

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	12
1 ANTECEDENTES	23
1.1 Deslizamientos	23
1.1.1 Causas de los deslizamientos	23
1.1.2 Los deslizamientos y su clasificación	25
1.1.3 Actividad y peligrosidad de los deslizamientos	27
1.1.4 Modelos para predecir la respuesta de los deslizamientos	29
1.1.5 Deslizamientos en el mundo	30
1.1.5.1 Consecuencias socio-económicas de los deslizamientos a nivel mundial	36
1.2 Características fisiográficas de la Cuenca Grijalva	41
1.2.1 Características principales del río Grijalva	42
1.3 Medidas de mitigación de inundaciones en el bajo Grijalva	45
1.3.1 Gestión de crecientes	48
1.4 Características generales del sistema hidroeléctrico del río Grijalva	50
1.4.1 Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez (La Angostura)	52
1.4.2 Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	53
1.4.3 Central Hidroeléctrica Netzahualcóyotl (Malpaso)	54
1.4.4 Central Hidroeléctrica Albino Corzo (Peñitas)	55
1.5 Situación meteorológica en el año 2007	57
2 CAUSA, MITIGACIÓN Y MANEJO DE LA EMERGENCIA DURANTE EL CAÍDO	62
2.1 Descripción del deslizamiento en San Juan de Grijalva, Chiapas	62
2.1.1 Ubicación del deslizamiento	62
2.1.2 Causas del deslizamiento	64
2.1.3 Daños provocados por el deslizamiento	68
2.1.4 Riesgos derivados del deslizamiento	68
2.2 Manejo de la emergencia	69
2.2.1 Excavación de un canal como solución al problema	70
2.2.1.1 Primera Etapa	73
2.2.1.2 Segunda Etapa	75
2.2.1.3 Tercera Etapa	77

2.3 Análisis hidrológico	84
2.3.1 Llenado del vaso superior	84
2.3.2 Llenado de Malpaso	84
2.3.3 Operación del Sistema de presas	87
2.3.4 Manejo de escurrimientos	89
2.3.5 Evolución de almacenamiento en Peñitas	89
3 AVENIDAS DE DISEÑO	91
3.1 Métodos de estimación de las avenidas máximas	91
3.1.1 Métodos Empíricos	92
3.1.2 Métodos Históricos	93
3.1.3 Métodos de Correlación Hidrológica de Cuencas	93
3.1.4 Métodos Directos o Hidráulicos	93
3.1.5 Métodos Estadísticos o Probabilísticos	94
3.1.6 Métodos Hidrológicos	96
3.2 Cálculo de las avenidas de diseño	97
3.2.1 Presa La Angostura	97
3.2.2 Presa Chicoasén	102
3.2.3 Presa Malpaso	105
3.2.4 Presa Peñitas	109
3.2.5 Río Tzimbac	112
3.2.6 Río Sayula	113
3.2.7 Vaso superior e inferior del deslizamiento.	116
4 SITUACIÓN ACTUAL: DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS TÚNELES INTERCOMUNICADORES	120
4.1 Objetivo, localización y dimensionamiento	120
4.1.1 Detalle de la obra	122
4.2 Análisis hidráulico de los túneles	128
4.3 Conclusiones de los análisis hidráulicos y la opción seleccionada	130
4.4 Información fisiográfica y de operación	131
4.5 Análisis hidráulico (Curvas Elevaciones-Gastos)	136
4.5.1 Curva E-G del Canal	136
4.5.2 Curva E-G de los Túneles	137
4.5.3 Curva E-G del funcionamiento conjunto Canal y Túneles	138

4.6 Análisis de tránsito de avenidas	139
5 CONCLUSIONES	147
ANEXO A	152
A1.1 Normas generales para los estudios hidrológicos	152
A1.2 Criterios generales para avenidas de diseño	152
A1.3 Norma hidrológica de 1996	153
BIBLIOGRAFÍA	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Respuesta del nivel freático a las lluvias en un deslizamiento de un conglomerado sobre un basalto (Cornforth, 2005).....	25
Figura 1.2. Clasificación de los deslizamientos (Schuster, 2002).....	26
Figura 1.3. Estados de actividad de los deslizamientos (WP/WLI, 1993).	28
Figura 1.4. Distribución de los deslizamientos en Presas (Schuster, 1988).	30
Figura 1.5. Causas de deslizamientos (Schuster, 1988)	31
Figura 1.6. Tipos de deslizamientos (Schuster, 1986)	31
Figura 1.7. Importancia de los diferentes tipos de catástrofes naturales para el periodo 1950-2000 (Munich Re, 2005). Los deslizamientos se incluyen en el apartado de “otros”.	33
Figura 1.8. Distribución de los grandes tipos de catástrofes naturales en el mundo en la segunda mitad del siglo XX (Munich Re, 2005).	34
Figura 1.9. Evolución en el número de eventos naturales catastróficos en el mundo durante los últimos 50 años (EM-DAT, 2005).....	35
Figura 1.10. Evolución del número de daños (en billones de dólares americanos) ocasionados como consecuencia de los procesos naturales ocurridos durante los últimos 50 años en el mundo (Munich Re, 2005).....	35
Figura 1.11. Deslizamiento en Sichuan, China (Diario Público, 2008).	40
Figura 1.12. Cuenca Grijalva	41
Figura 1.13. Sistema Hidroeléctrico Grijalva. Fuente: CONAGUA.....	42
Figura 1.14. Sistema hidrográfico de los ríos Grijalva y Usumacinta (Marengo, 2003).....	43
Figura 1.15. Región hidrológica Grijalva-Usumacinta (CFE, 2008).	44
Figura 1.16. Complejo hidroeléctrico Grijalva (Marengo, 2003).	50
Figura 1.17. Convergencia del viento sobre Tabasco y Chiapas.....	58
Figura 1.18. Precipitaciones del día 28 de octubre de 2007. Fuente: CONAGUA.....	58
Figura 1.19. Precipitaciones del día 29 de octubre de 2007. Fuente: CONAGUA.	59
Figura 1.20. Precipitación acumulada del 28 al 30 de octubre de 2007. Fuente: CONAGUA	59
Figura 2.1. Ubicación del deslizamiento (CFE, 2008).....	63
Figura 2.2. Imagen de satélite. Composición para efectos de comparación (Patiño, 2008).....	63

Figura 2.3. Mecanismo de falla del deslizamiento Juan de Grijalva (Arvizu, 2009).	65
Figura 2.4. Tres bloques del deslizamiento (CFE, 2008).	66
Figura 2.5. Muestra los tres bloques principales en que fue subdividido el deslizamiento (Arvizu, 2009).	66
Figura 2.6. Volúmenes del deslizamiento (CFE, 2008).	67
Figura 2.7. Comunidad Juan de Grijalva. Cortesía CPH-CFE.	68
Figura 2.8. Zona del deslizamiento entre aguas arriba y aguas abajo. Cortesía CPH-CFE.	68
Figura 2.9. Trabajos de excavación. Cortesía CPH-CFE.	71
Figura 2.10. Vista del sitio del deslizamiento días antes. Cortesía CPH-CFE.	72
Figura 2.11. Vista del sitio del deslizamiento días después. Cortesía CPH-CFE.	72
Figura 2.12. Vista del sitio del deslizamiento con el canal operando. Cortesía CPH-CFE.	73
Figura 2.13. Tres frentes de trabajo (CFE, 2008).	74
Figura 2.14. Panorámica Aérea del Canal 16-dic-2007. Cortesía CPH-CFE.	75
Figura 2.15. Canal operando. Cortesía CPH-CFE.	76
Figura 2.16. Panorámica aérea del canal operando. Cortesía CPH-CFE.	76
Figura 2.17. En color azul se muestra el trazo de la galería de drenaje, en color rojo, el trazo de la zanja dren y los barrenos ejecutados (Arvizu, 2009).	77
Figura 2.18. Zanja-dren y galería de drenaje. Cortesía CPH-CFE.	79
Figura 2.19. Zanja-dren, galería de drenaje y barrenos. Cortesía CPH-CFE.	79
Figura 2.20. Niveles piezométricos. Cortesía CPH-CFE.	80
Figura 2.21. Gastos aforados en los diferentes sistemas. Cortesía CPH-CFE.	81
Figura 2.22. Tipos de Instrumentación. CPH-CFE.	83
Figura 3.1. Avenida de diseño para un periodo de retorno $T_r = 100$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa La Angostura, Chiapas (Domínguez, 2009).	100
Figura 3.2. Avenida de diseño para un periodo de retorno $T_r = 10,000$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa La Angostura, Chiapas (Domínguez, 2009).	102
Figura 3.3. Avenida de diseño para un periodo de retorno $T_r = 100$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa Chicoasén, Chiapas (Domínguez, 2009).	103

Figura 3.4. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa Chicoasén, Chiapas (Domínguez, 2009).....	104
Figura 3.5. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa Malpaso, Chiapas (Domínguez, 2009).....	107
Figura 3.6. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa Malpaso, Chiapas (Domínguez, 2009).....	109
Figura 3.7. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa Peñitas, Chiapas (Domínguez, 2009).....	110
Figura 3.8. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Comparación informe 2009 vs informe 2006. Presa Peñitas, Chiapas (Domínguez, 2009).....	111
Figura 3.9. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Río Tzimbac.	112
Figura 3.10. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Río Tzimbac.	113
Figura 3.11. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Río Sayula.....	114
Figura 3.12. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Río Sayula.....	115
Figura 3.13. Hidrogramas de gastos máximos. Cuenca C.H. Malpaso-deslizamiento (CFE, 2009).	117
Figura 3.14. Hidrogramas de gastos máximos. Cuenca deslizamiento-C.H. Peñitas (CFE, 2009).	118
Figura 4.1. Localización de los túneles. Cortesía CPH-CFE.	120
Figura 4.2. Mapa geológico y columna litoestratigráfica de la zona de túneles. CPH-CFE.	121
Figura 4.3. Sección típica de una sección baúl, Marengo, 2005.	122
Figura 4.4. Comparación y sección de túneles. CPH-CFE.	123
Figura 4.5. Portal de entrada. CPH-CFE.	125
Figura 4.6. Perfil de la ataguía. CPH-CFE.	126
Figura 4.7. Portal de salida. CPH-CFE.	127
Figura 4.8. Localización de opción B. CPH-CFE.	130
Figura 4.9. Curva Elevaciones-Gastos correspondientes al funcionamiento hidráulico del Canal, río Grijalva, Chiapas (CFE, 2009).	137
Figura 4.10. Curva Elevaciones-Gastos correspondientes al funcionamiento hidráulico de los túneles de conducción, río Grijalva, Chiapas (CFE, 2009).....	138

Figura 4.11. Curva Elevaciones-Gastos correspondientes al funcionamiento hidráulico conjunto del Canal y de los túneles de conducción, río Grijalva, Chiapas (CFE, 2009).....	139
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación simplificada de los movimientos de ladera modificada de Corominas y García (1997) con la terminología en inglés.....	27
Tabla 1.2. Datos relativos a eventos catastróficos originados por deslizamiento a nivel mundial, víctimas y daños (EM-DAT, 2005).	37
Tabla 1.3. Datos de elevaciones y capacidades de las presas del complejo hidroeléctrico Grijalva (Marengo, 2003).	50
Tabla 1.4. Datos originales de las avenidas de diseño y de los vertedores de las presas del Complejo Grijalva (Marengo, 2003).	51
Tabla 1.5. Datos de avenidas de diseño y volúmenes para las presas del Complejo Grijalva, con base al estudio de 1993 (Marengo, 2003).	51
Tabla 1.6. Esguerrimiento histórico, regulado y controlado en el Complejo Grijalva durante 1999 (Marengo, 2003).	57
Tabla 2.1. Volúmenes de ingreso a Malpaso (González, 2007).....	85
Tabla 2.2. Volúmenes de ingreso a Malpaso (González, 2007).....	85
Tabla 2.3. Acumulados en Malpaso y Peñitas (González, 2007).....	85
Tabla 2.4. Acumulados en Malpaso y Peñitas (González, 2007).....	86
Tabla 2.5. Volúmenes (González, 2007).....	87
Tabla 2.6. Volumen acumulado y gasto promedio (González, 2007).....	88
Tabla 3.1. Avenida de diseño. Tr =100 años. La Angostura (Domínguez, 2009).....	98
Tabla 3.2. Avenida de diseño para un periodo de retorno Tr =100 años. La Angostura. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	99
Tabla 3.3. Avenida de diseño para un periodo de retorno Tr =10,000 años. La Angostura. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	101
Tabla 3.4. Avenida de diseño para un periodo de retorno Tr =100 años. Chicoasén. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	103
Tabla 3.5. Avenida de diseño para un periodo de retorno Tr =10,000 años. Chicoasén. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	104

Tabla 3.6. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Malpaso. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	106
Tabla 3.7. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Malpaso. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	108
Tabla 3.8. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Peñitas. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	110
Tabla 3.9. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Peñitas. Informe 2009 vs Informe 2006 (Domínguez, 2009).....	111
Tabla 3.10. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Tzimbac.....	112
Tabla 3.11. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Tzimbac.....	113
Tabla 3.12. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 100$ años. Sayula.....	114
Tabla 3.13. Avenida de diseño para un periodo de retorno $Tr = 10,000$ años. Sayula.....	115
Tabla 3.14. Hidrograma de avenidas asociadas a periodos de retorno de 50, 100 y 10 000 años para la cuenca comprendida entre la C.H. Malpaso y el deslizamiento (CFE, 2009).	117
Tabla 3.15. Hidrograma de avenidas asociadas a periodos de retorno de 50, 100 y 10 000 años para la cuenca comprendida entre el deslizamiento y la C.H. Peñitas (CFE, 2009).....	118
Tabla 4.1. Curva Elevaciones-Gasto en el desfogue de la C.H. Malpaso, (CFE, 2008).	128
Tabla 4.2. Curva E-A-C de la cuenca C.H. Malpaso-Deslizamiento, río Grijalva, Chiapas (CFE, 2009).....	132
Tabla 4.3. Curva E-A-C de la cuenca Deslizamiento-C.H. Peñitas, río Grijalva, Chiapas (CFE, 2009).....	133
Tabla 4.4. Gastos turbinados en las centrales hidroeléctricas Malpaso y Peñitas, río Grijalva, Chiapas (CFE, 2009).	134
Tabla 4.5. Política de operación del vertedor de la C.H. Peñitas para avenidas asociadas a periodos de retorno de 50 y 100 años (CFE, 2009).	134
Tabla 4.6. Política de operación del vertedor de la C.H. Peñitas para una avenida asociada a un periodo de retorno de 10,000 años (CFE, 2009).....	135
Tabla 4.7. Gastos descargados por el vertedor de la C.H. Malpaso para una avenida asociada a un periodo de retorno de 10,000 años (CFE, 2009).....	135
Tabla 4.8. Política de operación del vertedor de la C.H. Peñitas propuesta (CFE, 2009).....	142
Tabla 4.9. Resultados del tránsito de avenidas asociadas a diferentes periodos de retorno considerando solo el funcionamiento del Canal (CFE, 2009).	143

Tabla 4.10. Resultados del tránsito de avenidas asociadas a diferentes periodos de retorno considerando el funcionamiento conjunto Canal-Túneles de conducción (CFE, 2009).	143
Tabla 4.11. Resultados del tránsito de avenidas asociadas a diferentes periodos de retorno considerando el funcionamiento solamente de los Túneles de conducción (CFE, 2009).	144
Tabla 4.12. Resultados del tránsito de una avenida asociada a un periodo de retorno de 100 años considerando solo el funcionamiento del Canal (CFE, 2009).	144
Tabla 4.13. Resultados del tránsito de una avenida asociada a un periodo de retorno de 100 años con la política de operación propuesta para el vertedor de la C.H. Peñitas, considerando solo el funcionamiento del Canal (CFE, 2009).....	145
Tabla 4.14. Resultados del tránsito de una avenida asociada a un periodo de retorno de 10,000 años con la política de operación propuesta para el vertedor de la C.H. Peñitas, considerando solo el funcionamiento del Canal (CFE, 2009).....	145