

INTRODUCCIÓN	1
I. PRESAS EN EL MUNDO	3
I.1 Antecedentes	3
Orígenes del concepto ECC.....	3
I.2 Partes de la cortina	6
Plinto.....	6
Enrocamiento, cuerpo principal de la cortina.....	7
Cara de concreto.....	8
Juntas.....	9
Parapeto.....	10
Tratamientos.....	10
I.3 Proceso cronológico constructivo	12
I.4 Tendencias en el diseño y construcción de presas	13
Diseño de CFRD.....	13
Plinto.....	14
Cuerpo de cortina.....	15
Cara de concreto.....	16
Construcción de CFRD.....	17
Plinto.....	17
Cuerpo de cortina.....	18
Cara de concreto.....	19
II. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS	21
II.1 Generalidades	21
Localización.....	21
Descripción General del proyecto.....	23
Descripción de obras y actividades principales.....	24
Obra de desvío.....	25
Obra de contención.....	25
Obra de excedencias.....	26
Obras de generación.....	27
<i>Obra de toma y conducciones a presión</i>	27
<i>Casa de máquinas</i>	27
<i>Galería de Oscilación y túnel de desfogue</i>	28

	Página
<i>Subestación eléctrica</i>	28
Geología.....	28
Geología Regional.....	29
Geología del sitio.....	29
Sismicidad.....	29
Bancos de Material.....	31
Caminos.....	31
II.2 Procedimiento constructivo del plinto	34
Excavación.....	34
Tratamiento Superficial y acero de refuerzo.....	36
Cimbra y colocación de concreto.....	36
Tratamientos especiales.....	37
Perforación.....	37
Lavado de barreno.....	39
Saturación Previa.....	39
Inyección.....	39
II.3 Procedimiento constructivo del cuerpo principal de la cortina	42
Antecedentes.....	42
Materiales que conforman la cortina.....	42
Colocación de los materiales.....	43
Bordillo Extruido.....	43
Material 2.....	44
Material 2F.....	44
Material 3B.....	44
Material T.....	44
Material F.....	45
Material 3C.....	45
Material 4.....	46
II.4 Procedimiento constructivo de la cara de concreto	46
Acero de Refuerzo.....	47
Cimbras y colocación de concreto.....	48
II.5 Procedimiento constructivo del parapeto	51
Cimbras y colocación de concreto.....	51
II.6 Procedimiento constructivo de Juntas	52
Junta perimetral.....	53
Juntas de tensión y compresión.....	56

	Página
Junta Losa-Parapeto.....	57
Contenedores de ceniza.....	59
III. MEJORAS SOBRE PROCEDIMIENTOS ANTERIORES.....	61
III.1. Mejoras en los procesos constructivos del cuerpo principal de la cortina.....	61
Disminución de los tamaños máximos del enrocamiento.....	61
Sección 3B construida con aluvión.....	63
Colocación del material 2 con esparcidora mecánica.....	65
Introducción del material 3B cribado como respaldo del material 2.....	69
Utilización de bandas transportadoras en combinación con camiones volteo para el acarreo del material 3B de la zona de almacenaje a la cortina.....	71
III.2 Cambios en los sistemas de sellos.....	74
III.3 Cambio en el eje de la cortina.....	79
IV. ESTABILIDAD DEL ENROCAMIENTO.....	82
IV.1. Mecánica del enrocamiento.....	82
Compresibilidad.....	84
Colapso.....	85
Fluencia.....	86
IV.2 Estabilidad estática.....	86
IV.3 Estabilidad en zonas sísmicas.....	89
Factor de seguridad sísmico.....	90
Análisis dinámico.....	91
Selección del sismo de diseño.....	91
Estabilidad de taludes.....	92
Cálculo de la estabilidad del talud de la presa de ECC del P.H. La Yesca.....	92
Deformaciones permanentes.....	94
Cálculo de las deformaciones esperadas del P.H. La Yesca.....	96
IV.4 Estabilidad ante el flujo de agua por el enrocamiento.....	100
IV.5 Comparación de La Yesca con algunos proyectos similares.....	102
V. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES.....	103
FUENTES CONSULTADAS.....	107
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Principales presas de ECC por su altura.....	5
Tabla 1.2 Empleos generados y tiempo de ejecución.....	11
Tabla 1.3 Tendencia en el acero de refuerzo de la cara de concreto.....	16
Tabla 2.1 Potencia instalada, superficie de embalse y habitantes afectados de algunas C. H. comparativamente al P.H. La Yesca.....	23
Tabla 2.2 Obras y Actividades para la construcción del P.H. La Yesca.....	25
Tabla 2.3 Caminos de construcción, auxiliares y permanentes del P.H. La Yesca.....	32
Tabla 2.4 Valores GIN de referencia usado en el proyecto P.H. La Yesca.....	40
Tabla 2.5 Materiales que conforman la cortina de ECC del P.H. La Yesca.....	42
Tabla 4.1 Envolventes de resistencia.....	83
Tabla 4.2 Resultado de Calas volumétricas en cortina.....	83
Tabla 4.3 Valores de F.S. según B. Materón.....	88
Tabla 4.4 Resultados de ensayos de resistencia en enrocamientos.....	96
Tabla 4.5 coeficientes sísmicos según zonificación de la República Mexicana.....	98
Tabla 4.6 Valores índice para el enrocamiento de la cortina del P.H. La Yesca.....	98
Tabla 4.7 Comparativo de asentamientos en presas CFRD en el mundo.....	102
Tabla 4.8 Comparativa de esfuerzos cortantes en presas de ECC.....	102
Tabla 4.9 Comparativa de Factores de Seguridad en presas de ECC.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Tendencia en el incremento de la altura en presas de ECC.....	4
Figura 1.2 Plinto en una etapa de construcción temprana del cuerpo principal de la cortina P.H. La Yesca.....	6
Figura 1.3 Sección máxima de la presa ECC del P.H. La Yesca.....	7
Figura 1.4 Colocación del enrocamiento, vista general del P.H. La Yesca.....	8
Figura 1.5 Refuerzo de la losa de concreto. P.H. La Yesca.....	9
Figura 1.6 Losas de arranque P.H. La Yesca.....	12
Figura 1.7 Plinto externo y plinto interno.....	15
Figura 1.8 Diseño de plinto en la presa La Yesca, México.....	15
Figura 1.9 Plinto articulado usado en presa Santa Juana y Plucaro.....	17
Figura 1.10 Bordillo extruido del P.H. La Yesca.....	18
Figura 1.11 Diseño de junta perimetral de C.H. El Cajón.....	19
Figura 2.1 Mapa de localización del proyecto.....	22
Figura 2.2 Localización de estaciones hidrométricas y embalse.....	22
Figura 2.3 Planta de las vialidades de construcción y definitivas.....	33
Figura 2.4 Excavación plinto en ambas márgenes.....	35
Figura 2.5 Detalle cimbra lateral en el plinto.....	36
Figura 2.6 Distribución de los barrenos en el plinto en la sección del lecho del río.....	37
Figura 2.7 Distribución de los barrenos de la sección del plinto en ambas márgenes.....	38
Figura 2.8 Inyección por progresiones ascendentes de 5 m.....	40
Figura 2.9 Curva GIN de referencia.....	41
Figura 2.10 Orden de inyecciones en el plinto.....	41
Figura 2.11 Materiales que conforman la cortina de ECC del P.H. La Yesca.....	43
Figura 2.12 Etapas de construcción de la cara de concreto.....	47
Figura 2.13 Colocación de parrillas de acero de refuerzo.....	48
Figura 2.14 Arreglo general de la cimbra lateral.....	49
Figura 2.15 Detalles de cimbra deslizante.....	49
Figura 2.16 Vista Frontal de cimbra deslizante.....	50
Figura 2.17 Distribución de concreto mediante el uso de canalones.....	50
Figura 2.18 Detalle de contraflecha en el parapeto.....	51
Figura 2.19 Detalle de cimbra para parapeto.....	52
Figura 2.20 Distribución de juntas en cara de concreto.....	53
Figura 2.21 Sello de cobre inferior y superior.....	54
Figura 2.22 Perforación de los patines.....	54
Figura 2.23 Elaboración de la plantilla de mortero.....	55
Figura 2.24 Detalle de la junta perimetral (Tipo 1).....	55
Figura 2.25 Sello de cobre inferior y superior.....	56
Figura 2.26 Detalle de la junta de tensión (Tipo 2).....	56
Figura 2.27 Detalle de Junta de compresión (Tipo 3).....	57
Figura 2.28 Detalle de la junta de parapeto (Tipo 4).....	58
Figura 2.29 Detalle de unión entre juntas.....	59
Figura 2.30 Detalle de contenedor de ceniza.....	59
Figura 2.31 Composición del contenedor de ceniza.....	60

Figura 3.1 Sección de enrocamiento utilizado en la construcción de la presa de Aguamilpa en México (1994).....	61
Figura 1.3 op. Cit. (Capítulo I) Se muestra la zonificación actual de materiales.....	62
Figura 3.2 Excavación de la prueba Matsuo Akai en el material 3B,	63
Figura 3.3 Excavación terminada de la prueba Matsuo Akai	63
Figura 3.4 Inicio de la saturación inicial en la prueba Matsuo Akai.....	64
Figura 3.5 Saturación de la prueba Matsuo Akai.....	64
Figura 3.6 Vista de la cortina en donde se puede apreciar la diferencia entre los materiales 3B y T en el P.H. La Yesca.....	64
Figura 3.7 Compactación con rodillo liso vibratorio del Material 2 de la cortina de ECC del P.H. La Yesca.....	65
Figura 3.8 Calas volumétricas en el material 2.....	66
Figura 3.9 Motoconformadora colocando la primera capa de material 2 en el P.H. La Yesca.....	66
Figura 3.10 Proceso de colocación del bordillo del concreto extruido, primer paso en la colocación de una capa del material.....	67
Figura 3.11 Esparcidora Finisher, utilizada en la colocación del material 2 con excelentes resultados en el P.H. La Yesca.....	67
Figura 3.12 Equipo de compactación, rodillo RLV de 14 KN de peso estático en el tambor.....	68
Figura 3.13 Imagen que ilustra la manera en que el material 2 se recarga sobre el material 3B.....	68
Figura 3.14 Retroexcavadora afinando el talud del respaldo de material 3B para el material 2 en el P.H. La Yesca.....	69
Figura 3.15 Material 3B cribado colocado en montículos (izquierda) y motoconformadora esparciendo el material (derecha).....	70
Figura 3.16 Material 3B cribado colocado, antes de ser compactado.	70
Figura 3.17 Plano en el que se muestra la ubicación de la banda transportadora de margen derecha desde la zona de almacenamiento del material 3B hasta la cortina.....	72
Figura 3.18 Equipo de trituración utilizado en el procesamiento del aluvión y del enrocamiento en el P.H. La Yesca.....	73
Figura 3.19 Junta Perimetral de la C.H. Aguamilpa.....	75
Figura 2.24 op. Cit. (Capítulo II, página 55) Junta perimetral de la C.H. El Cajón.....	76
Figura 2.26 op. Cit. (Capítulo II, página 56) Junta de tensión de la C.H. El Cajón.....	77
Figura 3.20 Junta de compresión de la C.H. El Cajón.....	77
Figura 2.27 op. Cit. (Capítulo II, página 57) Junta de compresión del P.H. La Yesca.....	78
Figura 3.21 Monolito y túnel falso en el portal de entrada de los túneles de desvío.....	79
Figura 3.22 Portal de entrada de desvío y ataguía aguas arriba.....	80
Figura 3.23 Reubicación del eje de la cortina.....	80
Figura 4.1 Número de estabilidad para análisis circulares.....	87
Figura 4.2 Parámetros involucrados en el análisis de la estabilidad del talud.....	93
Figura 4.3 Ajuste a los factores de seguridad del análisis seudoestático para el cálculo de deformaciones máximas producidas por el sismo.....	95
Figura 4.4 Deformaciones previstas con un análisis seudoestático.....	96
Figura 4.5 Regionalización Sísmica de la República Mexicana, tomado de Manual de Diseño de Obras Civiles de CFE.....	97