

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Descripción de la metodología para el recrecimiento
de una presa existente, 2020**

Jorge Santiago Sardón Paredes
Alexander Yván Cuellar Barrera

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Arequipa, 2021

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1 Pregunta General.....	3
1.2.2 Preguntas Específicas	3
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.1 Objetivos Específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.5 IMPORTANCIA	4
1.6 DELIMITACIÓN.....	4
1.6.1 Delimitación Temporal	4
1.6.2 Delimitación Espacial	4
1.7 HIPÓTESIS	5
1.8 VARIABLES	5
1.8.1 Operacionalización de Variables	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2 BASES TEÓRICAS.....	11
2.2.1 Requerimientos Generales	11
2.2.2 Ventajas de una Presa del Tipo C.F.R.D	12
2.2.3 Tipos de Rocas que se Utilizaría como Material de Enrocado	12
2.2.4 Módulos de Deformabilidad de los Materiales	13
2.2.5 Zonificación de una Presa del Tipo C.F.R.D	14
2.2.6 Pantalla de Concreto de la Presa	17
2.2.7 Causas de Falla en Presas de Tierra y Enrocado.....	18

2.2.8	Análisis de Estabilidad Durante la Fase de Construcción.....	33
2.2.9	Ensayos Preliminares In Situ	35
2.3	DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS BÁSICOS.....	37
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		39
3.1	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	40
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS	40
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS		41
4.1	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRESA EXISTENTE ...	41
4.1.1	Características Generales del Cuerpo de Presa.....	44
4.1.2	Características Geotécnicas de los Estribos	44
4.1.3	Características Geotécnicas de la Cimentación.....	47
4.1.4	Características Geotécnicas de la Cimentación del Plinto.....	48
4.1.5	Características del Plinto Existente	49
4.1.6	Características y Condiciones de la Cara de Concreto	50
4.1.7	Características y Condiciones del Sistema de Evacuación de Excedencias (Aliviadero Existente)	52
4.1.8	Características y Condiciones de la Descarga de Fondo Provisional (Presa Existente).....	54
4.2	Criterios de Diseño.....	55
4.2.1	Parámetro Geológico y Geotécnico.....	55
4.2.2	Factores de Seguridad Mínimos y Aceleración de Diseño	57
4.2.3	Fundación de la Presa	57
4.2.4	Excavaciones Superficiales	58
4.2.5	Plinto y Cara de Concreto.....	59
4.2.6	Coficiente Sísmico de Diseño.....	60
4.2.7	Criterios para el Recrecimiento de una Presa.....	60
4.3	DESCRIPCIÓN DE LAS INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS DE CAMPO	62
4.3.1	Excavación de Calicatas.....	62
4.3.2	Sondeos Diamantinos	63
4.3.3	Sondeos Geofísicos	65

4.3.4	Pruebas de Permeabilidad.....	65
4.3.5	Canteras de Préstamo	70
4.4	Implementación de las Obras Hidráulicas Necesarias para el Recrecimiento de la Presa (Fase II).....	71
4.4.1	Selección del Tipo de Recrecimiento	71
4.4.2	Berma Intermedia de Contacto Fase I – Fase II	71
4.4.3	Definición del Nivel de Cimentación	72
4.4.4	Zonificación del Cuerpo de la Presa.....	72
4.4.5	Niveles y Volúmenes de Almacenamiento	74
4.4.6	Aliviadero Considerado para la Fase II (Recrecimiento).....	75
4.4.7	Descarga de Fondo Considerada para la Fase II (Recrecimiento)	77
4.5	DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO.....	79
4.5.1	Estimación de Parámetros Geotécnicos para Diseño.....	79
4.5.2	Estimación de Parámetros Sísmicos de Diseño	80
4.5.3	Análisis de Estabilidad de Taludes	80
4.5.4	Análisis de la Deformación en el Cuerpo de la Presa a Partir de la Instrumentación Existente.....	87
4.5.5	Análisis de Filtraciones	94
4.5.6	Diseño Estructural del Plinto.....	105
4.5.7	Diseño Estructural de la Cara de Concreto	109
	CONCLUSIONES.....	121
	RECOMENDACIONES	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
	ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de Variables.....	5
Tabla 2.	Granulometría Propuesta por Sherard.....	14
Tabla 3.	Dosificación de Concreto para los Bordillos Extruidos	18
Tabla 4.	Métodos de Equilibrio Límite	24
Tabla 5.	Estimación de Disipación de Presiones Intersticiales en Núcleos de Presas de Materiales Suelos (Sherard, 1963)	33
Tabla 6.	Niveles y Volúmenes de Almacenamiento en la Fase I (Presa Existente)	41
Tabla 7.	Dimensiones del Plinto en el Estribo Derecho de la Presa Existente	49
Tabla 8.	Dimensiones del Plinto en el Lecho del río de la Presa Existente	50
Tabla 9.	Dimensiones del Plinto en el Estribo Izquierdo de la Presa Existente.....	50
Tabla 10.	Espesor de la Cara de Concreto para Distintas Láminas de Agua.....	51
Tabla 11.	Dimensiones de la Cara de Concreto de la Presa Existente.....	51
Tabla 12.	Caudales Máximos del río Huancabamba para Diferentes Tr	53
Tabla 13.	Requerimientos para Estabilidad de Excavaciones Superficiales.....	57
Tabla 14.	Factores de Seguridad de Capacidad Portante de Cimentaciones Superficiales.	57
Tabla 15.	Resumen de las Calicatas Realizadas.....	62
Tabla 16.	Resumen de los Sondeos Diamantinos Realizados.....	63
Tabla 17.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-01	68
Tabla 18.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-02	68
Tabla 19.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-03	69
Tabla 20.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-04	69
Tabla 21.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-05	69
Tabla 22.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-06	70
Tabla 23.	Registros de Permeabilidades Sondeo DHL-07	70
Tabla 24.	Ubicación de Canteras de Préstamo	71
Tabla 25.	Distribución de Materiales en Zonificación de la Presa.....	74
Tabla 26.	Niveles y Volúmenes de Almacenamiento.....	75
Tabla 27.	Características Hidráulicas del Aliviadero de la Presa, Fase II.....	75
Tabla 28.	Características Hidráulicas de la Ventana del Aliviadero de la Presa, Fase II	76
Tabla 29.	Parámetros Geomecánicos de Diseño	80
Tabla 30.	Coeficientes de Aceleración Sísmica de Diseño	80
Tabla 31.	Factores de seguridad, etapa de construcción.....	86

Tabla 32.	Factores de seguridad, etapa de operación.	86
Tabla 33.	Valores de Módulos de Deformación Obtenidos para el Depósito Aluvial de la Cimentación de la Presa	88
Tabla 34.	Valores de Obtenidos de las Celdas Eléctricas de Asentamiento	89
Tabla 35.	Valores de Obtenidos de las Celdas Hidráulicas de Asentamiento	90
Tabla 36.	Coeficientes de Permeabilidad Empleados en el Análisis.....	99
Tabla 37.	Resultados de los Análisis de Filtraciones.....	104
Tabla 38.	Gradiente Hidráulico [J] Permisible según la Roca de Fundación del Plinto	105
Tabla 39.	Gradiente Hidráulico Permisible según RMR de la Fundación del Plinto	106
Tabla 40.	Fuerzas Resultantes en los Apoyos de la Cara de Concreto.....	108
Tabla 41.	Espesores Recomendados para la Cara de Concreto de una Presa CFRD	110
Tabla 42.	Datos de Entrada y Valor de la Carga Puntual Obtenida por el Método de M-O	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Zonificación de una Presa del Tipo C.F.R.D.....	16
Figura 2.	Zonificación Alternativa de una Presa del Tipo C.F.R.D.	16
Figura 3.	Diferentes Zonas en las que se Encuentra Conformada una Presa del Tipo C.F.R.D.	16
Figura 4.	Agrietamiento Transversal por Asentamientos Diferenciales en la Corona....	20
Figura 5.	Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb.....	22
Figura 6.	Esquema de las Fuerzas que Actúan sobre una Rebanada.....	23
Figura 7.	Esquema Estático del Método Morgenstern-Price.	26
Figura 8.	Geometría de un Talud Discretizado en Elementos Triangulares.....	29
Figura 9.	Esquema de Proceso de Discretización.	30
Figura 10.	Partes de un Sistema a Analizar Mediante Elementos Finitos.....	31
Figura 11.	Vista desde Aguas Arriba hacia Aguas Abajo de la Presa Existente.....	42
Figura 12.	Sección Tipo de la Presa Existente.	43
Figura 13.	Vista en Planta de la Presa Existente	44
Figura 14.	Planta de la Geología Local y Estructural, Presa Existente	46
Figura 15.	Perfil Geológico del Estribo Izquierdo, Eje de Presa Existente.....	46
Figura 16.	Perfil Geológico del Estribo Derecho, Eje de Presa Existente.....	47
Figura 17.	Leyenda de Perfiles Geológicos, Eje de Presa Existente	47
Figura 18.	Perfil longitudinal por el eje del plinto con la cortina de inyecciones y muro diafragma.....	48
Figura 19.	Sección Tipo de Plinto, Presa Existente	48
Figura 20.	Conformación de Paneles, Losa de Concreto en Presa Existente	52
Figura 21.	Vista Frontal del Ingreso al Aliviadero (Presa Existente)	54
Figura 22.	Corte Transversal del Aliviadero (Presa Existente).....	54
Figura 23.	Plataforma de Maniobras, Descarga de Fondo Provisional (Presa Existente)55	
Figura 24.	Sección Tipo de Túnel, Descarga de Fondo Provisional (Presa Existente) ...	55
Figura 25.	Ejecución de Calicatas Realizadas en la Cimentación de la Presa (Fase 02).....	63
Figura 26.	Vista en Planta de la Ubicación de los Sondeos Diamantinos Realizados en la Cimentación de Presa con Recrecimiento (Fase 02).	64
Figura 27.	Ejecución del Sondeo Diamantino DHL-07 (Estribo Derecho).....	64
Figura 28.	Vista en Planta de la Ubicación de los Sondeos Geofísicos Realizados en la Cimentación de la Presa con Recrecimiento (Fase 02).	65

Figura 29. Perfil Longitudinal de la Permeabilidad, Eje de Presa.....	66
Figura 30. Detalle de Berma Intermedia de Contacto, Fase I – Fase II	72
Figura 31. Zonificación de la Presa Considerando el Recrecimiento (Fase II).	74
Figura 32. Esquema Tridimensional del Ingreso al Aliviadero de la Presa Considerando el Recrecimiento (Fase II).	76
Figura 33. Sección Transversal del Aliviadero con Compuertas Radiales (Fase II)	77
Figura 34. Sección Transversal de la Descarga de Fondo para el Recrecimiento de la Presa (Fase II)	78
Figura 35. Tipo de Compuerta Stop Logs	79
Figura 36. Análisis de estabilidad aguas arriba en condiciones estáticas (Sin sismo), considerando la estructura en su fase 02 y un nivel embalse actual (1120 m.s.n.m.).....	81
Figura 37. Análisis de estabilidad aguas arriba en condiciones pseudoestáticas (Con sismo) para un periodo de retorno de 5,000 años, considerando la estructura en su fase 02 y un nivel de embalse actual (1120 m.s.n.m.)	81
Figura 38. Análisis de estabilidad aguas arriba en condiciones pseudoestáticas (Con sismo) para un periodo de retorno de 10,000 años, considerando la estructura en su fase 02 y un nivel de embalse actual (1120 m.s.n.m.)	82
Figura 39. Análisis de estabilidad aguas arriba en condiciones estáticas (Sin sismo), considerando la estructura en su fase 02 y un nivel de embalse proyectado (1160 m.s.n.m.).....	82
Figura 40. Análisis de estabilidad aguas abajo en condiciones estáticas (Sin sismo), considerando la estructura en su fase 02 y sin nivel de embalse.	83
Figura 41. Análisis de estabilidad aguas abajo en condiciones pseudoestáticas (Con sismo), considerando la estructura en su fase 02 para un periodo de retorno de 5,000 años y sin embalse.....	83
Figura 42. Análisis de estabilidad aguas abajo en condiciones pseudoestáticas (Con sismo), considerando la estructura en su fase 02 para un periodo de retorno de 10,000 años y sin embalse.....	84
Figura 43. Análisis de estabilidad aguas abajo en condiciones estáticas (Sin sismo), considerando la estructura en su fase 02 y con un embalse proyectado (1160 m.s.n.m.).....	84
Figura 44. Análisis de estabilidad aguas abajo en condiciones pseudoestáticas (Con sismo), considerando la estructura en su fase 02 para un periodo de retorno de 5,000 años y con un embalse proyectado (1160 m.s.n.m.)	85

Figura 45. Análisis de estabilidad aguas abajo en condiciones pseudoestáticas (Con sismo), considerando la estructura en su fase 02 para un periodo de retorno de 10,000 años y con un embalse proyectado (1160 m.s.n.m.).	85
Figura 46. Sección 6-6, Asentamiento en mm en el año 2009.	91
Figura 47. Sección 6-6, Asentamiento en mm en el año 2017.	91
Figura 48. Sección 8-8, Asentamiento en mm en el año 2009.	92
Figura 49. Sección 8-8, Asentamiento en mm en el año 2017.	92
Figura 50. Sección 10-10, Asentamiento en mm en el año 2009.	93
Figura 51. Sección 10-10, Asentamiento en mm en el año 2017.	93
Figura 52. Vista en Planta de Asentamientos en mm	94
Figura 53. Vista en planta pie de talud aguas abajo, ubicación de aforadores existentes	95
Figura 54. Nivel Piezométrico (29/08/2019), Sección 6-6, Piezómetros de Cuerda Vibrante (PE 04; PE 05; PE 06; PE 07), Piezómetro Tipo Casa Grande Pz-3.	96
Figura 55. Nivel Piezométrico (29/08/2019), Sección 8-8, Piezómetros de Cuerda Vibrante (PE 08; PE 10; PE 11; PE 12), Piezómetro Tipo Casa Grande Pz-2.	97
Figura 56. Nivel Piezométrico (29/08/2019), Sección 10-10, Piezómetros de Cuerda Vibrante (PE 13; PE 14; PE 15; PE 16; PE 17), Piezómetro Tipo Casa Grande Pz-3.	98
Figura 57. Coeficientes de permeabilidad, sección de presa (Fase I), con pantalla plástica actual existente – caso 01.	100
Figura 58. Líneas equipotenciales de la carga hidráulica y secciones de caudales unitarios, sección de presa (Fase I), con pantalla plástica actual existente – caso 01.	100
Figura 59. Coeficientes de permeabilidad, sección de presa (Fase II), con pantalla plástica actual existente – caso 02.	101
Figura 60. Líneas equipotenciales de la carga hidráulica y secciones de caudales unitarios, sección de presa (Fase II), con pantalla plástica actual existente – caso 02.	101
Figura 61. Coeficientes de permeabilidad, sección de presa (Fase II), con pantalla plástica actual existente y pantalla plástica proyectada en la corona de presa existente – caso 03.	102

Figura 62. Líneas equipotenciales de la carga hidráulica y secciones de caudales unitarios, sección de presa (Fase II), con pantalla plástica actual existente y pantalla plástica proyectada en la corona de presa existente – caso 03.....	102
Figura 63. Coeficientes de permeabilidad, sección de presa (Fase II), con pantalla plástica actual existente y pantalla plástica e inyecciones de cemento proyectado en la corona de presa existente – caso 04.....	103
Figura 64. Líneas equipotenciales de la carga hidráulica y secciones de caudales unitarios, sección de presa (Fase II), con pantalla plástica actual existente y pantalla plástica e inyecciones de cemento proyectadas en la corona de presa existente – caso 04.....	103
Figura 65. Detalle de Plinto en Corona de Presa Existente, Fase II	106
Figura 66. Distribución Gravitacional de la Carga Viva en Toda la Losa	111
Figura 67. Distribución de la Presión Hidrostática Perpendicular a la Losa.....	112
Figura 68. Aproximación de la Presión del Agua Debido al Sismo con un $T_r = 5,000$ años	113
Figura 69. Distribución de Presiones del Agua Debido al Sismo.....	113
Figura 70. Distribución de la Presión Activa del Suelo Debida al Sismo para un $T_r = 5,000$ años.	116
Figura 71. Espectro de Aceleraciones para un $T_r = 5,000$ años.....	116
Figura 72. Distribución de la Envolvente de la fuerza Cortante en Toda la Losa	118
Figura 73. Distribución de la Envolvente de las fuerzas Axiales en Toda la Losa	119
Figura 74. Distribución de la Envolvente de Momentos Flectores en Toda la Losa.	120

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-01)	128
ANEXO 2	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-02)	132
ANEXO 3	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-03)	136
ANEXO 4	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-04)	140
ANEXO 5	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-05)	144
ANEXO 6	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-06)	149
ANEXO 7	LOGUEO DE PERFORACIÓN (SONDEO DHL-07)	155
ANEXO 8	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-01)	160
ANEXO 9	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-02)	169
ANEXO 10	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-03)	177
ANEXO 11	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-04)	186
ANEXO 12	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-05)	194
ANEXO 13	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-06)	203
ANEXO 14	REGISTRO DE PERMEABILIDADES (SONDEO DHL-07)	213

RESUMEN

Como base se tuvo en cuenta a una presa existente del tipo enrocado con cara de concreto C.F.R.D. “Concrete Face Rockfill Dam”, cuya primera etapa (fase I) de su construcción inicio en marzo del 2006 y concluyó en marzo del 2009. El presente proyecto de investigación, tiene como objetivo principal describir el procedimiento adecuado para realizar el recrecimiento de una presa existente del tipo enrocado con cara de concreto C.F.R.D., de esta forma se podrá aumentar la oferta hídrica para el desarrollo de diferentes proyectos.

La metodología empleada se encuentra a nivel descriptivo. La recolección de datos, se realizó mediante el diagnóstico de la situación actual de la infraestructura de la presa existente y durante la ejecución de los sondeos en diamantina desarrollados en los puntos de perforación ya asignados, usando para tal fin diversos métodos y técnicas con la finalidad de encontrar la mejor solución al problema identificado con mayor profundidad y plenitud, teniendo en cuenta lo ya experimentado y observado y empleando en su desarrollo el uso de software especializado e información bibliográfica.

Preliminarmente de acuerdo con toda la información recolectada en el diagnóstico realizado, se observa que la presa existente, reúne todas las condiciones necesarias para acondicionar un proyecto de recrecimiento de esta, permitiendo con ello aumentar la oferta hídrica en un futuro cercano. Asimismo, con el respaldo de las investigaciones geotécnicas de campo y sus respectivos criterios de diseño, se tiene el sustento necesario que pueda posibilitar el proyecto de recrecimiento de una presa y consecuentemente con la integración de todas las componentes expuestas en el presente proyecto de investigación, se ha logrado la sostenibilidad necesaria para la descripción del recrecimiento de una presa existente, permitiendo con ello atender las necesidades actuales con proyección a demandas hídricas futuras; teniendo en cuenta su correcto dimensionamiento, estabilidad, seguridad y buen funcionamiento. Finalmente, con los resultados obtenidos se tiene la descripción del procedimiento adecuado para realizar el recrecimiento de una presa existente del tipo enrocado con cara de concreto C.F.R.D. “Concrete Face Rockfill Dam” y con ello poder aumentar la oferta hídrica para el desarrollo de diferentes proyectos.

Palabras claves: CFRD (Concrete Face Rockfill Dam); Cara de concreto; Plinto; Recrecimiento, Demanda Hídrica, Investigaciones Geotécnicas.

ABSTRACT

As a base took, an existing dam concrete face rockfill (C.F.R.D.) “Concrete Face Rockfill Dam”, whose first stage (phase I) of its construction began in March 2006 and concluded in March 2009. The main objective of this project is to describe the appropriate procedure to regrow an existing dam of the type concrete face rockfill (CFRD), in this way it will be possible to increase the water supply for the development of different projects.

The methodology used is at a descriptive level. The data collection was carried out by diagnosing the current situation of the existing dam infrastructure and, during the execution of the diamond probe, developing the drilling points already assigned, using for this purpose various methods and techniques in order to find the best solution to the problem identified in greater depth and completeness, taking into account what has already been experienced and observed, using specialized software and bibliographic information in its development.

Preliminarily, according to all the information collected in the diagnosis made, it is observed that the existing dam meets all the necessary conditions to prepare a regrowth project for it, thereby allowing an increase in water supply in the near future. Likewise, with the support of geotechnical field investigations and their design criteria, we have the necessary support that can make the regrowth project of a dam possible can be provided. And consequently with the integration of all the components exposed in this research project, the necessary sustainability has been achieved for the description of the regrowth of an existing dam, thus allowing to meet current needs with projection to future water demands, taking into account its correct dimensioning, stability, safety and good operation. Finally, with the results obtained, it is shown that it is possible to describe the appropriate procedure to make the regrowth of an existing dam of the type rockfill with concrete face C.F.R.D. “Concrete Face Rockfill Dam” and with it to be able to increase the water supply for the development of different projects.

Keywords: CFRD (Concrete Face Rockfill Dam); Concrete face, Plinth, Regrowth, Hydric demand, Geotechnical Investigations.