

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Formulación del estudio propuesto	1
1.2	Motivación.....	1
1.3	Objetivos.....	5
1.4	Metodología del estudio	5
2	MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.1.1	Diseño sísmico y diseño convencional	7
2.1.2	Estructuras en superficie y estructuras subterráneas.....	7
2.1.3	Propuestas en el diseño de estructuras subterráneas	8
2.1.4	Esfuerzos internos.....	10
2.1.5	Efectos generales de un sismo.....	12
3	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO	15
3.1	Resolviendo problemas por medio del Análisis Estático.....	15
3.2	Generación de la malla	15
3.3	Modelo Constitutivo y parámetros geotécnicos	23
3.3.1	Índice de resistencia Geológica (GSI).....	23
3.3.2	Factor de perturbación D (“blast damage factor”)	25
3.3.3	Criterio de rotura de Hoek y Brown.....	26
3.3.4	Criterio de Hoek-Brown Generalizado	26
3.4	Propiedades del material.....	28
3.4.1	Módulo de deformación E_m	28
3.4.2	Coeficiente de Poisson ν	28
3.4.3	Módulo de compresibilidad K (“bulk modulus”)	28
3.4.4	Módulo de corte o cizalle G (“shear modulus”).....	29
3.4.5	Resumen de parámetros geotécnicos y propiedades del material rocoso utilizado para los modelos	29
3.5	Condiciones iniciales.....	30
3.5.1	Gravedad.....	30
3.5.2	Densidad	30
3.5.3	Esfuerzos in-situ y gradiente de esfuerzos	30
3.6	Condiciones de borde	36
3.7	Solución y secuencia de modelamiento	37
3.7.1	Encontrar el estado de equilibrio de un modelo	37
3.7.2	Secuencia de modelamiento.....	37

3.8	Monitoreo de la respuesta estática.....	42
3.9	Obtención de resultados	42
4	DISEÑO SÍSMICO POR MEDIO DEL METODO DINÁMICO.....	44
4.1	Descripción general del análisis dinámico.....	44
4.2	Registro sísmico.....	44
4.3	Tratamiento de datos	45
4.3.1	Normas de diseño sísmico en Chile.....	45
4.3.2	Corrección de línea de base	45
4.3.3	Integrar registro de aceleraciones para obtener registros de velocidades y desplazamiento.....	46
4.3.4	Espectro de Fourier	47
4.3.5	Correcta propagación de ondas y tamaño máximo de elementos.....	48
4.3.6	Aplicación del registro sísmico.....	50
4.3.7	Monitoreo de la respuesta dinámica	52
4.3.8	Consideraciones para una solución correcta y eficiente	53
4.3.9	Obtención de resultados.....	58
5	RESULTADOS Y SU ANÁLISIS	59
5.1	Secuencia de modelamiento, etapa estática	59
5.1.1	Deformaciones en el recubrimiento	59
5.1.2	Esfuerzos internos en el recubrimiento	62
5.2	Aplicación del registro sísmico en x, etapa dinámica.....	71
5.2.1	Desplazamientos en el recubrimiento	71
5.2.2	Esfuerzos internos en el recubrimiento	73
6	DISCUSIÓN	81
6.1	Resultados obtenidos.....	81
6.1.1	Deformaciones estáticas	81
6.1.2	Esfuerzos internos estáticos	81
6.1.3	Desplazamientos dinámicos	81
6.1.4	Esfuerzos internos dinámicos	83
6.2	Consideración del efecto dinámico.....	85
6.3	Factores que pueden influir los resultados numéricos.....	88
6.3.1	Geometría	88
6.3.2	Elección de modelo continuo FLAC3D	89
6.3.3	Caracterización geológica del macizo rocoso en la zona de obtención del registro sísmico.....	91

6.3.4	Registro sísmico	94
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
8	BIBLIOGRAFÍA.....	98
	ANEXOS.....	101
	ANEXO A: FLAC3D	101
	ANEXO B: Rutina elaborada para el software FLAC3D en lenguaje FISH para las distintas calidades de roca y para la secuencia de modelamiento y análisis dinámico	109
	ANEXO C: Gráficos, no mostrados en el cuerpo, correspondientes a los puntos de control ubicados en el techo a los costados y en la base de la estructura de sostenimiento.....	123

Índice de figuras

<i>Figura 1-1: Estación de metro Dakai, en la ciudad de Kobe, antes del sismo de 1995</i>	2
<i>Figura 1-2: Sección transversal al eje del túnel del metro de Kobe con sus medidas (en metros) (Liu, 2008)</i>	3
<i>Figura 1-3: A la izquierda, el daño sufrido por la estación de metro Daikai luego del sismo de 1995, a la derecha, la subsidencia del terreno sobre la estación de metro Daikai (Liu, 2008)</i>	3
<i>Figura 1-4: Sección transversal al eje del túnel del metro de Kobe en la estación Daikai, luego del sismo de 1995 (Liu, 2008)</i>	3
<i>Figura 1-5: Daños ocurridos en el revestimiento de otros túneles en la ciudad de Kobe, principalmente trizaduras longitudinales de un máximo de 25 [cm] de ancho (Yoshida, 1999)</i>	4
<i>Figura 2-1: Comportamiento inercial de estructuras en superficie (Boroscheck, 2012)</i>	8
<i>Figura 2-2: Deformaciones en túneles (Owen & Scholl, 1981)</i>	9
<i>Figura 2-3: Cilindro en equilibrio estático, cuyo eje está centrado en el eje x</i>	10
<i>Figura 2-4: Corte en el plano y-z perpendicular al eje x, en el punto A</i>	11
<i>Figura 2-5: Esfuerzos y momentos generados en el punto A para mantener el estado de equilibrio</i>	11
<i>Figura 2-6: (a) corte y momento causados por la propagación de ondas sísmicas a lo largo del eje axial del túnel; (b) esfuerzo axial, de corte y momento provocado por la propagación de ondas sísmicas perpendiculares al eje axial del túnel (Power et al., 1998)</i>	12
<i>Figura 2-7: Respuesta del terreno debido al paso de ondas sísmicas P (Bolt, 1978)</i>	13
<i>Figura 2-8: Respuesta del terreno debido al paso de ondas sísmicas S (Bolt, 1978)</i>	13
<i>Figura 3-1: Formas y puntos por definir de la primitiva "Radial Cylinder"</i>	15
<i>Figura 3-2: Primitiva generada con el comando "radcyl" que representa la parte superior del modelo. Las zonas de color verde corresponden a un cuarto del túnel que se creará y las de color azul a la roca circundante</i>	17
<i>Figura 3-3: Primitiva "radcyl" con la roca al costado, que asegura que se cumpla la condición de distancia del borde</i>	17
<i>Figura 3-4: Reflejo en el plano de simetría de dip 0 dip direction 0, el cual forma la parte inferior del modelo</i>	18
<i>Figura 3-5: Roca sobre y subyacente al túnel, las que definen la profundidad a la cual se emplaza</i>	18
<i>Figura 3-6: Etapa 1 de creación de la frente del modelo</i>	19
<i>Figura 3-7: Etapa 2 de creación de la frente del modelo</i>	19
<i>Figura 3-8: Etapa 3 de creación de la frente del modelo</i>	20
<i>Figura 3-9: Etapa 4 de creación de la frente del modelo</i>	20
<i>Figura 3-10: Cuña sobre la superficie de roca que simula las mediciones en el túnel como si se midieran a distintas profundidades</i>	21
<i>Figura 3-11: Roca faltante sobre y subyacente al túnel</i>	21
<i>Figura 3-12: Reflexión del material creado en el plano de dip 270 dip direction 0 para crear la totalidad del modelo</i>	22
<i>Figura 3-13: Corte transversal paralelo al eje z, donde se muestra el modelo en el cual el túnel se emplaza a una profundidad 10 [m] y sus medidas</i>	23

Figura 3-14: Tabla que se utiliza para caracterizar macizos rocosos según GSI (Hoek, 1994).....	24
Figura 3-15: Guía para determinar el factor de alteración D.....	25
Figura 3-16: Distintas regiones donde se calculan ecuaciones para el stress in-situ y el gradiente.....	31
Figura 3-17: Puntos donde se evalúa la ecuación (3.5.3.2) para encontrar la ecuación de stress para la región 1.....	32
Figura 3-18: Puntos donde se evalúa la ecuación (3.5.3.2) para encontrar la ecuación de stress para la región 2.....	33
Figura 3-19: Puntos donde se evalúa la ecuación (3.5.3.2) para encontrar la ecuación de stress para la región 3.....	34
Figura 3-20: Estado de tensiones inicial en el eje z.....	35
Figura 3-21: Estado de tensiones inicial en el eje x.....	35
Figura 3-22: Condiciones de borde. Los puntos en color azul corresponden al comando “fix” aplicado a “gridpoints” en el eje x, el color verde aplicado en el eje y, el color rojo aplicado en el eje z.....	36
Figura 3-23: Etapa 1, frete del túnel luego de ejecutar el comando “solve”.....	38
Figura 3-24: Etapa 2, frente del túnel luego de la primera excavación de 2 metros, ejecutada con el comando “model null”. Se ejecuta nuevamente el comando “solve” para encontrar el nuevo estado de equilibrio del modelo.....	38
Figura 3-25: Etapa 3, frete del túnel luego de la segunda excavación y aplicación del recubrimiento de shotcrete, el que se modela con el elemento estructural “shell” que se observa en rojo. Luego se ejecuta el comando “solve” para encontrar nuevamente el estado de equilibrio del modelo.....	39
Figura 3-26: Se muestra la etapa 18, con la aplicación de la función gráfica “transparency”, la que permite ver dentro del modelo. En esta etapa ya se han excavado 36 metros de túnel y han sido fortificados 34 metros.....	40
Figura 3-27: Etapa final con la aplicación de la función gráfica “transparency”, que permite ver la correcta ejecución de la función iterativa de excavación, recubrimiento y cálculo.....	40
Figura 3-28: Elemento estructural “shell” y sus 18 grados de libertad.....	41
Figura 3-29: Etapa final del elemento estructural en el modelo.....	41
Figura 3-30: Vista de una sección que corta perpendicularmente al eje y de un modelo estático donde el túnel se emplaza a 10[m] de profundidad, en el que se observan las secciones escogidas donde se hará el monitoreo de los puntos de control.....	42
Figura 4-1: Se muestra dentro de los puntos A, B, C y D la zona donde se aplica el registro sísmico y a los costados, las condiciones de borde “free field” (Tutorial FLAC3D v5.01, “Dynamic Analysis” 1-23).....	51
Figura 4-2: Modelo dinámico en el que se observa las caras frontal y lateral en rojo, a las que se le aplican bordes absorbentes. La cara basal, en gris, llamada bot, es donde se aplica el sismo.....	51
Figura 4-3: Vista de una sección que corta perpendicularmente al eje y, en el que se observan las secciones escogidas donde se hará el monitoreo de los puntos de control.....	52

<i>Figura 4-4: Vista dentro de un modelo, en la cual se muestran los tres puntos de control escogidos en cada sección para monitorear el desplazamiento y los esfuerzos internos.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4-5: Vista de la parte trasera del modelo, cortando al eje x, en la que se observa la zonificación alrededor del túnel, desde 0,3 [m] hasta 2 [m].....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4-6: Vista de un corte del modelo cortando el eje y, en el que se observa como en las direcciones de z y –z aumenta el tamaño de las zonas de modo que alejado del túnel, las zonas sean de mayor tamaño.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4-7: Aumento de elementos en la frente y parte trasera de los modelos</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5-1: Deformación total en z del recubrimiento del túnel al finalizar la etapa estática, amplificada por un factor de deformación de 1000, calidad buena.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-2: Deformación total en y del recubrimiento del túnel al finalizar la etapa estática, amplificada por un factor de deformación de 1000, calidad buena.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-3: Deformación total en z del recubrimiento del túnel al finalizar la etapa estática, amplificada por un factor de deformación de 500, calidad regular.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-4: Deformación total en y del recubrimiento del túnel al finalizar la etapa estática, amplificada por un factor de deformación de 500, calidad regular.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-5: Deformación total en z del recubrimiento del túnel al finalizar la etapa estática, amplificada por un factor de deformación de 150, calidad mala.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-6 Deformación total en y del recubrimiento del túnel al finalizar la etapa estática, amplificada por un factor de deformación de 150, calidad mala.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-7: Esfuerzo axial en x (longitudinal al eje del túnel) durante la secuencia de modelamiento (etapa estática) de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros desde la cara frontal del modelo hacia la frente del túnel, calidad buena</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-8: Momento en x durante la secuencia de modelamiento (etapa estática) de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros desde la cara frontal del modelo hacia la frente del túnel, calidad buena.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-9: Modelo 2D elaborado en Phase, a 40 [m] desde el techo del túnel hasta la superficie.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5-10: Esfuerzos axiales (Phase) en la base y techo de la estructura de sostenimiento, con valores 0,154 y 0,139 [MN], respectivamente, roca de calidad buena.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5-11: Esfuerzos axiales (Phase) en la base y techo de la estructura de sostenimiento, con valores 0,338 y 0,372 [MN], respectivamente, roca de calidad regular.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5-12: Esfuerzos axiales (Phase) en la base y techo de la estructura de sostenimiento, con valores 1,303 y 1,426 [MN], respectivamente, roca de calidad mala.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5-13: Esfuerzos axiales en la base y techo de la estructura de sostenimiento, con valores 0,141 y 0,153 [MN], respectivamente, modelo FLAC3D roca de calidad buena.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 5-14: Esfuerzos axiales en la base y techo de la estructura de sostenimiento, con valores 0,322 y 0,375 [MN], respectivamente, modelo FLAC3D roca de calidad regular.....</i>	<i>69</i>

<i>Figura 5-15: Esfuerzos axiales en la base y techo de la estructura de sostenimiento, con valores 1,256 y 1,437 [MN], respectivamente, modelo FLAC3D roca de calidad mala.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 5-16: Desplazamientos en x, durante el efecto dinámico, de puntos de control ubicados a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) [m] de profundidad, roca calidad buena.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 5-17: Desplazamientos en y, durante el efecto dinámico, de puntos de control ubicados a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) [m] de profundidad, roca calidad buena.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 5-18: Esfuerzo axial en x de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante la aplicación del efecto dinámico, calidad buena.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5-19: Esfuerzo de corte en x de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante la aplicación del efecto dinámico, calidad buena ...</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5-20: Momento en x de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante la aplicación del efecto dinámico, calidad buena.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5-21: Esfuerzo axial en y (perpendiculares al eje del túnel) de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante la aplicación del efecto dinámico, calidad buena.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5-22: Esfuerzo de corte en y de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante la aplicación del efecto dinámico, calidad buena ...</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5-23: Momento en y de puntos de control ubicados en el techo del túnel, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante la aplicación del efecto dinámico, calidad buena.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5-24: Historial de esfuerzos axiales en y, perpendiculares al eje del túnel, de puntos de control ubicados en el techo, a 20 (amarillo), 40 (azul), 60 (rojo) y 80 (verde) metros de profundidad desde la cara frontal del modelo, durante el proceso resolutivo completo del sistema, desde su etapa estática hasta la finalización del efecto dinámico, calidad regular.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 6-1: Diagramas de capacidad flexo-compresión del sostenimiento de shotcrete.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 6-2: Sección de un túnel que permitiría la circulación de una carretera doble vía.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 6-3: Distintos medios representados según las distintas calidades de roca, en términos de las discontinuidades</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6-4: Macizo rocoso de la ladera NW del cerro Santa Lucía, izquierda: principal discontinuidad observada, centro: discontinuidad de 10 [cm] de espesor, derecha: discontinuidades observadas.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 6-5: Macizo rocoso de la ladera SE del cerro Santa Lucía</i>	<i>92</i>
<i>Figura 6-6: Clasificación GSI para distintas zonas en el cerro Santa Lucía.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 6-7: Representación.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura A-1: Gráfico que representa el ciclo de cálculo</i>	<i>105</i>
<i>Figura A-2: Zonas de 8 nodos con traslapos de 5 tetraedros en cada uno.....</i>	<i>105</i>

Figura A-3: Algunas de las formas de elementos básicas en FLAC3D..... 106
Figura A-4: Procedimiento general para alcanzar una buena solución..... 108

Índice de gráficos

Gráfico 4-1: Registro sísmico de aceleraciones en una estación sísmica de la Universidad de Chile, ubicada en el cerro Santa Lucía, el 27 de Febrero del 2010 (Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile)	45
Gráfico 4-2: Registro sísmico corregido por línea de base	46
Gráfico 4-3: Registro de velocidades obtenido integrando el registro de aceleraciones.....	47
Gráfico 4-4: Registro de desplazamientos obtenido integrando el registro de velocidades.....	47
Gráfico 4-5: Espectro de Fourier del registro de aceleraciones	47
Gráfico 4-6: Se observa en rojo la zona del registro de aceleraciones que será utilizada para correr en los modelos dinámicos.....	54
Gráfico 4-7: Se observa en rojo la zona del registro de velocidades que será utilizada para correr en los modelos dinámicos.....	54
Gráfico 4-8: Se observa un “plot” de FLAC3D que muestra gráficamente los valores de los 3 segundos del registro de velocidades que serán utilizados para correr los modelos	55
Gráfico 4-9: Transmisión del registro de velocidades en la base del modelo, en el punto (60,0,-68) en morado y en un punto de control considerado como la superficie, en el punto (60, 0, 14) en naranja, roca de calidad buena.....	55
Gráfico 4-10: Transmisión del registro de velocidades en la base del modelo, en el punto (60,0,-68) en morado y en un punto de control considerado como la superficie, en el punto (60, 0, 14) en naranja, roca de calidad regular	56
Gráfico 4-11: Transmisión del registro de velocidades en la base del modelo, en el punto (60,0,-68) en morado y en un punto de control considerado como la superficie, en el punto (60, 0, 14) en naranja), roca de calidad mala.....	56
Gráfico 4-12: Transmisión del registro sísmico original (morado) y transmisión en superficie del registro amplificado por un factor (naranja)	57
Gráfico 5-1: Momento torsor en x para distintos puntos de control ubicados a distintas profundidades, en distintas calidades de roca.....	65
Gráfico 5-2: Esfuerzos axiales en y para distintos puntos de control ubicados a distintas profundidades, en distintas calidades de roca.....	67
Gráfico 5-3: Esfuerzos de corte en y para distintos puntos de control ubicados a distintas profundidades, en distintas calidades de roca.....	70
Gráfico 5-4: Máximos desplazamientos en x, durante el efecto dinámico, de distintos puntos de control en distintas calidades de roca	72
Gráfico 5-5: Máximos desplazamientos en y, durante el efecto dinámico, de distintos puntos de control en distintas calidades de roca	73
Gráfico 5-6: Efecto dinámico porcentual del corte perpendicular al eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas rocas.....	79
Gráfico 5-7: Efecto dinámico porcentual del momento alrededor del eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas calidades de roca.....	79
Gráfico 5-8: Efecto dinámico porcentual del esfuerzo axial perpendicular al eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas rocas	80

<i>Gráfico 6-1: Máximos desplazamientos en x de distintos puntos de control, ubicados en la base de los modelos, en distintas calidades de roca</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 6-2: Efecto dinámico porcentual del esfuerzo axial perpendicular al eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas rocas</i>	<i>84</i>
<i>Gráfico 6-3: Efecto dinámico porcentual del corte perpendicular al eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas rocas</i>	<i>86</i>
<i>Gráfico 6-4: Efecto dinámico porcentual del momento alrededor del eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas calidades de roca</i>	<i>87</i>
<i>Gráfico 6-5: Efecto dinámico porcentual del esfuerzo axial perpendicular al eje del túnel en relación a los resultados estáticos obtenidos a distintas profundidades en distintas rocas</i>	<i>87</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 3-1: Resumen de las distintas calidades de roca escogidas y sus correspondientes parámetros geotécnicos.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3-2: Resumen de las distintas calidades de roca escogidas y sus correspondientes parámetros geotécnicos y propiedades de materiales</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3-3: Propiedades del recubrimiento de los modelos</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4-1: Cálculo de frecuencias de cada modelo.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 5-1: Esfuerzos axiales, de corte y momento al finalizar la etapa estática, en puntos de control ubicados a distintas profundidades en la estructura de sostenimiento, roca de calidad buena</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 5-2: Resumen de esfuerzos axiales, de corte y momento longitudinales al finalizar la etapa estática, en puntos de control ubicados a distintas profundidades en la estructura de sostenimiento, para las 3 distintas calidades de roca</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 5-3: Resumen de esfuerzos axiales, de corte y momento en y, al finalizar la etapa estática, en puntos de control ubicados a distintas profundidades en la estructura de sostenimiento, para las 3 distintas calidades de roca</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5-4: Máximos desplazamientos observados durante el efecto dinámico de distintos puntos de control en distintas calidades de roca, en los ejes x e y.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 5-5: Resultados estáticos y dinámicos máximos de esfuerzos internos en x de distintos puntos de control en distintas calidades de roca</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 5-6: Resultados estáticos y dinámicos máximos de esfuerzos internos en y de distintos puntos de control en distintas calidades de roca</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 6-1: Desplazamientos longitudinales al eje del túnel en la base de los modelos, a distintas profundidades en distintas calidades de roca.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 6-2: Esfuerzo axial perpendicular al eje del túnel en puntos de control ubicados en el costado de la estructura de sostenimiento, a distintas profundidades y en distintas calidades de roca</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 6-3: Resumen de efecto considerable de cargas sísmicas.....</i>	<i>88</i>