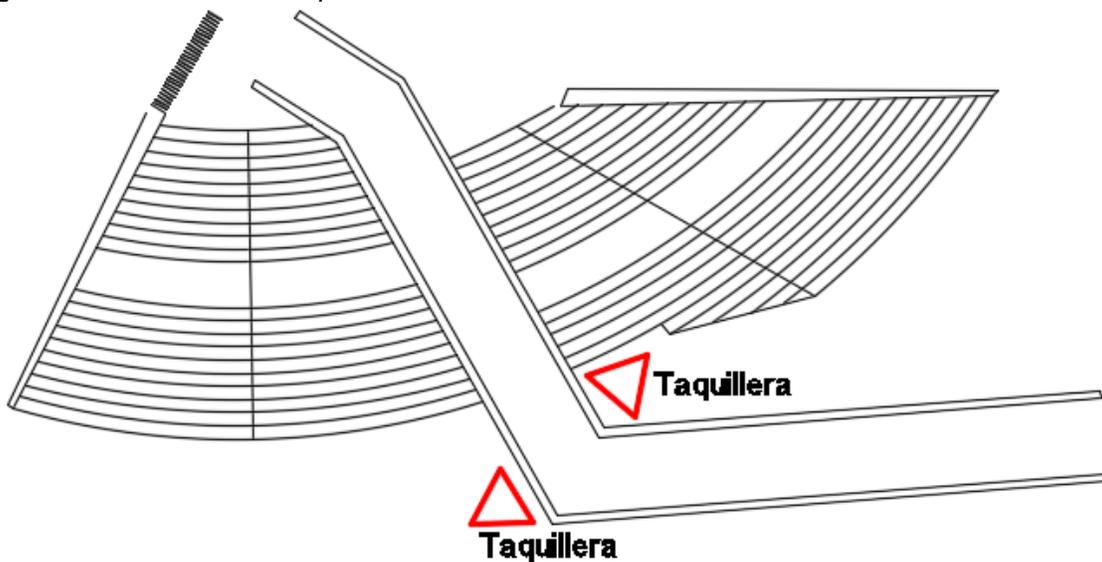
Fuente: *Elaboración propia a partir de [1] (septiembre de 2016).*

Figura 6.38. Ubicación de taquillera en la salida norte del túnel



Fuente: Elaboración propia a partir de [1] (septiembre de 2016).

Figura 6.39. Ubicación de taquillera en la salida oriental del túnel

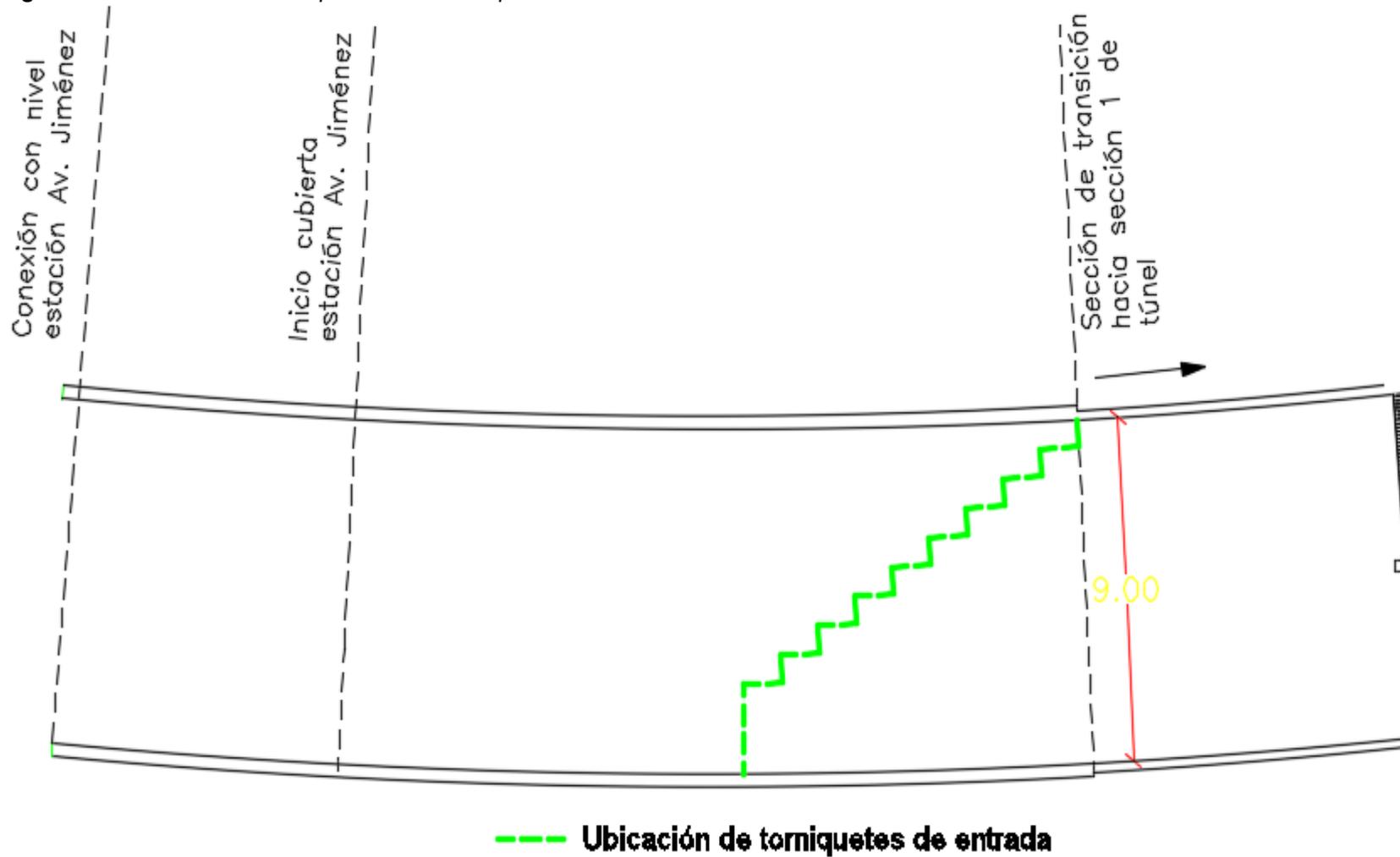


Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.3.4. Torniquetes de acceso a Transmilenio

Se recomienda que la instalación de torniquetes para el acceso a la estación Av. Jiménez, **se realice finalizando la sección de transición del tramo de conexión con la misma estación** (corte B-B' del plano 4); evitando que los represamientos causados por las filas que puedan producirse, afecten la movilidad de los usuarios que cruzan de la salida sur a la salida norte del túnel. Es importante que éstos se coloquen de forma escalonada para permitir un mayor número de torniquetes, como se observa en la **figura 6.40**.

Figura 6.40. Ubicación de torniquetes de entrada para la estación Av. Jiménez



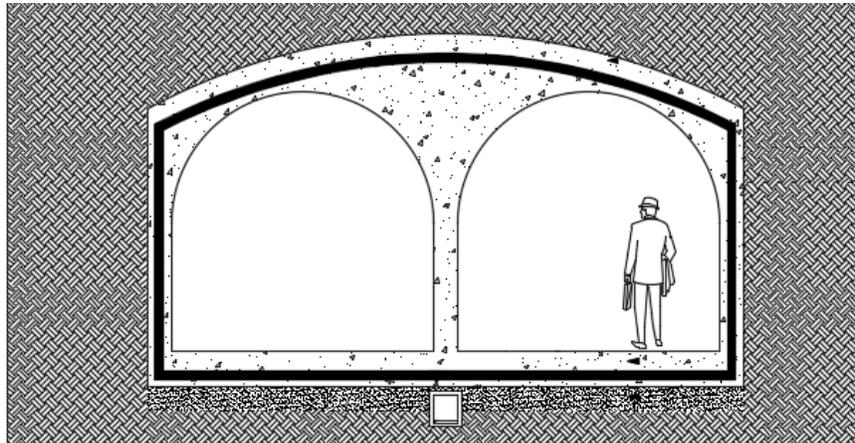
Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

6.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA UNA ETAPA DE DISEÑO

- Es necesario realizar un levantamiento de altimetría para confirmar cada uno de los niveles exteriores e interiores del pre-diseño, ya que para la elaboración de los planos, espesores, accesos y demás componentes estructurales, se consideró que el terreno de la zona se encontraba totalmente plano.
- Para una etapa de diseño y construcción, se deberá realizar todos los estudios de inspección e interrupción de redes húmedas y secas presentes en el punto de intervención.
- Dentro de los análisis que se realizaron para la susceptibilidad de suelos a la licuación, se encontraron suelos licuables en la carrera 10 entre calles 10 y 12, sin embargo, los estudios de suelo más cercanos al lugar de pre-diseño (Estudios de Transmilenio) no evidenciaron un nivel freático; por lo tanto es de gran importancia confirmar el nivel freático de la zona y evaluar el riesgo de licuación para los suelos más cercanos.
- Teniendo en cuenta que el análisis vehicular para este proyecto es directa y únicamente para los articulados del sistema de transporte Transmilenio, la proyección que se realizó para estos vehículos se determinó a partir de un dato de crecimiento de transporte público, lo que indica que el análisis es muy generalizado y revela datos que pueden estar alejados de los reales; por esta razón se recomienda realizar una investigación acerca de la proyección estipulada por la empresa Transmilenio para los articulados que transitan por la calle 13 entre la Av. Caracas y la Carrera 10, y de esta manera **tener datos más confiables al momento de realizar el diseño estructural del túnel.**
- En este proyecto se presentó un pre-dimensionamiento de muros de contención, cuya estabilidad deberá ser verificada por factores de seguridad correspondientes a: volcamiento, deslizamiento, capacidad de carga y falla a cortante por asentamiento profundo.
- Aunque se realizó un pre-dimensionamiento bastante conservador de los elementos estructurales, en un proceso de diseño estas medidas podrán variar según sea justificado por el diseñador, cada estructura deberá contar con el método adecuado de refuerzo a flexión y cortante. De igual manera para el perfil de acero de refuerzo en la sección transversal del túnel, se evaluara su dimensionamiento adecuado y el espaciamiento entre perfiles óptimo.
- La verificación de la cimentación del túnel se hará en primera instancia con una placa portante, si ésta es insuficiente; será necesario la consideración y diseño de micro-pilotes, siendo éstos, un tipo frecuente de cimentación en pasos peatonales subterráneos.

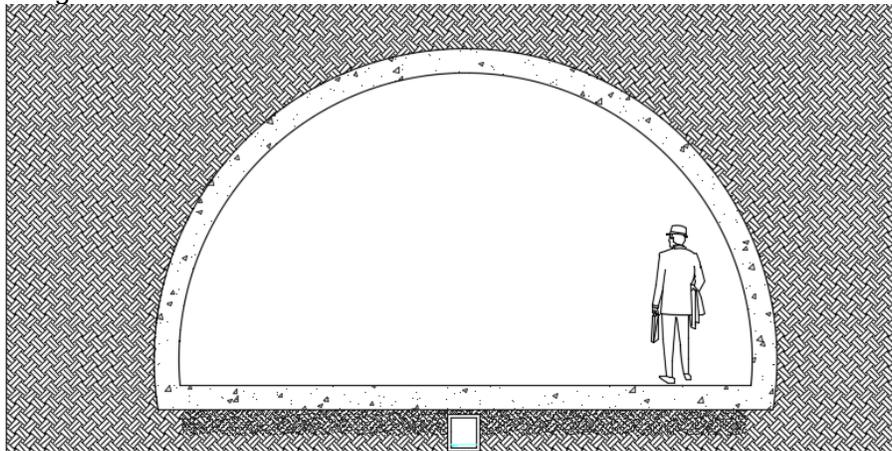
- Durante una etapa de diseño, dependiendo de los resultados de un estudio de suelos actualizado del lugar de pre-diseño, es posible considerar una sección alternativa como la de la **figura 6.41**, esto es con el fin de reducir la luz del túnel y de esta manera garantizar mayor estabilidad al terreno circundante, realizando dos fases de excavación (una por cada luz), ya que para túneles construidos sobre el mismo suelo y con grandes dimensiones se presentarían más dificultades en la estabilidad del terreno. O bien, en la **figura 6.42** se expone la sección transversal ideal para un proceso constructivo como **Tunnel liner**; este proceso se realiza en secciones circulares para la ubicación de tuberías de servicios, para el caso de un túnel peatonal es posible realizar este proceso constructivo con una sección transversal de medio círculo.

Figura 6.41. Sección transversal alterna



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

Figura 6.42. Segunda sección transversal alterna



Fuente: Elaboración propia (septiembre de 2016).

- La elaboración de las gráficas en el programa examine 2D no tuvo en cuenta los esfuerzos producidos por los articulados de Transmilenio ni la carga muerta del pavimento rígido de la Cl. 13

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. A.C.I. PROYECTOS S.A. Localización de sondeos para estudio de suelos. Bogotá D.C.: IDU, 2002.
- [2]. BAÑÓN BLÁSQUEZ, Luis y BEVIÁ GARCÍA, Jose Francisco. Manual de carreteras. Alicante: Contratistas de obras S.A., 1999.
- [3]. BOTANA LEMA, S. Licuefacción de suelos: Métodos de mejora de terrenos potencialmente licuables. Inyección de compactación. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2016.
- [4]. DAS, B. M. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Séptima edición. México D.F.: Cengage Learning, 2012.
- [5]. ICONTEC. Norma técnica colombiana NTC 4201. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2005.
- [6]. JEREZ CASTILLO, S. M. Manual de diseño de infraestructura peatonal urbana. 2012. <http://es.slideshare.net/CarlosGuano1/manual-disenoinfraestructura-peatonalurbana>. [Consulta: 13 de Agosto de 2016].
- [7]. MEGAW, T. y Barlett J.V. Túneles. Planeación, diseño y construcción. Vol 1. México D.F.: LIMUSA S.A., 1997.
- [8]. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.
- [9]. VOLVO. Volvo buses, America Latina. 2016. <http://www.volvobuses.com/BUS/BRAZIL/ES-BR/LINEA-PRODUCTOS/URBANOS/B340M/PAGES/DEFAULT.ASPX>. [Consulta: 21 de Septiembre de 2016].
- [10]. VOLVO. Volvo buses, America Latina. 2016. <http://www.volvobuses.com/BUS/BRAZIL/ES-BR/LINEA-PRODUCTOS/URBANOS/B340M/PAGES/DEFAULT.ASPX>. [Consulta: 21 de Septiembre de 2016].

7. SITIOS PROPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÚNELES PEATONALES EN BOGOTÁ D.C.

El presente capítulo contiene la descripción y ubicación de algunos puntos de la ciudad, donde es posible aplicar la metodología de viabilidad utilizada en este proyecto, para la construcción de un túnel peatonal. Las razones más relevantes por las que se toman estos pasos peatonales como puntos estratégicos, **son las condiciones actuales de movilidad, la inseguridad para el peatón, tiempos y distancias de recorrido.**

Entre los sitios analizados y descritos a continuación, **algunos de éstos, actualmente están regulados por un semáforo peatonal**, que al momento de realizar un estudio de viabilidad; sería posible sustituirlos por un túnel, otros están regulados por puentes peatonales, pero por sus largas distancias es muy poco usado por el ciudadano, también, es importante mencionar que existen pasos peatonales en los que hasta el momento no se ha construido ningún método de regulación y analizando las condiciones de movilidad y seguridad para el peatón, **entre las soluciones más favorables está la construcción de un paso deprimido.** Es importante aclarar que los puntos que se mostrarán a continuación: son algunos de los cientos que existen en la ciudad de Bogotá, a los cuales podrá ser extrapolada la solución presentada a lo largo de la presente investigación.

7.1. SUSTITUCIÓN DE SEMÁFOROS

- **Calle 13 con carrera 38**

En este punto de la ciudad, hacia el costado sur de la calle 13, se encuentra ubicado un punto de servicio de la Secretaria de Movilidad de Bogotá, **figura 7.1,**

Figura 7.1. Paso peatonal estación Zona Industrial



Fuente: Google Earth (septiembre de 2016).

El uso del actual paso peatonal es constante y con una gran caudal de transeúntes que cruzan, ya sea para ingresar al servicio de Transmilenio o para dirigirse a algunos de los establecimientos que ofrecen servicio en trámites de movilidad; como CIATRAN (Empresa que ofrece cursos para obtener descuentos en comparendos). Por estas razones es que este punto de la ciudad se convierte en un sitio estratégico para sustituir el actual semáforo peatonal por un paso deprimido que agilice los tiempos de recorrido de la calle 13 y brinde seguridad al peatón.

- **Carrera 7 con Cll. 28**

Para tener más exactitud en cuanto a la ubicación; este paso peatonal está instalado frente al Museo Nacional de Colombia, con dirección de oriente a occidente, **figura 7.2**, teniendo en cuenta que ésta es una de las zonas de Bogotá que presenta mayor flujo peatonal, al estar frente a una zona comercial con alta demanda de visitantes, es importante considerarlo como un punto estratégico para la implementación de un túnel peatonal. Adicionalmente, debido a que en este sitio existe una **estación subterránea de Transmilenio**; un paso subterráneo resultaría más eficiente.

Figura 7.2. Paso peatonal Museo Nacional



Fuente: Google Earth (septiembre de 2016).

- **Autopista Sur con calle 62b**

Este paso peatonal se ubica sobre la autopista sur de la ciudad de Bogotá, hacia el costado sur de la Avenida está el frigorífico Guadalupe, y sobre el costado norte se encuentran varios establecimientos del sector cárnico, lo que genera un gran flujo de peatones; entre visitantes de la zona que realizan sus compras y funcionarios que transportan los productos de los diferentes establecimientos utilizando el actual paso peatonal, **figura 7.3**, adicionalmente, se debe tener en cuenta los constates

problemas de movilidad que presenta la Autopista sur, debido a sus frecuentes represamientos por el alto volumen vehicular que transita por esta vía, éste se convierte en un punto ideal para suplantar el actual semáforo peatonal por un paso deprimido que ofrezca seguridad y mejores tiempos de recorrido a los transeúntes del sector.

Figura 7.3. Paso peatonal Frigorífico Guadalupe



Fuente: Google Earth (septiembre de 2016).

- **Calle 80 con carrera 112^a**

La calle 80 es una de las principales vías que conecta el oriente con la salida occidental de la ciudad, y comunica los municipios de Tenjo, Tabío, Siberia, etc., razón para que esta vía presente alto volumen vehicular. El punto específico de análisis se encuentra ubicado sobre la calle 80 con carrera 112^a, **figura 7.4**, siendo ésta una zona residencial; se evidencia el alto flujo peatonal que usa el actual paso regulador para cruzar la vía, por lo que se recomienda realizar un estudio detallado para determinar la viabilidad de reemplazarlo por un túnel peatonal.

Figura 7.4. Paso peatonal Colsubsidio calle 80 con carrera 112^a



Fuente: Google Earth (septiembre de 2016).

- **Av. caracas con calle 26**

La estación de Transmilenio “Calle 26” tiene salida hacia el sentido sur y norte de la ciudad, el paso peatonal a analizar está ubicado hacia la salida sur de dicha estación, **figura 7.5**, las razones por las que se recomienda la sustitución del semáforo peatonal actual por un paso deprimido, son varias, entre ellas está: el alto flujo peatonal que por allí transita, la gran cantidad de semáforos que se ubican a lo largo de la Av. Caracas interrumpiendo el flujo de los vehículos, la inviabilidad de considerar otro paso peatonal a desnivel por el ancho que presenta la vía, entre otros que perjudican a diario la movilidad vehicular y los tiempos de recorrido.

Figura 7.5. Paso peatonal de la estación Calle 26



Fuente: Google Earth (septiembre de 2016).

- **Av. caracas con calle 51 (Marly)**

Como ya se mencionó en el numeral anterior, la **Av. Caracas es un corredor vial que a lo largo de su recorrido tiene instalado una gran cantidad de semáforos, figura 7.6.**

Figura 7.6. Paso peatonal de la estación Marly



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016).

Teniendo en cuenta que el objetivo de este proyecto es sustituir los semáforos peatonales por pasos deprimidos para mejorar la movilidad, brindar mayor seguridad al peatón y disminuir los tiempos de recorrido, **el cruce semafórico de la imagen anterior se convierte en lugar fundamental** en el que se recomienda realizar un análisis detallado para la implementación de un túnel.

- **Av. Caraca con Cll. 70a**

Éste es otro de los muchos semáforos peatonales que obstaculizan la Av. Caracas, está ubicado en la salida sur de la estación de Transmilenio, Cll 72, **figura 7.7**. Posee una gran cantidad de volumen de peatones; debido a que es una zona comercial y universitaria. El ancho transversal de la Av. Caracas es muy pequeño para poder utilizar un paso peatonal elevado, siendo así, se recomienda su reemplazo por el de un túnel peatonal en el que **se debe tener cuidado al ubicar sus respectivos accesos**, ya que las aceras de la Av. Carcas tienen un ancho efectivo muy pequeño.

Figura 7.7. Semáforo peatonal Av. Caracas con Cll. 70a



Fuente: Google Earth (septiembre de 2016).

7.2. SUSTITUCIÓN DE PUENTES PEATONALES

Dentro de las recomendaciones de sustituir los semáforos peatonales por túneles, también se adicionan los sitios donde los pasos peatonales tienen un recorrido muy extenso, éste es para el caso de los puentes peatonales, que usualmente son pocos los usuarios que los utilizan y que se construyen sin ningún tipo de comparación crítica, ya que, en las vías con ancho transversal pequeño es totalmente inviable implementar pasos elevados y aun así se puede observar una gran cantidad de éstos.

- **Av. NQS con diagonal 17 sur**

Entre los puntos analizados, se encuentra el puente peatonal que se ubica sobre la Autopista con Diagonal 17 sur, **figura 7.8**, la problemática que se presenta en este sitio de la ciudad, **es producto del largo recorrido que tiene este puente**, ya sea para cruzar la vía o para ingresar a la estación de Transmilenio SENA, allí se evidencia como los transeúntes cruzan imprudentemente, exponiendo su integridad física con el objetivo de disminuir su tiempo de recorrido, por tal razón se recomienda la sustitución de actual paso regulador por un túnel peatonal, con el cual se disminuyen distancias y tiempos de recorrido.

Figura 7.8. Puente peatonal para la estación SENA de Transmilenio



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016).

- **Puente peatonal de la estación de Transmilenio, Av. El Dorado**

Para el acceso de esta estación existe un puente peatonal viejo, **figura 7.9**, de concreto y en mal estado.

Figura 7.9. Puente peatonal para la estación AV. EL DORADO de Transmilenio



Fuente: Elaboración propia (junio de 2016).

Su apariencia causa un gran impacto negativo al aspecto visual de la ciudad, y como es usual en este tipo de pasos peatonales, los transeúntes deben cruzar grandes distancias de recorrido. Un túnel peatonal con la misma metodología de accesos subterráneos para la estación presentada... en el **numeral 6.2.6.3**, sería un reemplazo efectivo que mantiene la independencia de flujos, mejoraría el aspecto visual de la ciudad y disminuiría considerablemente las distancias de recorrido.

- **Puente peatonal Av. Boyacá con Cll. 60 sur**

Este puente es una de las obras que comúnmente son llamadas; “Elefantes blancos” de la contratación pública de Bogotá. Se construyó cerca de un semáforo peatonal, así que los ciudadanos no hacen uso de éste. Su recorrido es extremadamente largo y demuestra los sobrevalorados que están los puentes para ser soluciones de tránsito peatonal. Las pendientes del terreno vistas en la **figura 7.10**, podrían ser aprovechadas para disminuir el recorrido de un túnel peatonal, haciéndolo más eficiente y justificando aún más su construcción.

Figura 7.10. Puente peatonal de Meissen



Fuente: Montenegro, Yamill (2011).

- **Puente peatonal estación de Transmilenio, Terminal**

En la autopista norte es muy común observar pasos peatonales elevados, la mayoría de éstos para dar acceso a las estaciones de Transmilenio. En la primera estación entrando por el norte de Bogotá, **figura 7.11**, se encuentra un puente peatonal tipo Transmilenio hecho en acero y con recorridos muy extensos. El gran espacio que tienen las aceras de la autopista norte, permite que los accesos de un túnel peatonal se construyan en forma de abanico, optimizando el recorrido de los transeúntes que tomarían un túnel peatonal; siendo así, más viable la implementación de pasos subterráneos en este tipo de avenidas.

Figura 7.11. Puente peatonal para la estación TERMINAL de Transmilenio



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016).

7.3. CRUCES SIN NINGÚN TIPO PASO PEATONAL

- **Cll. 161 con carrera 14b**

Éste es un cruce no regulado de peatones y vehículos ubicado en el norte de la ciudad, **figura 7.12**, en el que se puede implementar perfectamente un túnel peatonal con entradas atractivas para los transeúntes, para la conducción de los vehículos es posible realizarla mediante tope-llantas y bolardos plásticos, evitando así la instalación de un semáforo.

Figura 7.12. Cruce no regulado de la Cll. 161 con carrera 14b



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016).

- **Cra. 104 con Cll. 133a**

Se trata de un cruce peatonal no regulado, ubicado en una zona netamente residencial en el que los transeúntes cruzan de forma insegura la carrera 104, **figura**

7.13, el ancho de la vía y el espacio disponible es ideal para la construcción de un paso peatonal subterráneo.

Figura 7.13. Cruce no regulado de la Cra. 104 con Cll. 133a



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016).

- **Puente Aranda**

Entre los pasos no regulados está la intersección entre la Av. de las Américas y la Calle 13, **figura 7.14**, en este sitio de la ciudad los peatones que se ven en la necesidad de realizar dicho cruce, deben hacerlo exponiendo su integridad física y realizando piruetas para lograr el objetivo de atravesar los 8 carriles existentes, por tal razón se convierte en otro de los puntos estratégicos para implementar un túnel o una red de pasos deprimidos.

Figura 7.14. Paso peatonal de la Av. Américas con Calle 13



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016).

En la **figura 7.15** se muestran las calzadas que debe atravesar el ciudadano en este punto de la ciudad y se señalan con círculos los puentes peatonales que se ubican sobre las vías en cuestión, observando las grandes distancias que hay entre éstos, haciendo que su uso sea de gran agotamiento para los peatones. De esta manera los transeúntes cruzan por debajo de los puentes vehiculares intentando ahorrar algunos metros en su recorrido.

Figura 7.15. Ubicación de los pasos peatonales existentes más cercanos a la Av. Américas con Calle 13



Fuente: Google Earth (Septiembre de 2016). Se enumeran los 3 pasos más cercanos a la intersección entre la Av. Américas y la Cll. 13, el túnel propuesto se representa mediante la línea punteada.

