



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVÍL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: DISEÑO DE LAS CELDAS EN HORMIGON ARMADO DE LAS
PRESAS DE LOS RIOS EL SALTO Y PITA PARA LA RETENCIÓN DE
LODOS DEL VOLCÁN COTOPAXI**

**AUTORES: MOGOLLON CHAVEZ, JORGE RAÚL
PALACIOS POMBOSA, ALBA LUCÍA**

DIRECTOR: ING. PEÑAHERRERA GALLEGOS ESTUARDO JAVIER

SANGOLQUI - ECUADOR

2017



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO DE LAS CELDAS EN HORMIGÓN ARMADO DE LAS PRESAS DE LOS RÍOS EL SALTO Y PITA PARA LA RETENCIÓN DE LODOS DEL VOLCÁN COTOPAXI”** ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **PALACIOS POMBOSA ALBA LUCÍA** y **MOGOLLÓN CHÁVEZ JORGE RAÚL** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 17 de julio de 2017

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Estuardo Peñaherrera', is positioned above a horizontal line.

Ing. Estuardo Peñaherrera
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **PALACIOS POMBOSA ALBA LUCÍA** y **MOGOLLÓN CHÁVEZ JORGE RAÚL**, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO DE LAS CELDAS EN HORMIGÓN ARMADO DE LAS PRESAS DE LOS RÍOS EL SALTO Y PITA PARA LA RETENCIÓN DE LODOS DEL VOLCÁN COTOPAXI**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros, considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 17 de julio del 2017

PALACIOS POMBOSA ALBA

C.C. 1711013498

MOGOLLÓN CHÁVEZ JORGE

C.C. 1715361034



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **PALACIOS POMBOSA ALBA LUCÍA** y **MOGOLLÓN CHÁVEZ JORGE RAÚL**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución, el presente trabajo de titulación **“DISEÑO DE LAS CELDAS EN HORMIGÓN ARMADO DE LAS PRESAS DE LOS RÍOS EL SALTO Y PITA PARA LA RETENCIÓN DE LODOS DEL VOLCÁN COTOPAXI”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 17 de julio del 2017

PALACIOS POMBOSA ALBA

C.C. 1711013498

MOGOLLÓN CHÁVEZ JORGE

C.C. 1715361034



DEDICATORIA

A Félix y Vivi, mis amados padres, quienes a lo largo de mi vida supieron guiarme con mucho amor y apoyo incondicional para poder lograr mis metas y triunfar, sin ellos no hubiera sido posible.

A mis hermanas: Ghannina, Salomé y Dessiré, por quienes siempre he querido ser una persona de bien y un hermano ejemplar.

A mi amada esposa Valeria y a mi pequeña luz Victoria Raphaella, mi hermosa familia, quienes me apoyan e inspiran en todo momento.

Por último, y con gran afecto le dedico este trabajo a mi abuelita Teresita, que sé que desde el cielo se regocija con este gran sueño el cual siempre me inculcó.

Jorge Raúl Mogollón Chávez

A mi madre y amiga Gladis Pombosa quien con su paciencia me impulsó a cumplir esta meta.

A mi hermano Pablo mi fiel amigo incondicional.

A mis sobrinos Valeria, Mario Andrés y Martín, quiero que sepan que nunca es tarde para volver a empezar y todos los sueños se cumplen, solo depende de sus ganas y empuje.

A mi abuelito Franklin y mi familia quienes creyeron en mí.

Alba Lucía Palacios Pombosa



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme y darme fortaleza para conseguir este anhelado objetivo.

A mis padres Félix y Viviana que siempre están ahí para sostenerme; a mi madre que me ha enseñado a ser un hombre de bien y útil para la sociedad; a mi padre que a su manera me ha enseñado a ser fuerte de carácter, y ha confiado en mí muchas veces para ser el hombre de la casa. Gracias infinitas viejitos.

A mis hermanitas, por darme su amor incondicional. Especialmente a Salo por ese afecto especial que me ha demostrado, espero ser tu modelo a seguir.

A Vale, quien constantemente me brinda su amor sincero, apoyo, comprensión y me ha dado una hermosa razón para seguir triunfando en este camino. Gracias amor mío.

A Albita, por su gran aporte a este trabajo, estoy seguro de que su vida será llena de éxitos a nivel profesional y personal.

A mis amigos de la vida, aquellos que hicieron de este camino, un trayecto lleno de anécdotas, risas y buenos recuerdos. Gracias por brindarme su amistad.

Para culminar, agradezco a mis maestros por compartir conmigo sus conocimientos para ser un buen profesional, de manera especial al Ing. Estuardo Peñaherrera por su colaboración con el presente trabajo de titulación.

Jorge Raúl Mogollón Chávez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que no me ha dejado sola nunca y me permitió llegar a este punto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que me acogió por estos años y me dio la oportunidad de graduarme en tan prestigiosa universidad.

A mi madre Gladys Pombosa, el pilar fundamental de mi hogar quien me ha apoyado incondicionalmente siempre en todo momento de mi vida ayudándome en los tiempos más difíciles.

A mi hermano y amigo Pablo R. Palacios que me ha brindado su respaldo en todo sentido e impulsado a seguir adelante y cumplir mis sueños, a mi padre Pablo P. Palacios quien ha estado conmigo alentándome a culminar una etapa más.

A mi familia, a mi abuelito Franklin, a mis tías Alby y Marce, primo y confidente Daniel quienes han sido parte de este camino y siempre han estado presentes.

Al ingeniero Jonathan Carrión que fue participe del proyecto brindando su ayuda en todo tiempo.

A Jorge por su colaboración y apoyo en este proyecto.

A mis profesores que han sabido impartir sus enseñanzas dando lo mejor de ellos, especialmente al Ing. Estuardo Peñaherrera quien ha sido un amigo y guía en este proyecto de titulación.

A mis amigas que me acompañaron en esta etapa hasta el final.

A mis bebés Teo y Sammy que hacen mi vida más feliz.

Alba Lucía Palacios Pombosa

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPITULO 1	1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1. Definición del problema	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Alcance del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia.....	3
1.5. Metodología.....	4
CAPITULO 2	5
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	5
2.1. Estudio Bibliográfico	5
2.2. Localización geográfica del volcán Cotopaxi.....	5
2.3. Vulnerabilidad ante un evento eruptivo del Volcán Cotopaxi.....	5
2.4. Fenómenos volcánicos	6
2.5. Afectación de la cuenca norte debido a los lahares	11
2.6. Definición de una presa mixta.....	12
2.7. Análisis de la refracción sísmica desarrollado por (Bonito & Naranjo, 2016) 12	
2.7.1. Punto 1 para el río El Salto.....	14

2.7.1.1.	Velocidad de onda de compresión V_p	14
2.7.1.2.	Velocidad de onda de corte V_s	15
2.7.2.	Punto 3 para el río Pita.....	18
2.7.2.1.	Velocidad de onda de compresión V_p	18
2.7.2.2.	Velocidad de onda de corte V_s	20
2.7.3.	Tipos de perfil de suelo según sísmica de refracción	22
2.7.4.	Capacidad portante del suelo.....	24
2.7.4.1.	Ensayo de corte directo	26
2.7.5.	Esfuerzo admisible del suelo.....	27
2.8.	Análisis de las fuerzas actuantes sobre las Presas.....	31
2.8.1.	Geometría de la presa del río El Salto.....	31
2.8.2.	Geometría de la presa del río Pita.....	33
2.8.3.	Análisis de estados de carga.....	34
2.8.3.1.	Cargas Permanentes.....	35
2.8.3.1.1.	Cargas por peso propio y momento estabilizador.....	36
2.8.3.2.	Cargas dinámicas	36
2.8.3.2.1.	Lahares	37
2.8.3.2.2.	Fuerza de impacto	39
2.8.3.2.3.	Cargas por Sismo	42
2.8.3.2.4.	Cargas por Viento	44
2.8.4.	Cálculo de la presión de contacto.....	46
2.8.4.1.	Presa Río El Salto	46
2.8.4.2.	Presa Río Pita.....	47
CAPITULO 3	.....	49
MODELAMIENTO	.....	49
3.1.	Introducción	49
3.2.	Materiales.....	49
3.3.	Definición de elementos.....	49
3.4.	Geometría de la Presa.....	50
3.4.1.	Río El Salto	50
3.4.2.	Río Pita	51
3.5.	Secciones.....	51
3.6.	Elaboración del modelo	52
3.6.1.	Visualización del modelo	53

3.6.2.	Aplicación de cargas y combinaciones	54
3.6.3.	Análisis modal espectral.....	56
3.6.3.1.	Análisis lineal estático.....	59
3.6.3.2.	Combinaciones de Carga	60
CAPITULO 4	.....	61
ANÁLISIS DE RESULTADOS	.....	61
4.1.	Determinación de deformaciones y esfuerzos	61
4.1.1.	Consideraciones	61
4.1.1.1.	Deflexiones.....	61
4.1.1.2.	Esfuerzos.....	62
4.1.1.2.1.	Compresión.....	62
4.1.1.2.2.	Tracción	63
4.2.	Diseño de elementos	64
4.2.1.	Recálculo del factor de deslizamiento presa Rio El Salto	65
4.2.2.	Recálculo del factor de deslizamiento presa Río Pita	67
4.2.3.	Convenciones	69
4.2.4.	Momentos de diseño	70
4.2.5.	Refuerzo mínimo	74
4.3.	Análisis de secciones finales	75
4.3.1.	Diseño presa río El Salto.....	75
4.3.1.1.	Diseño contrafuerte externo.....	75
4.3.1.2.	Diseño contrafuerte interno.....	76
4.3.1.3.	Diseño pantalla principal.....	77
4.3.1.4.	Diseño paredes de arriostramiento	77
4.3.2.	Diseño presa río pita	78
4.3.2.1.	Diseño contrafuerte externo.....	78
4.3.2.2.	Diseño contrafuerte interno.....	79
4.3.2.3.	Diseño pantalla principal.....	79
4.3.2.4.	Diseño paredes de arriostramiento	80
4.3.3.	Diseño de alcantarilla	81
4.3.3.1.	Geometría de la alcantarilla	82
4.3.3.2.	Diseño Tramo 1 (h=46.50 m)	84
4.3.3.3.	Diseño Tramo 2 (h= 24.71 m)	86
4.3.3.4.	Diseño Tramo 3 (h= 12m).....	88

4.4.	Verificación esfuerzo zapata - reacciones.....	90
4.4.1.	Río El salto.....	91
4.4.2.	Río Pita	92
4.5.	Cimentaciones.....	93
4.5.1.	Corte unidireccional.....	94
4.5.2.	Diseño de la armadura	95
CAPITULO 5	.....	96
PRESUPUESTO	.....	96
5.1.	Presupuesto Referencial.....	96
5.1.1.	Cantidades de acero para presa de río El Salto	96
5.1.2.	Cantidades de acero para presa de río Pita	97
CAPITULO 6	.....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	100
6.1.	Conclusiones	100
6.2.	Recomendaciones	101
6.3.	Referencias bibliográficas	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los perfiles de suelo.....	23
Tabla 2 Clasificación de las rocas según su resistencia a compresión uniaxial	24
Tabla 3 Valores de resistencia de la matriz rocosa sana por datos seleccionados	25
Tabla 4 Cohesión y ángulo de fricción de la roca.....	25
Tabla 5 Resumen de roca.....	27
Tabla 6 Propiedades mecánicas de los materiales	34
Tabla 7 Cargas y momentos para la presa del río El Salto	36
Tabla 8 Cargas y momentos presa del río Pita	36
Tabla 9 Datos generales del casquete glaciar	37
Tabla 10 Aporte del glaciar	38
Tabla 11 Altura de la presa según el volumen del embalse	38
Tabla 12 Parámetros de las cuencas del río El Salto y Pita	39
Tabla 13 Cálculo de la fuerza de impacto para las presas de El Salto y Pita	39
Tabla 14 Parámetros para el cálculo del Empuje de lahar	40
Tabla 15 Resumen de momentos de volcamiento para las presas El Salto y Pita	41
Tabla 16 Factores de seguridad de las presas del río El Salto y Pita.....	42
Tabla 17 Factor Z según la zona sísmica del Ecuador.....	43
Tabla 18 Fuerzas Sísmicas	44
Tabla 18 Coeficiente de corrección según las características topográficas de la estructura	45
Tabla 20 Tabla de cálculo de presión del viento	46
Tabla 21 Resumen de cargas y momentos Río El Salto	46
Tabla 22 Resumen de cargas y momentos Río Pita	47
Tabla 23 Secciones Iniciales de diseño Río El Salto.....	51
Tabla 24 Secciones Iniciales de diseño Río Pita.....	52
Tabla 25 Tipo de suelo y Factores de sitio Fa.....	56
Tabla 26 Tipo de suelo y factores de sitio Fd.....	57
Tabla 27 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs	57
Tabla 28 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	58
Tabla 29 Deflexiones presa río El Salto y presa río Pita	61
Tabla 30 Esfuerzo a la Compresión río El Salto.....	63
Tabla 31 Esfuerzo a la Compresión río Pita.....	63
Tabla 32 Nuevas secciones para el diseño río El Salto	65
Tabla 33 Nuevas secciones para el diseño río Pita	65
Tabla 34 Recalculo de momento estabilizador del contrafuerte presa río El Salto	65

Tabla 35	Recálculo de momento pantalla y paredes de arriostramiento presa río El Salto	66
Tabla 36	Recalculo de momento estabilizador del material suelto presa río El Salto	67
Tabla 37	Cálculo del factor de deslizamiento presa río El Salto	67
Tabla 38	Recalculo de momento estabilizador del contrafuerte presa Río Pita	68
Tabla 39	Recálculo de momento pantalla y paredes de arriostramiento presa Río Pita	68
Tabla 40	Recalculo de momento estabilizador del material suelto presa Río Pita	69
Tabla 41	Recálculo del factor de deslizamiento presa río Pita	69
Tabla 42	Resumen envolvente momentos máximos río El Salto.....	74
Tabla 43	Resumen envolvente momentos máximos río Pita.....	74
Tabla 44	Datos fundamentales contrafuerte externo presa río El Salto.....	75
Tabla 45	Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte externo presa río El Salto	76
Tabla 46	Datos fundamentales contrafuerte interno presa río El Salto	76
Tabla 47	Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte interno presa río El Salto	76
Tabla 48	Datos fundamentales pantalla principal presa río El Salto.....	77
Tabla 49	Cálculo de acero de refuerzo pantalla principal presa río El Salto.....	77
Tabla 50	Datos fundamentales paredes de arriostramiento presa río El Salto	77
Tabla 51	Cálculo de acero de refuerzo paredes de arriostramiento presa río El Salto	78
Tabla 52	Chequeo a cortante presa río El Salto $\emptyset = 0.75$	78
Tabla 53	Datos fundamentales contrafuerte externo presa río Pita.....	78
Tabla 54	Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte externo presa río Pita.....	79
Tabla 55	Datos fundamentales contrafuerte interno presa río Pita.....	79
Tabla 56	Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte interno presa río Pita.....	79
Tabla 57	Datos fundamentales pantalla principal presa río Pita.....	80
Tabla 58	Cálculo de acero de refuerzo pantalla principal presa río Pita.....	80
Tabla 59	Datos fundamentales paredes de arriostramiento presa río Pita.....	80
Tabla 60	Cálculo de acero de refuerzo paredes de arriostramiento presa río Pita	81
Tabla 61	Chequeo a cortante presa río Pita $\emptyset = 0.75$	81
Tabla 62	Datos fundamentales de la alcantarilla.....	82
Tabla 63	Cargas actuantes en el tramo 1	84
Tabla 64	Diseño de losas de alcantarilla tramo 1	85
Tabla 65	Dimensiones de paredes de la alcantarilla	85
Tabla 66	Diseño de paredes en tramo 1 de alcantarilla	86
Tabla 67	Cargas actuantes en el tramo 2	86
Tabla 68	Diseño de losas de alcantarilla tramo 2.....	87
Tabla 69	Dimensiones de paredes de la alcantarilla	87

Tabla 70 Diseño de paredes en tramo 2 de alcantarilla	88
Tabla 71 Cargas actuantes en el tramo 3	88
Tabla 72 Diseño de losas de alcantarilla tramo 3.....	89
Tabla 73 Dimensiones de paredes de la alcantarilla	89
Tabla 74 Diseño de paredes en tramo 3 de alcantarilla	90
Tabla 75 Verificación de esfuerzo admisible y reacciones presa El Salto	91
Tabla 76 Verificación de esfuerzo admisible y reacciones presa río Pita	93
Tabla 77 Corte último	94
Tabla 78 Altura de cimentación adoptada	94
Tabla 79 Armadura de cimentación	95
Tabla 80 Cantidad de acero para presa río El Salto	96
Tabla 81 Presupuesto Referencial presa río El Salto.....	97
Tabla 82 Cantidad de acero de presa río Pita.....	98
Tabla 83 Presupuesto referencial presa río Pita	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la cuenca norte del volcán Cotopaxi	1
Figura 2. Esquema representativo de la estructura del lahar	9
Figura 3. <i>Afectaciones de los Ríos Pita y El Salto</i>	11
Figura 4. Presa mixta Almaty, Kazajistán.....	12
Figura 5. Ubicación geográfica del Proyecto	13
Figura 6. Explosivo y explosión en uno de los extremos de punto de estudio	13
Figura 7. Domocrona – disparos directo y reverso	14
Figura 8. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad	14
Figura 9. Tomografía de la línea sísmica	15
Figura 10. Perfil de sísmica de refracción (Vp).....	15
Figura 11. Tendencia de las primeras llegadas	16
Figura 12. Vs30	16
Figura 13. Tendencia de las primeras llegadas	17
Figura 14. Vs30	17
Figura 15. Domocrona – disparos directo y reverso	18
Figura 16. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad	19
Figura 17. Tomografía de la línea sísmica	19
Figura 18. Perfil de sísmica de refracción (Vp).....	20
Figura 19. Tendencia de las primeras llegadas	20
Figura 20. Vs30	21
Figura 21. Tendencia de las primeras llegadas	21
Figura 22. Vs30	22
Figura 23. Deformación horizontal vs. Esfuerzo de corte	26
Figura 24. Envoltente	27
Figura 25. Franja de diseño de la presa mixta del Río El Salto	31
Figura 26. Geometría del contrafuerte de la presa del río El Salto	32
Figura 27. Pantalla y paredes de arriostamiento de la presa del río El Salto	32
Figura 28. Franja de diseño de la presa mixta del Río Pita	33
Figura 29. Geometría del contrafuerte de la presa del río Pita	33
Figura 30. Pantalla y paredes de arriostamiento de la presa del río Pita....	34
Figura 31. Área de aporte para la cuenca hidrográfica del río EL Salto y Pita	37
Figura 32. Empuje del lahar Presa Rio El Salto	41
Figura 33. Empuje del lahar Presa Rio Pita.....	42
Figura 34. Fuerzas Sísmicas	44
Figura 35. Elementos de la Presa	50
Figura 36. Geometría Presa río El Salto	50
Figura 37. Geometría Presa río Pita	51
Figura 38. Definición de secciones	52
Figura 39. Vista en 3D presa río El Salto	53

Figura 40. Vista contrafuerte exterior presa río El Salto	53
Figura 41. Vista pared arriostramiento frontal presa río El Salto	53
Figura 42. Vista contrafuerte interior presa río El Salto	53
Figura 43. Vista en 3D presa río Pita	54
Figura 44. Vista contrafuerte exterior río Pita	54
Figura 45. Vista pared arriostramiento frontal presa río Pita	54
Figura 46. Vista contrafuerte interior presa río Pita	54
Figura 47. Empuje laterar de tierra relleno exterior	55
Figura 48. Empuje del lahar	55
Figura 49. Asignación de carga del viento	56
Figura 50. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	58
Figura 51. Espectro NEC 2015	59
Figura 52. Asignación coeficientes sísmicos.	59
Figura 53. Definición de Estados de Carga	59
Figura 54. Combinaciones de Carga.....	60
Figura 55. Esquema de empuje de los lahares en los contrafuertes	62
Figura 56. Esfuerzos a tracción presa río El Salto.....	64
Figura 57. Esfuerzos a tracción presa río Pita.....	64
Figura 58. Convención de momentos M11-M22.....	70
Figura 59. Momento máximo contrafuerte exterior	70
Figura 60. Menor momento contrafuerte exterior	71
Figura 61. Momento máximo contrafuertes interiores	71
Figura 62. Momento máximo paredes de arriostramiento	72
Figura 63. Menor momento paredes de arriostramiento.....	72
Figura 64. Momento máximo pantalla principal	73
Figura 65. Menor momento pantalla principal	73
Figura 66. Sección tipo de la Alcantarilla	82
Figura 67. Corte lateral de la alcantarilla.....	83
Figura 68. Esquema de cargas actuantes sobre la alcantarilla	84
Figura 69. Cargas actuantes sobre la alcantarilla en tramo 1.....	84
Figura 70. Diagrama de momentos de tramo 1 de alcantarilla	85
Figura 71. Cargas actuantes sobre la alcantarilla en tramo 2.....	86
Figura 72. Diagrama de momentos en tramo 2	87
Figura 73. Cargas actuantes en la alcantarilla tramo 3	88
Figura 74. Diagrama de momentos en tramo 3	89
Figura 75. Esfuerzos de la alcantarilla	90
Figura 76. Reacciones de la presa El Salto	91
Figura 77. Reacciones presa río Pita	92
Figura 78. Esquema para verificación de corte unidireccional de cimentación.....	94

RESUMEN

El presente trabajo de titulación “Diseño de las celdas en hormigón armado de las presas de los ríos el salto y pita para la retención de lodos del volcán Cotopaxi”, se enfoca en realizar el diseño estructural de las celdas de hormigón armado de las presas mixtas de los ríos El Salto y Pita a través de un modelo matemático y software computacional, complementando el estudio de (Bonito & Naranjo, 2016). En este proyecto, se obtendrá las secciones definitivas de hormigón para las mencionadas presas mixtas (tierra y hormigón), que cumplen la función de mitigar los efectos producidos por una eventual erupción del volcán Cotopaxi, reteniendo el flujo de lodo y escombros (lahares) procedente del casquete glaciar de la montaña. Este trabajo comprende el estudio bibliográfico del proyecto que lo antecede, el análisis de las fuerzas actuantes sobre las estructuras de concreto armado, el modelamiento de las mismas, el diseño estructural y análisis de secciones finales de todos los elementos de la presa en base a los resultados obtenidos con el programa SAP 2000 del modelo planteado, para finalizar con un presupuesto referencial de los diseños presentados. El proyecto es de gran importancia ya que con anterioridad el volcán Cotopaxi ha causado desastres de gran magnitud ocasionando grandes pérdidas materiales e incluso humanas; por lo cual, es fundamental contar con un diseño completo de dichas estructuras mixtas y así, mitigar eficazmente un posible evento eruptivo.

PALABRAS CLAVE:

- **PRESA MIXTA**
- **VOLCÁN COTOPAXI**
- **CELDAS DE HORMIGÓN ARMADO**
- **DISEÑO ESTRUCTURAL**
- **RÍO EL SALTO**
- **RÍO PITA**

ABSTRACT

The present work titled "Design of the cells in armed concrete of the rivets of the el salto and pita rivers for the retention of Cotopaxi volcano sludges", focuses on the structural design of the reinforced concrete cells of the mixed dams of the El Salto and Pita rivers through a mathematical model and computational software, complementing the study of (Bonito & Naranjo, 2016). In this project, concrete sections will be obtained for the aforementioned mixed dams (earth and concrete), which serve to mitigate the effects caused by an eventual eruption of the Cotopaxi volcano, retaining the flow of mud and debris (lahares) the glacier cap of the mountain. This work includes the bibliographic study of the project that precedes it, The analysis of the forces acting on the reinforced concrete structures, the modeling of the same, the structural design and analysis of the final sections of all the elements of the dam based on the results obtained with SAP 2000 program of the presented model, to finish with a reference budget of the designs presented. The project is important since previously the volcano Cotopaxi has caused disasters of great magnitude causing great losses material and even human; therefore, it is essential to have a complete design of such mixed structures and thus effectively mitigate a possible eruptive event.

KEY WORDS:

- **MIXED DAM**
- **COTOPAXI VOLCANO**
- **REINFORCED CONCRETE CELLS**
- **STRUCTURAL DESIGN**
- **EL SALTO RIVER**
- **PITA RIVER**

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Definición del problema

El Volcán Cotopaxi al ser uno de los volcanes activos en el Ecuador y el segundo más alto del mundo con 5897m, es de gran peligrosidad por su intensa actividad reciente (Aguilera & Toulkeridis, 2005).

Ante una eventual erupción del Volcán Cotopaxi, se afectarían un promedio de 300.000 personas que habitan en la zona calificada como de alto riesgo, ya que sus drenajes tales como ríos y quebradas forman parte de la red hidrográfica del Volcán Cotopaxi; geográficamente que por el norte se inicia con los Ríos Pita y El Salto que drenan la parte nororiental y norte del cono.

Al respecto, se realizó un estudio de mitigación para la retención de lodos y escombros en el sector nororiental.

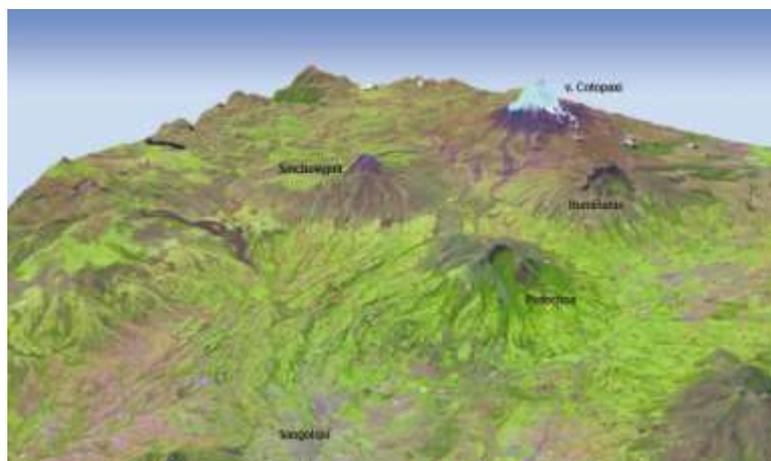


Figura 1. Morfología de la cuenca norte del volcán Cotopaxi

Fuente: (Aguilera & Toulkeridis, 2005)

Un sistema de Obras de Protección compuestas por presas mixtas y obras de desagüe propuesto que permitirían retener la mayor cantidad de sólidos del flujo de lodo (Bonito & Naranjo, 2016) se desarrolla, presentando un cuestionamiento acerca del diseño estructural de las celdas de hormigón que forman parte de la presa mixta.

Se conoce que esta problemática que tiene una afectación demográfica para alrededor de 300.000 personas con la respectiva incidencia en la economía nacional, razón por la cual se presenta este estudio que complementa la publicación de (Bonito & Naranjo, 2016), ya que se propone un diseño estructural de las celdas de hormigón de la presa mixta de los Ríos El Santo y Pita.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar el diseño estructural de las celdas de hormigón de la presa mixta de los Ríos El Salto y Pita como complemento al estudio de (Bonito & Naranjo, 2016), a través de un modelamiento matemático con el fin de obtener las secciones de hormigón definitivos con su respectivo armado para su estabilidad y poder mitigar el riesgo de una eventual erupción del Volcán Cotopaxi.

1.2.2. Objetivos específicos

- Compilar información necesaria para el análisis de los materiales de sitio (Aguilera & Toulkeridis, 2005).
- Analizar las cargas que afectan a la presa proveniente del flujo de lodo y escombros.

- Realizar un modelo matemático para el diseño estructural de las celdas de hormigón.
- Diseñar en detalle cada uno de los elementos que componen las celdas de hormigón de la presa mixta.
- Establecer un presupuesto para las obras propuestas con el fin de tener una referencia en caso de una pronta ejecución del proyecto.

1.3. Alcance del proyecto

El proyecto presenta el diseño estructural de las celdas de hormigón de la presa mixta de los Ríos Pita y El Salto, para la retención del flujo lodos y escombros para mitigar el riesgo de una eventual erupción del Volcán Cotopaxi a través de un modelo matemático, como complemento al estudio de (Bonito & Naranjo, 2016). En adición se propone un presupuesto final en detalle de los materiales y obras necesarios para su construcción.

1.4. Justificación e importancia

La erupción del Volcán Cotopaxi ya ocasionó anteriormente desastres al Ecuador, causó la pérdida de vidas humanas, animales y bienes, situación que repercute en la economía del país, por lo que se necesitan varios estudios preventivos sobre el tema dentro de la rama de la ingeniería civil, dichos estudios tienen como finalidad mitigar estos posibles eventos con el diseño de obras de protección compuestas por presas mixtas de tierra y hormigón.

En los Ríos El Salto y Pita está propuesta una presa mixta (Bonito & Naranjo, 2016), en dicho estudio para el cálculo de la armadura de las celdas de hormigón se sugiere con armadura mínima sin verificar analíticamente si soportaría las cargas provocadas por el flujo de lodos y escombros.

Por lo expuesto, en el presente estudio se presenta un modelo matemático estructural para el diseño de las celdas de hormigón que componen la presa, con la finalidad de soportar las cargas generadas por los lodos y materiales acarreados en caso de erupción.

1.5. Metodología

En este proyecto de titulación se emplea el método deductivo, es decir, se parte de un problema general y se encuentra uno particular a través de la investigación teórica del modelo matemático para el diseño de estructural de las celdas de hormigón de la presa mixta de los Ríos El Salto y Pita, se toma como datos de partida el estudio de (Bonito & Naranjo, 2016).

Recopilación de información necesaria de las fuentes bibliográficas tales como libros, artículos y normas técnicas de construcción que se relacionan con el tema propuesto.

Procesamiento de información, para el modelamiento matemático en el software SAP 2000 con la misma geometría propuesta, se modifican las secciones de ser necesario y se obtienen las cuantías de armado.

CAPITULO 2

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

2.1. Estudio Bibliográfico

La base de la investigación bibliográfica de este proyecto de titulación se sustenta principalmente en el proyecto elaborado por (Bonito & Naranjo, 2016), visto que es desde este trabajo se parte para complementarlo y elaborar un diseño más completo respecto a las presas sobre los ríos El Salto y Pita, que servirán para la mitigación de los efectos que pudiera producir una eventual erupción del Volcán Cotopaxi.

El estudio se complementa con la consulta bibliográfica de algunos autores estudiosos e investigadores de distintas erupciones y los efectos que produjo el volcán Cotopaxi en anteriores erupciones (Arche, 2010) (Cáceres, 2010) (Iverson, 2000) (Andrade et al, 2005).

2.2. Localización geográfica del volcán Cotopaxi

El volcán Cotopaxi está localizado en la Cordillera Oriental (Real) del país, a una distancia de 35km al Noreste de Latacunga y 45km al Sureste de Quito (Bonito & Naranjo, 2016). Su altura es de 5897 m.s.n.m. y su diámetro de 20km se encuentra en estado activo. (Instituto Geofísico de la Escuela politécnica Nacional, 2015).

2.3. Vulnerabilidad ante un evento eruptivo del Volcán Cotopaxi

La vulnerabilidad ante una posible erupción del Volcán Cotopaxi es un aspecto muy sensible en el análisis de la importancia del proyecto, ya que en general el riesgo volcánico en el Ecuador es muy alto porque presenta el mayor número de volcanes activos en el mundo, los mismos que se encuentran cercanos a poblaciones con gran número de habitantes.

El estudio de Aguilera & Toulkeridis (2004-2005) menciona lo siguiente:

“Si bien es necesario reconocer que las recientes erupciones del Guagua Pichincha, Tungurahua y El Reventador han sido relativamente benignas, principalmente en cuanto a la afectación de vidas humanas, ello no garantiza que sucesivas erupciones se comporten de la misma manera, por lo que es indispensable contar con mapas de riesgo de escala adecuada y desarrollar acciones sistemáticas de carácter preventivo a nivel de los gobiernos locales en aspectos vinculados con planificación urbana, delimitación de zonas de riesgo, desarrollo de sistemas de alerta temprana y campañas sostenidas de educación comunitaria” (Aguilera & Toulkeridis, 2005).

Se considera que es de suma importancia, considerar que el volcán Cotopaxi es uno de los volcanes más peligrosos del Ecuador, debido a que por sus características y reciente actividad, existe la posibilidad de que la gruesa capa de hielo que recubre el cono superior del coloso fusione a los glaciares con **lahares**, lo que causaría que una enorme cantidad de agua (proveniente del enfriamiento de la capa glaciar) con materiales volcánicos, marche rápidamente por los cauces originarios del Volcán y destruya todo a su paso.

Por tratarse de un volcán activo con una edad geológica muy reciente (el cono actual se ha edificado solo en los últimos 5.000 años), se debe reconocer que una próxima erupción del Cotopaxi es un hecho naturalmente indefectible (Aguilera & Toulkeridis, 2004-2005).

2.4. Fenómenos volcánicos

A continuación, se presenta la descripción de los peligros volcánicos potenciales los cuales son:

- *Flujos Piroclásticos (Nubes ardientes):*

Proviene de mezclas calientes de gases con temperaturas mayores a 500 ° C, cenizas y fragmentos de roca esto confiere una gran densidad por lo

que se mueven al ras del suelo; estos flujos pueden alcanzar gran velocidad dependiendo de la inclinación del terreno.

Para una posible erupción del volcán Cotopaxi el escenario de afectación de los flujos piroclásticos no se extiende más allá del cono volcánico y por consiguiente, no constituyen un riesgo directo para ninguna población (Aguilera & Toulkeridis, 2005).

- *Caídas de Ceniza y Piroclastos (Cascajo):*

Fenómeno relacionado con la actividad volcánica explosiva compuesta por partículas de roca y mineral muy finas que se genera a partir de una roca cuarteada y separada en partículas pequeñas. Una erupción incluyendo chorros de vapor de agua, produce gran cantidad de magma el cual se fragmenta y forma una columna ascendente que se impulsa por el viento volcánico torneando las partículas hasta reducirlas a granos de arena.

- *Flujos de Lava (Coladas o derrames de lava):*

La lava es roca fundida es decir, roca en estado líquido que se produce por una erupción volcánica, este derrame empieza desde el cráter o de alguna fisura del volcán y fluye por los flancos y quebradas (Andrade et al, 2005).

Para que una lava como la del Cotopaxi se encuentre en estado líquido debe alcanzar una temperatura de 900°C y su viscosidad debe ser baja, en el caso del Cotopaxi la velocidad que alcanzan los flujos de lava no son importantes ya que no superan los pocos kilómetros por hora.

- *Avalancha de Escombros:*

Son grandes derrumbes de rocas que se producen cuando los flancos del volcán se vuelven inestables este se puede dar por la cantidad de magma que fluye ó por sismos volcánicos.

- *Gases Volcánicos:*

Antes, durante y después de una erupción volcánica se puede detectar un aumento en la cantidad y tipo de gases emitidos por un volcán, son de origen magmático y pueden ser peligrosos para los seres vivos. (Andrade et al, 2005).

- *Sismos Volcánicos:*

Algunos volcanes presentan actividad sísmica aún si se encuentran en períodos de calma, sin embargo, estos sismos pueden ser sentidos en el momento de una erupción, pero por su magnitud no provocan daños importantes a las edificaciones.

- *Flujos de Lodo y Escombros (lahares).*

Las lahares se forman de materiales volcánicos como rocas, piedra pómez, arena que se combinan con agua de la fusión de un casquete glaciar (Andrade et al, 2005).

Lahares principales:

Los lahares son mezclas de detritos rocosos que se movilizan por agua y por su velocidad fluyen rápido por la fuerza de la gravedad y se forman en las pendientes de los volcanes. Pueden alcanzar velocidades de 100km/h a través de los drenajes naturales, que provocan daño a su paso; se comporta como una crecida de río o un aluvión.

Lahares secundarios:

Son lahares en menor proporción y de menor alcance en general formados con las cenizas y piroclastos que se depositan por la erupción y se movilizan por las fuertes lluvias.

Los lahares secundarios son producto de la removilización de depósitos de piroclasto, se asocian a la gradación de la carga de sedimento a los cursos de agua en los alrededores del volcán (Paez, 2015).

Los depósitos de caída de ceniza se saturan de agua por efecto de la caída de lluvia que generan este tipo de lahares que siguen el curso de los cauces principales, un modelo para predecir este tipo de lahares es el de (Iverson R. M., 2000) quien asume la falla por gravedad de los depósitos piroclásticos en alta pendiente que se provocó por la saturación de humedad en los poros.

La morfología típica de un lahar en movimiento se presenta como un cuerpo alargado; en él se pueden ver tres segmentos caracterizados por una distinta concentración de sólidos (Pierson T. M., 2013) el porcentaje varía de 75 a 90%, en peso. A continuación, un gráfico que representa la dirección del flujo del lahar y su estructura.



Figura 2. Esquema representativo de la estructura del lahar

Fuente: (Pierson T. , 1985)

La respuesta inicial a la sedimentación proporciona un ejemplo de la sensibilidad de las laderas a la perturbación volcánica, y demuestra que los lahares, la lluvia y la inundación provocan cargas de sedimentos, mismos que pueden poner en peligro de forma rápida a comunidades vulnerables río abajo (Pierson T. M., 2013).

Los lahares son una clase de flujo de detritos que se originan en los flancos del volcán y arrastran sedimentos compuestos de depósitos piroclásticos recientes y no consolidados. (Paez, 2015).

Detritos:

Los flujos de este tipo (mass flows, mud flows, debris flows) transportan partículas y la matriz de forma masiva, este arquetipo de flujo de detritos se desarrollan en contextos subaéreos que se caracterizan por una gran cantidad de carga sólida en relación al volumen total del flujo. Se comportan como una masa única de agua y sedimentos (Arche, 2010).

Su consistencia es semejante a la del concreto húmedo estos lahares se dividen en dos tipos:

- Según el comportamiento reológico del flujo; los derrames de detritos son de grano grueso y alta viscosidad su concentración de sedimentos es mayor al 60% sobre el volumen total.
- Hiperconcentrados; éstos contienen en mayor proporción agua, es menos viscoso que el tipo descrito anteriormente. El contenido de detritos es del 20% a 60% sobre el volumen del flujo (Pierson T. M., 2013).

La generación de lahares primarios o secundarios se presenta por los siguientes factores:

- Fuente de agua la cual puede darse por causas como; vertido violento de una masa hídrica acumulada en una laguna cratérica, fusión de la nieve y los glaciares por acción de flujos piroclásticos, lluvias torrenciales que se producen por la erupción (Aguilera & Toulkeridis, 2005).
- Depósitos no consolidados de material piroclástico.
- Pendientes elevadas.
- Lluvias intensas por ejemplo como mecanismos generadores de la re-movilización.

El agua que se incorpora debe mezclarse con sedimento de tamaño fino para generar un fluido de alta densidad el cual puede ser capaz de arrastrar y transportar cantidades de lodo, agua, sedimento y roca suelta.

2.5. Afectación de la cuenca norte que provocan los lahares

La cuenca norte del Volcán inicia con los ríos Pita y El Salto, los cuales constituyen el destino de este estudio, y son estos dos caudales los que drenan la zona nor-oriental y norte, respectivamente del cono.

El Río Pita invade en cierta zona de la cuenca, el cauce del Río Santa Clara, por el cual circula hasta el Valle de los Chillos, donde se transforma en un riesgo potencial para esta zona poblada. Además, los ríos Pita y Santa Clara se unen al Río San Pedro, el mismo que atraviesa el Valle de Tumbaco, por lo cual es un conflicto que incluye también a este territorio que forma parte del Distrito Metropolitano de Quito.

A continuación, se exponen tablas de resumen en los cuales se muestran los datos de salida de un modelo numérico que se elaboró para localidades importantes situadas cerca de los causes de los ríos Pita y El Salto:

RIO PITA			
Construcciones e Infraestructura	Altura Máxima -metros-	Tiempo Arribo -minutos-	Afectación
Bocatoma Pita-Tambo	19	14	Sumergida
Puente Cashapamba	6	22	Sumergido
Urbanización La Colina	10-12	25	Parcialmente inundada
Playa Chica	1	30	Parcialmente inundada
El Triángulo	4-7	31	Sumergido
Puente Vía al Tingo	(7)-15	32	Sumergido

RIO EL SALTO			
Construcciones e Infraestructura	Altura Máxima -metros-	Tiempo Arribo -minutos-	Afectación
Sifón El Salto	13-31	14	Sumergido
Puente río El Salto	16-34	15	Sumergido

Figura 3. Afectaciones de los Ríos Pita y El Salto

Fuente: (El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha, 2004)

2.6. Definición de una presa mixta

Son estructuras que están constituidas por hormigón y tierra en su mayoría, éstas permiten gran estabilidad y su altura varía de 30 a 80 metros. Un ejemplo de este tipo de presas se encuentra en Kazajistán ubicada en el cauce natural del río para el control del flujo de lodos. (Sandoval, 2016)



Figura 4. Presa mixta Almaty, Kazajistán

Fuente: (Sandoval, 2016)

2.7. Análisis de la refracción sísmica por (Bonito & Naranjo, 2016)

Para caracterizar el suelo en el cual se implantan las presas sobre el Río El Salto y Pita respectivamente, (Bonito & Naranjo, 2016) propusieron un estudio geo mecánico que se conoce como sísmica de refracción.

La sísmica de refracción es un método sísmico de uso extenso dentro de la geofísica aplicada, en el cual se mide el tiempo que tardan en propagarse las ondas elásticas producto de un impulso inducido desde un punto específico hasta diferentes puntos de observación, para realizar este ensayo se dispone de una serie de sensores conocidos como “geófonos” que se colocan en línea recta, de forma triangular o en forma de “L”, según la necesidad del proyecto. A esto se conoce como **tendido sísmico o línea de refracción**.

Dicha línea de refracción se colocó en dos puntos estratégicamente ubicados para el río El Salto y Pita, los cuales se muestran en la figura 5.



Figura 5. Ubicación geográfica del Proyecto

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

El estudio de (Bonito & Naranjo, 2016), consistió básicamente en generar ondas sísmicas en los puntos de estudio descritos anteriormente producto de la detonación de explosivos para inducir vibraciones en el terreno, las mismas que se detectaron por los sensores dispuestos en línea recta para el caso de este proyecto.



Figura 6. Explosivo y explosión en uno de los extremos de punto de estudio

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Los sensores almacenan información que luego se analizan en gabinete para obtener los resultados correspondientes a estratigrafía del suelo y caracterización del mismo.

2.7.1. Punto 1 para el río El Salto (Bonito & Naranjo, 2016)

2.7.1.1. Velocidad de onda de compresión V_p

Resultados obtenidos por disparos directo y reverso:

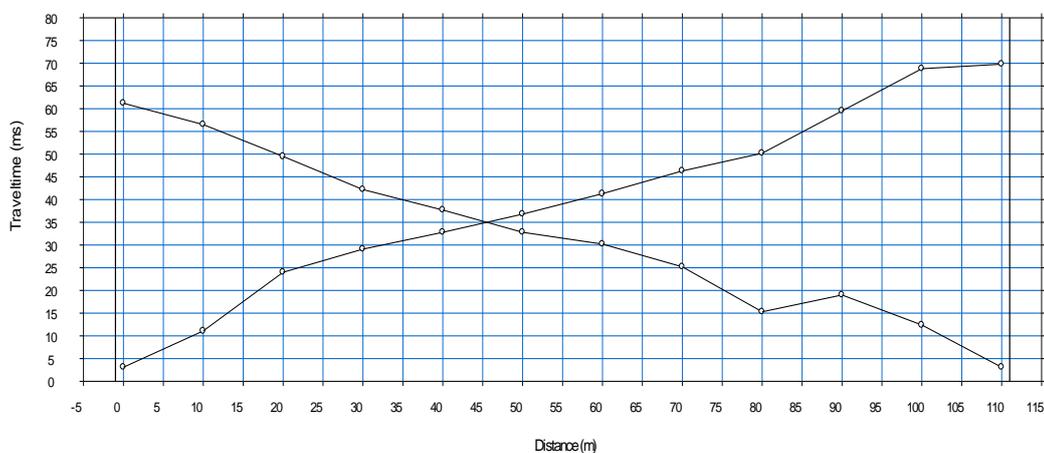


Figura 7. Domocrona – disparos directo y reverso

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

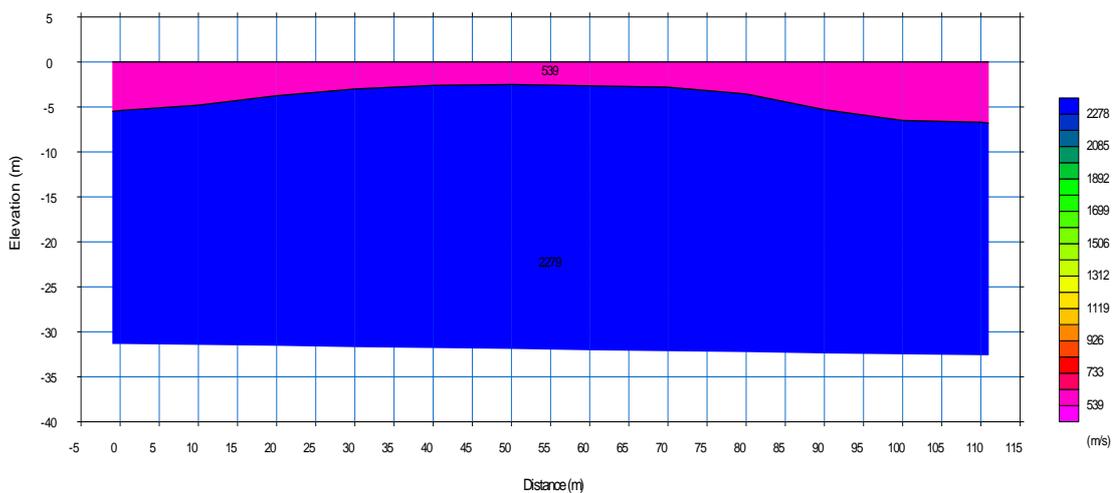


Figura 8. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

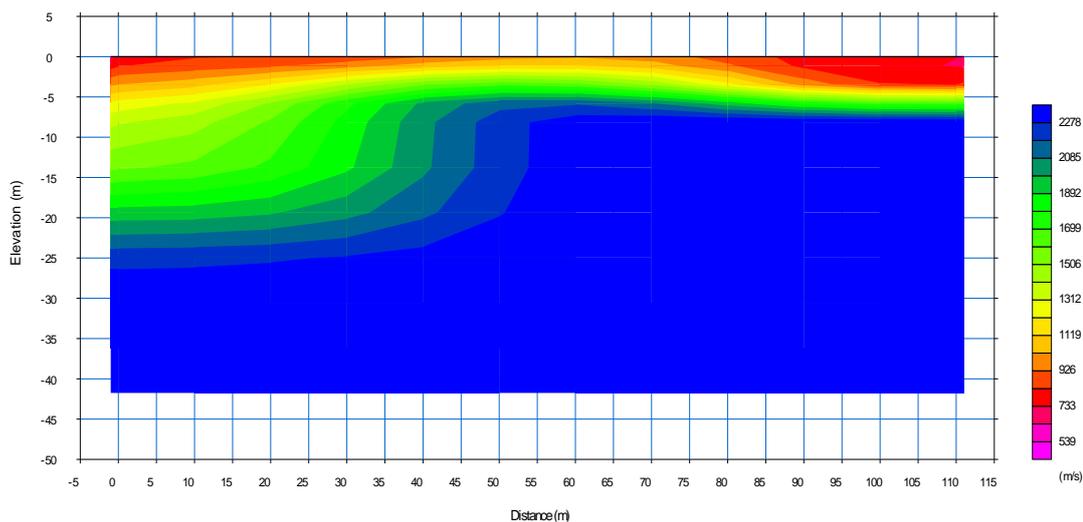


Figura 9. Tomografía de la línea sísmica

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

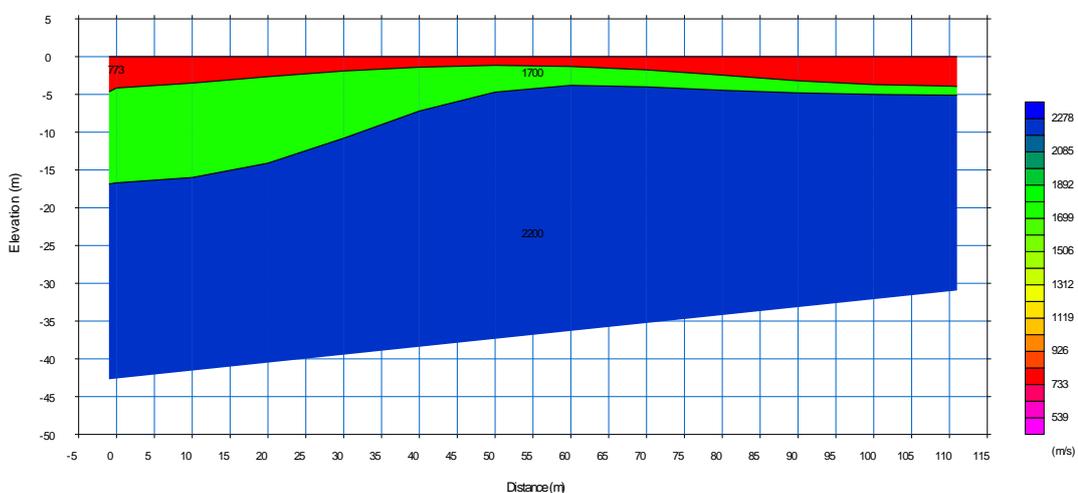


Figura 10. Perfil de sísmica de refracción (V_p)

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.7.1.2. Velocidad de onda de corte V_s

Para la obtención de velocidades de ondas de corte V_s en el estudio de (Bonito & Naranjo, 2016), se procesaron los datos de cada disparo por separado (directo y reverso):

- Disparo directo:

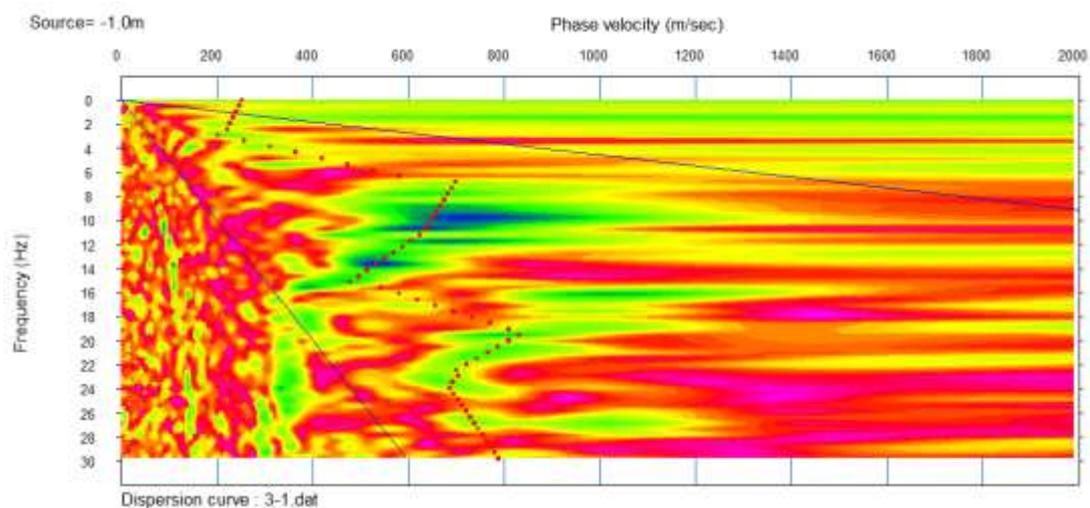


Figura 11. Tendencia de las primeras llegadas

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

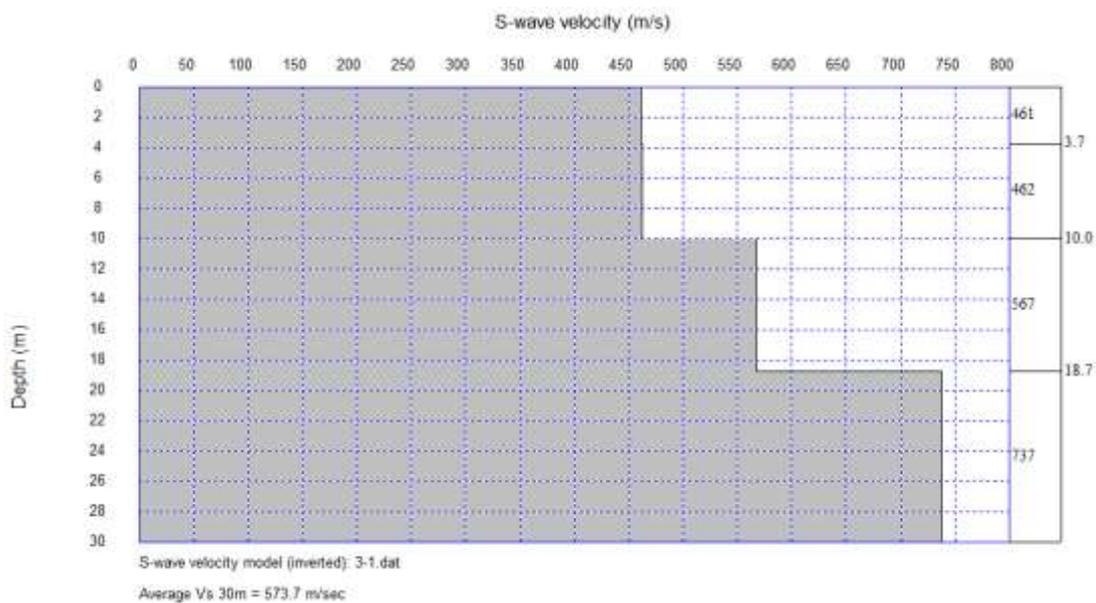


Figura 12. Vs30

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Disparo reverso:

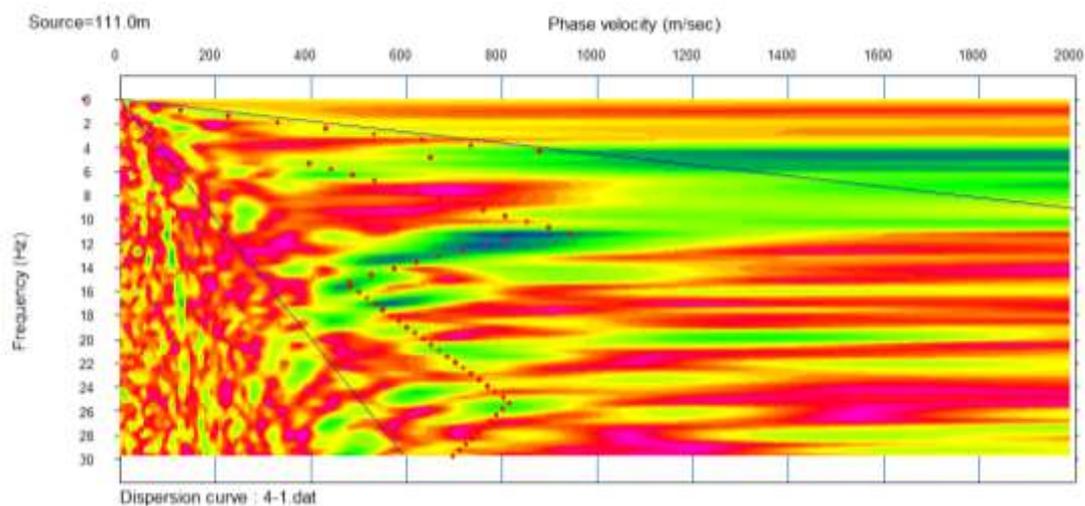


Figura 13. Tendencia de las primeras llegadas

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

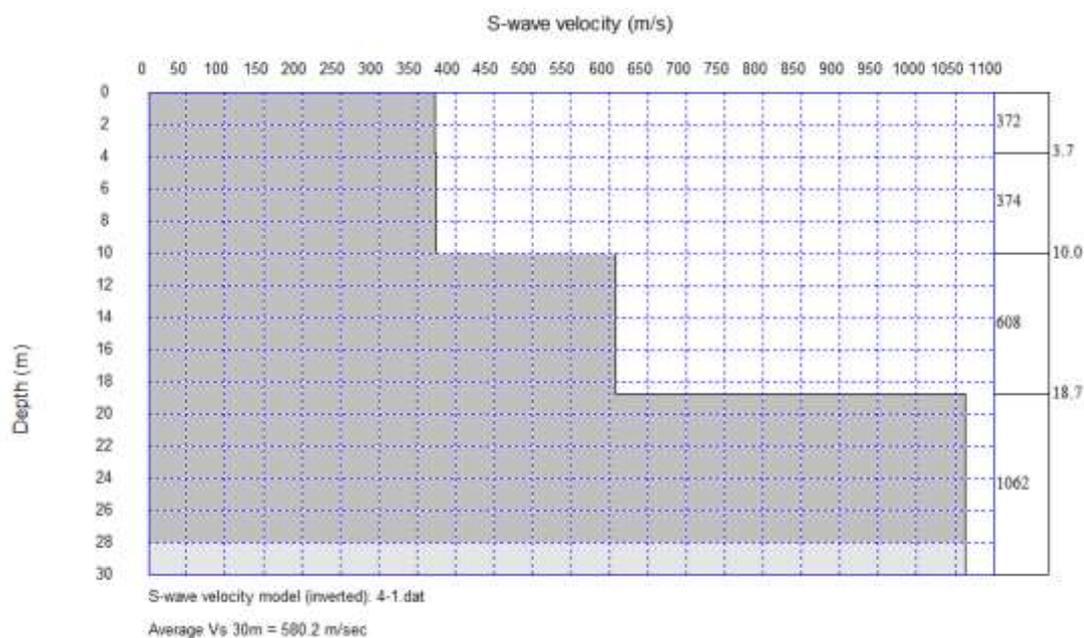


Figura 14. Vs30

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

De los resultados anteriores se determinó un promedio para los Vs30 producto de cada explosión o disparo.

$$V_{S_{30}} = \frac{573.70 + 580.2}{2}$$

$$V_{S_{30}} = 576.95 \frac{m}{s}$$

2.7.2. Punto 3 para el río Pita (Bonito & Naranjo, 2016)

2.7.2.1. Velocidad de onda de compresión V_p

Resultados obtenidos por disparos directo y reverso:

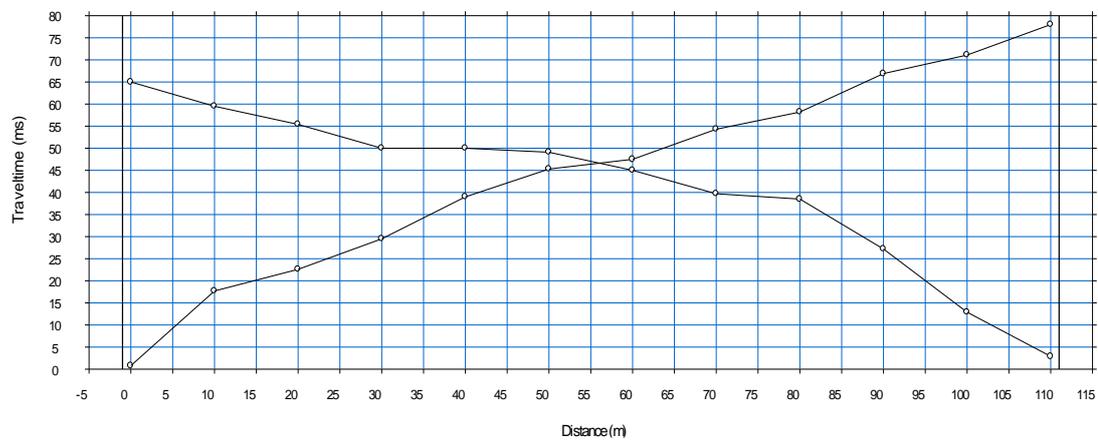


Figura 15. Domocrona – disparos directo y reverso

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

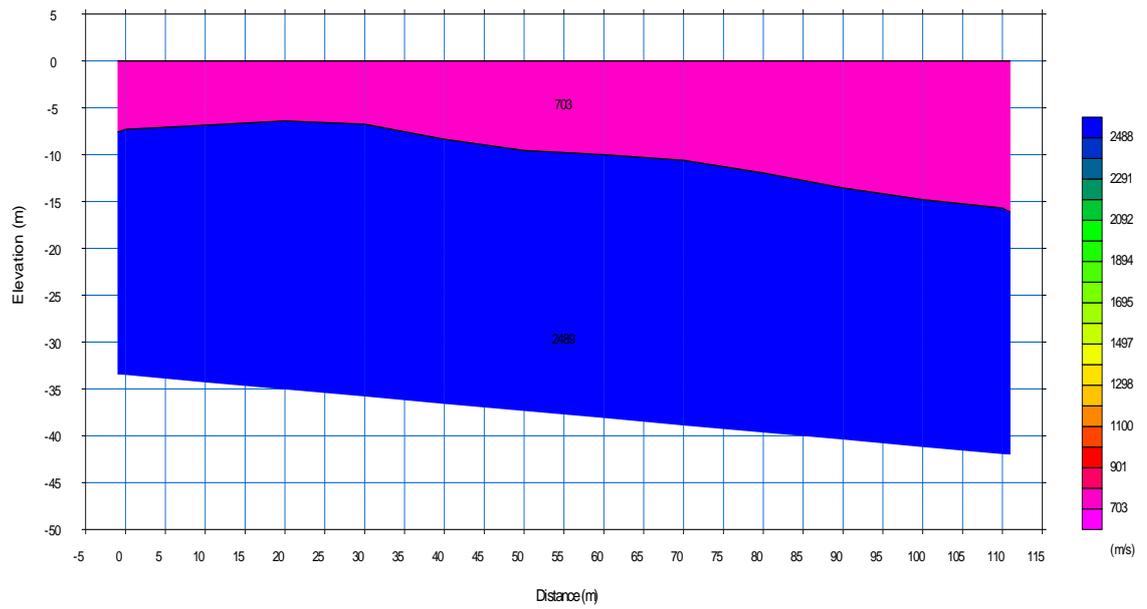


Figura 16. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

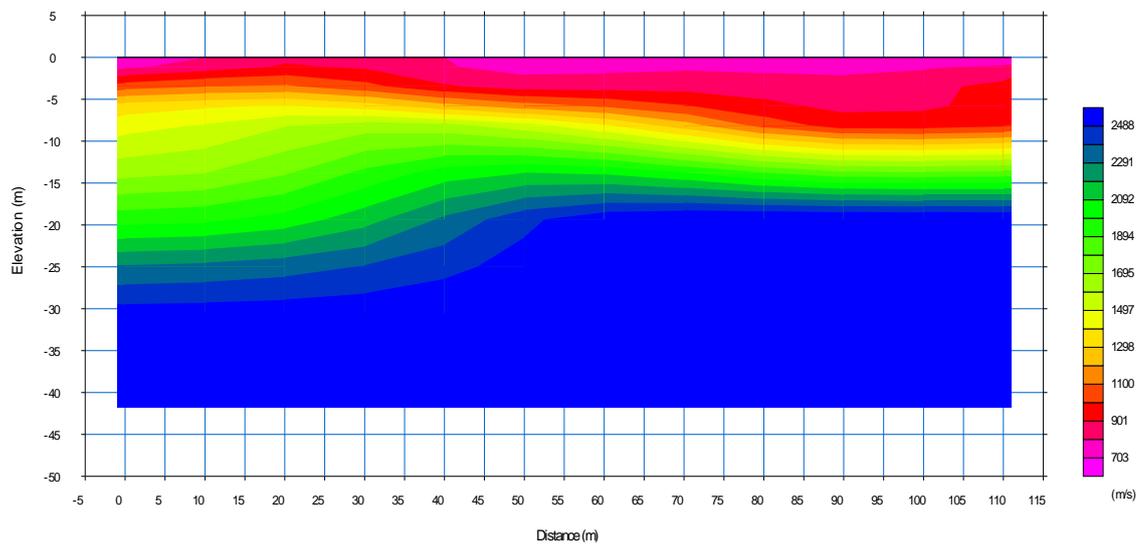


Figura 17. Tomografía de la línea sísmica

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

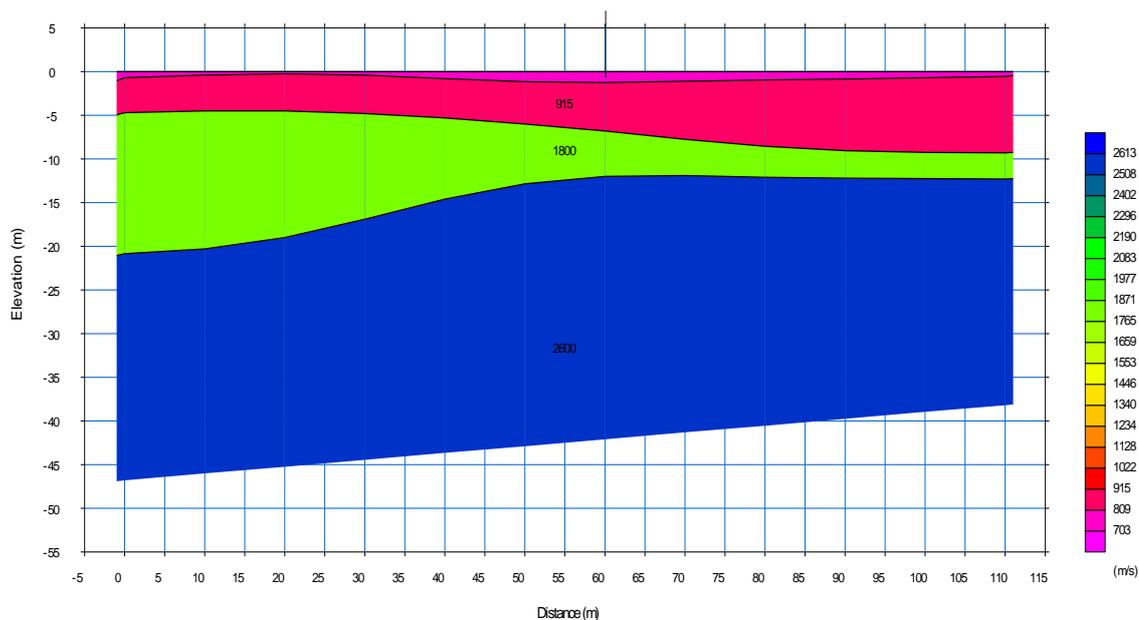


Figura 18. Perfil de sismica de refracción (V_p)

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.7.2.2. Velocidad de onda de corte V_s

Al igual que el punto anterior, para la obtención de las velocidades de ondas de corte V_s en el estudio de (Bonito & Naranjo, 2016), se procesaron los datos de cada disparo por separado (directo y reverso):

- Disparo directo:

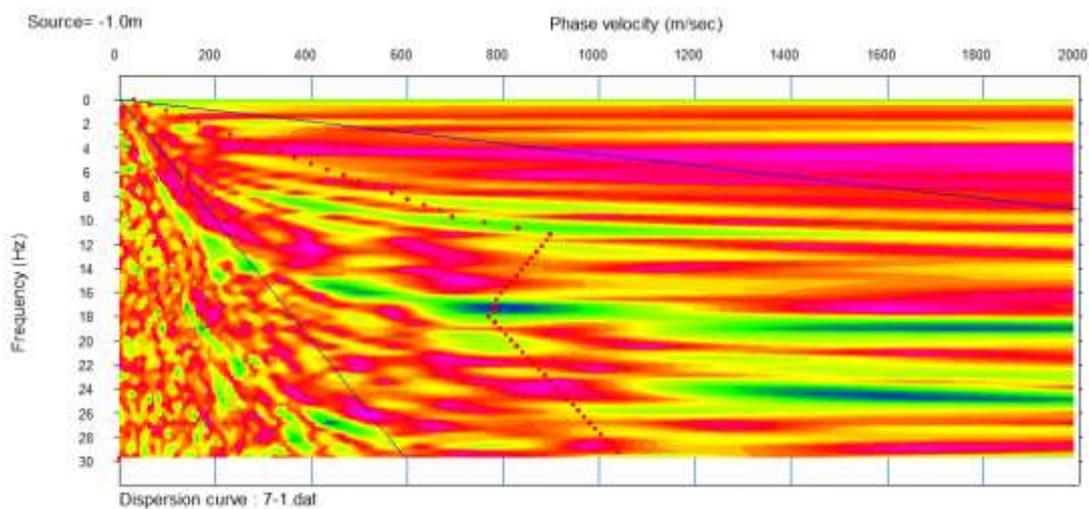


Figura 19. Tendencia de las primeras llegadas

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

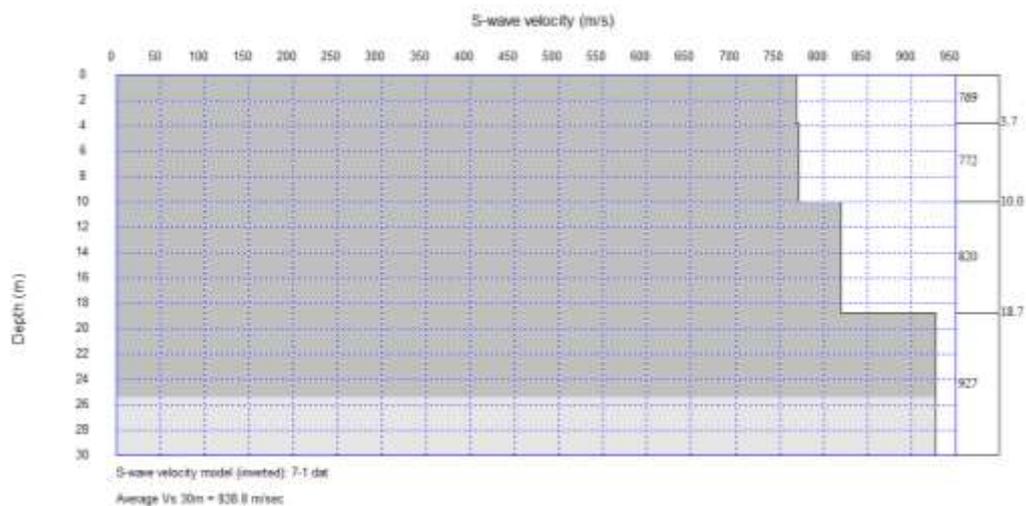


Figura 20. Vs30

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

- Disparo reverso:

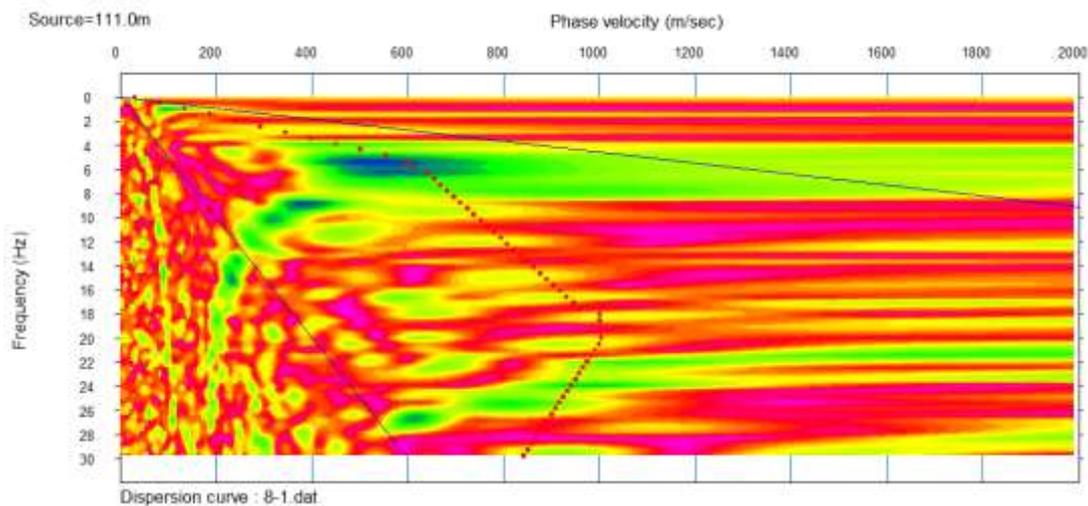


Figura 21. Tendencia de las primeras llegadas

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

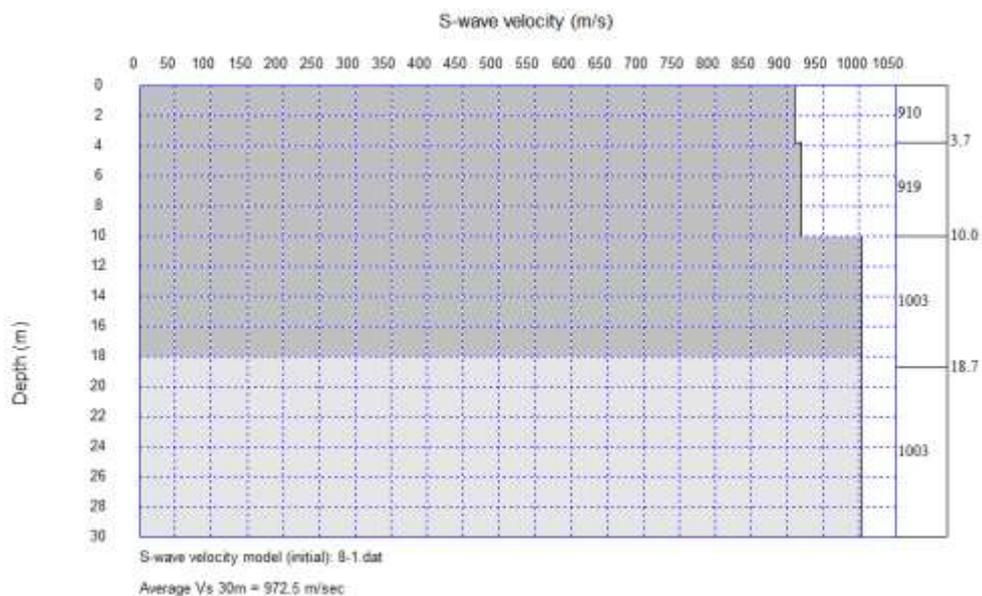


Figura 22. Vs30

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Se realizó un promedio para las Vs30 de cada explosión o disparo.

$$V_{s30} = \frac{838.8 + 972.5}{2}$$

$$V_{s30} = 905.65 \text{ m/s}$$

2.7.3. Tipos de perfil de suelo según sísmica de refracción

Los resultados que se presentaron en los apartados anteriores, servirán para determinar los perfiles de suelo que existen en los puntos de análisis y, esto se realizará mediante la clasificación que proporciona la Norma Ecuatoriana de la Construcción en la cual se definen seis tipos de perfiles para los cuales se utiliza la velocidad de onda de corte superior a 30 metros.

Tabla 1
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2014)

Conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción para las zonas donde fluyen los ríos El Salto y Pita en los sitios de ensayo de sísmica de refracción y al analizar los resultados que se obtuvieron, se cumple con el criterio de velocidad de onda cortante. En cada punto de estudio se tiene la siguiente descripción de suelo:

- Punto 1 para el río el Salto:

Para este caso, $V_{s30}=576.95$ m/s se halla dentro del rango de 760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s. Por lo cual, nos encontramos con un **perfil de suelo muy denso o roca blanda**, que cumple con el criterio de velocidad de la onda de cortante. (Bonito & Naranjo, 2016)

- Punto 3 para el río Pita:

Para este punto se tiene $V_{s30}=905.65$ m/s y se encuentra en el límite que corresponde a un perfil de suelo tipo B, el cual requiere el rango 1500 m/s

$V_s \geq 760$ m/s, y especifica que se tiene un **perfil de roca de rigidez media**. (Bonito & Naranjo, 2016)

2.7.4. Capacidad portante del suelo

Para determinar la capacidad portante del suelo el cálculo toma los datos de (Bonito & Naranjo, 2016) quienes realizaron los respectivos ensayos para determinar los parámetros necesarios, estos ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) 2016.

Parámetros de cálculo

- Para determinar la resistencia de la Roca (Bonito & Naranjo, 2016) realizaron el ensayo de carga puntual en 8 muestras de roca, y obtuvieron un valor de 1226.93 Kg/cm².

Tabla 2
Clasificación de las rocas según su resistencia a compresión uniaxial

Resistencia (MPa)	Clasificación
>250	Extremadamente alta
100-250	Muy alta
50-100	Alta
25-50	Media
5-25	Baja
1-5	Muy baja
0,25-1	Extremadamente baja

Fuente: (Brown, 1981)

A partir de estos valores se puede afirmar que el suelo en que se va a cimentar la presa es una roca de resistencia muy alta y que para encontrar la cohesión y el ángulo de fricción interna de la roca, debemos utilizar el valor de la resistencia a la compresión simple, el cual se ingresa en la tabla de valores

de resistencia de la matriz rocosa sana por datos seleccionados por (Rahn, 1986) .

Tabla 3
Valores de resistencia de la matriz rocosa sana por datos seleccionados

roca intacta	resistencia a compresión simple (Mpa)	
	valores medios	rango de valores
Andesita	210-320	100-500
Anfibolita	280	210-530
Anhidrita	90	80-130
Arenisca	55-140	30-235
Basalto	150-215	80-350
Caliza	80-140	60-200
Cuarcita	200-320	100-500
Diabasa	240-350	130-365
Diorita	160-245	120-335
Dolerita	200-300	100-350
Dolomia	90-250	65-350
Esquisto	50-60	20-160
Gabro	210-290	180-300
Gneiss	160-200	85-250
Granito	170-230	100-300
Grauwaca	180	80-220
Limoilita		35-250
Lutita	30-70	10-100
Marga	70-140	70-190
Mármol	120-200	60-250
Pizarra	100-180	90-250
Sal	12	5-30
Toba		10-45
Yeso	25	10-40

Fuente: (Rahn, 1986)

Tabla 4
Cohesión y ángulo de fricción de la roca

roca	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)
Andesita	28	45
Arenisca	8-35	30-50
Basalto	20-60	48-55
Caliza	5-40	35-50
Caliza margosa	1-6	30
Cuarcita	25-70	40-55
Diabasa	90-120	40-50
Diorita	15	50-55
Dolomia	22-60	25-35
Esquisto	25	25-30*
	20-15*	20-30*
Gabro	30	35
Gneiss	15-40	30-40
Granito	15-50	45-58
Grauwaca	6-10	45-50
Mármol	15-35	35-45
Lutita	3-35	40-60
		12-25*
Pizarra	10-50	40-55
	<10*	15-30*
Toba	0,7	
Yeso		30

(*) En superficies de laminación o esquistocidad
 Datos seleccionados a partir de Walthan (1996), Rahn (1986),
 Goodman (1989), Farmer (1968), Jiménez Sales y Justo
 Alpañés (1975)

Fuente: (Rahn, 1986)

- La cohesión para este tipo de roca es de 8 MPa y un ángulo de fricción de 30°.

2.7.4.1. Ensayo de corte directo

Área de la muestra 25 cm²

Corte directo para carga

50 Mpa

100 Mpa

150 Mpa



Figura 23. Deformación horizontal vs. Esfuerzo de corte

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

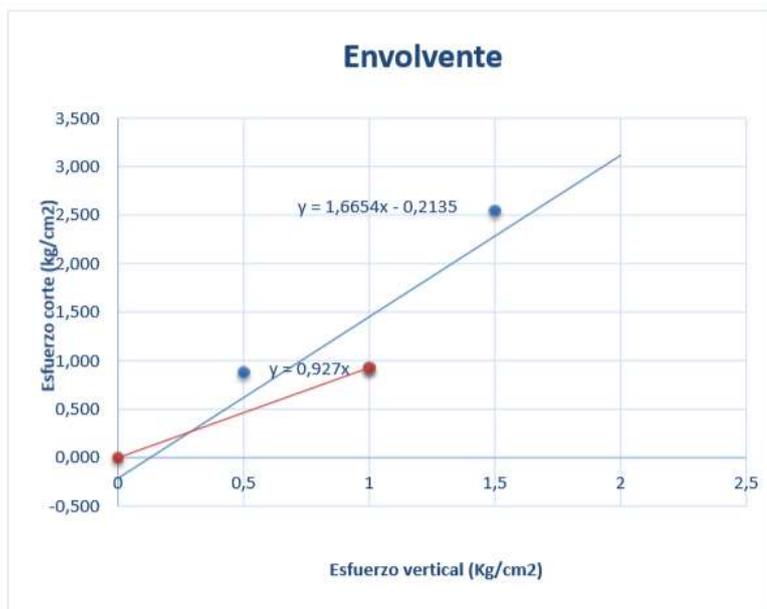


Figura 24. Envolverte

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Tabla 5
Resumen de roca

Resistencia de la Roca	1226.93 Kg/cm ²
Angulo de fricción interna	30°
Cohesión	8 MPa

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.7.5. Esfuerzo admisible del suelo.

Para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones superficiales sobre roca, se utilizan las ecuaciones de capacidad de carga de Terzagui con los factores de capacidad de carga.

$$N_c = 5 \tan^4 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_q = 5 \tan^6 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_{\gamma} = Nq + 1$$

ϕ' : Ángulo de fricción interna

N_c	45
N_q	135
N_{γ}	136

Se obtienen los factores de forma, profundidad e inclinación:

Forma:

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \phi'$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$$

B (m)	1	m
L (m)	91.25	m
F_{cs}	1.03287671	
F_{qs}	1.00632712	
$F_{\gamma s}$	0.99561644	

Profundidad:

$$\text{Si } \frac{D_f}{B} \leq 1$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$\text{Si } \frac{D_f}{B} > 1$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

D_f : Profundidad de la cimentación

B= 1 m

Df (m)	Fcd	Fqd	Fyd
1	1.4	1	1
2	26.37	1	1
3	29.62	1	1

B= 1.5 m

Df (m)	Fcd	Fqd	Fyd
1	1.26666667	1	1
2	22.25	1	1
3	26.37	1	1

B= 2 m

Df (m)	Fcd	Fqd	Fyd
1	1.2	1	1
2	1.4	1	1
3	23.52	1	1

Inclinación:

$$Fci = Fqi = \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)^2$$

$$Fyi = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)^2$$

β : Inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical.

β °	0
Fci	1
Fqi	1
Fyi	1

A fin de calcular la capacidad de carga (Meyerhof, 1963) sugiere la siguiente ecuación:

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

c' : Cohesión

q : Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.

γ : Peso específico del suelo

B : Ancho de la cimentación

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: Factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: Factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: Factores de inclinación de la carga

N_c, N_q, N_{γ} : Factores de capacidad de carga

B= 1 m	
Df (m)	q_u
1	17364.95
2	26649.68
3	27858.15

B= 1.50 m	
Df (m)	q_u
1	17315.37
2	25117.72
3	26649.68

B= 2.00 m	
Df (m)	q_u
1	17290.58
2	17364.95
3	25589.95

El factor de seguridad FS para rocas se toma el valor de 5, al considerar que (Meyerhof, 1963) propone que no sea menor que 3 y al ser una estructura de gran índice de importancia se ocupa tal valor.

$$q_{perm} = \frac{q_u}{FS} = \frac{17364.95}{5} = 3473 \text{ KN/m}^2$$

B (m)= 1 m	
Df (m)	q permisible (KN/m ²)
1	3472.99
2	5329.94
3	5571.63

B(m)= 1.5m	
Df (m)	q permisible (KN/m ²)
1	3463.07
2	5023.54
3	5329.94

B(m)= 2m	
Df (m)	q permisible (KN/m ²)
1	3458.12
2	3472.99
3	5117.99

2.8. Análisis de las fuerzas actuantes sobre las Presas

Para el estudio de las tensiones o fuerzas actuantes sobre las dos se toma como base la geometría propuesta para las mismas en el proyecto de (Bonito & Naranjo, 2016), como se indica a continuación para cada uno de ellos.

2.8.1. Geometría de la presa del río El Salto

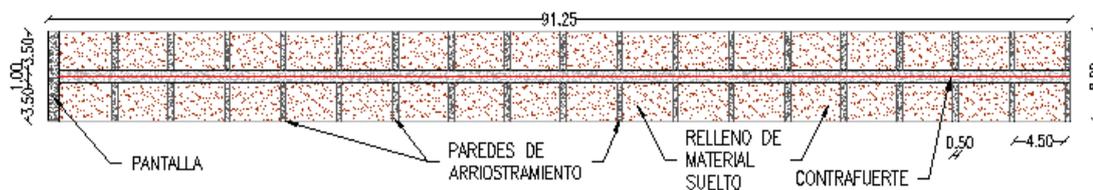


Figura 25. Franja de diseño de la presa mixta del Río El Salto

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

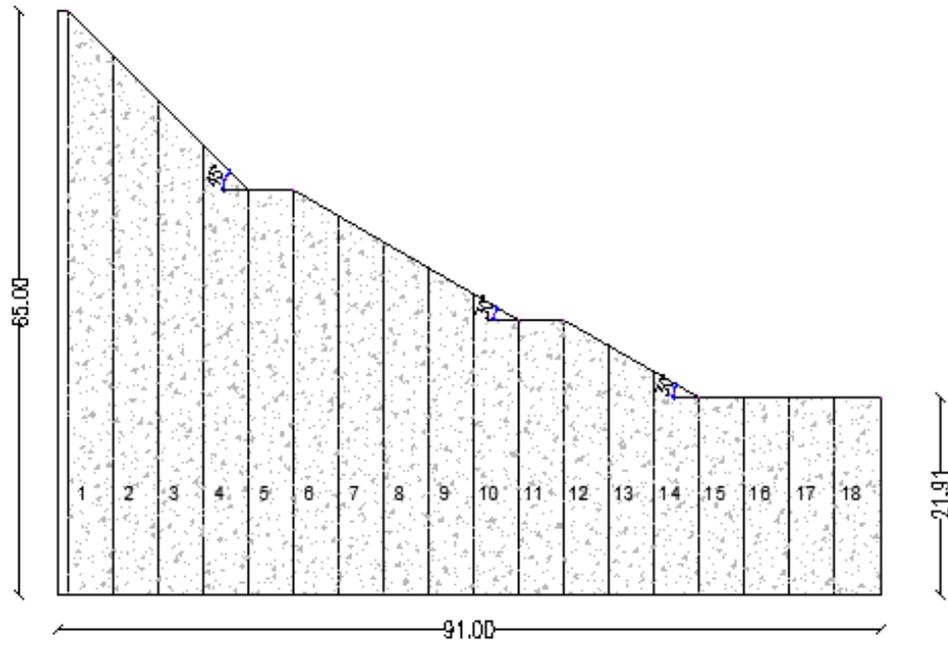


Figura 26. Geometría del contrafuerte de la presa del río El Salto

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

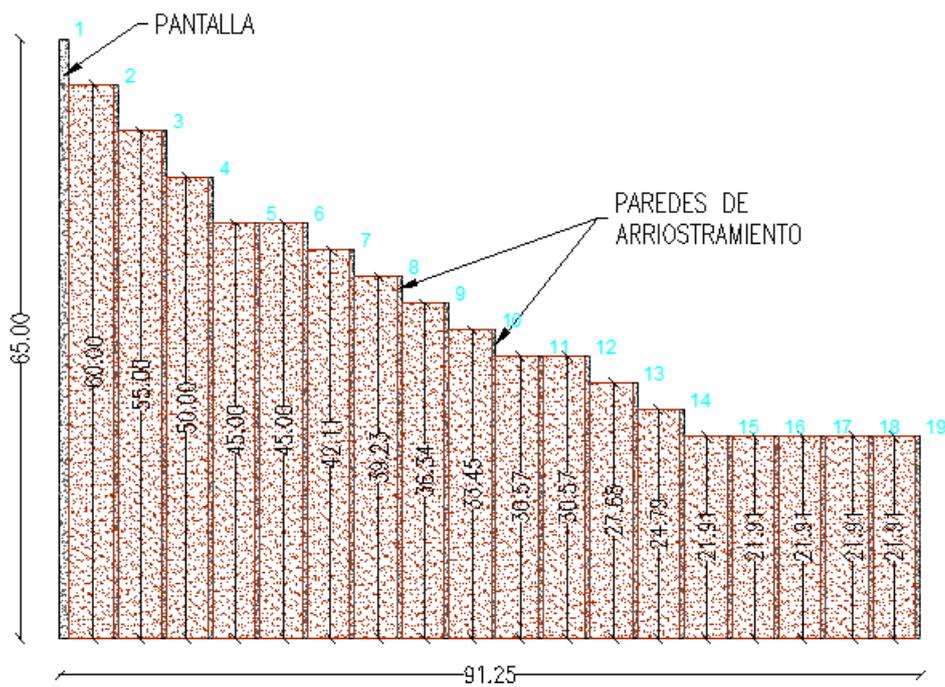


Figura 27. Pantalla y paredes de arriostramiento de la presa del río El Salto

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.8.2. Geometría de la presa del río Pita



Figura 28. Franja de diseño de la presa mixta del Río Pita

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

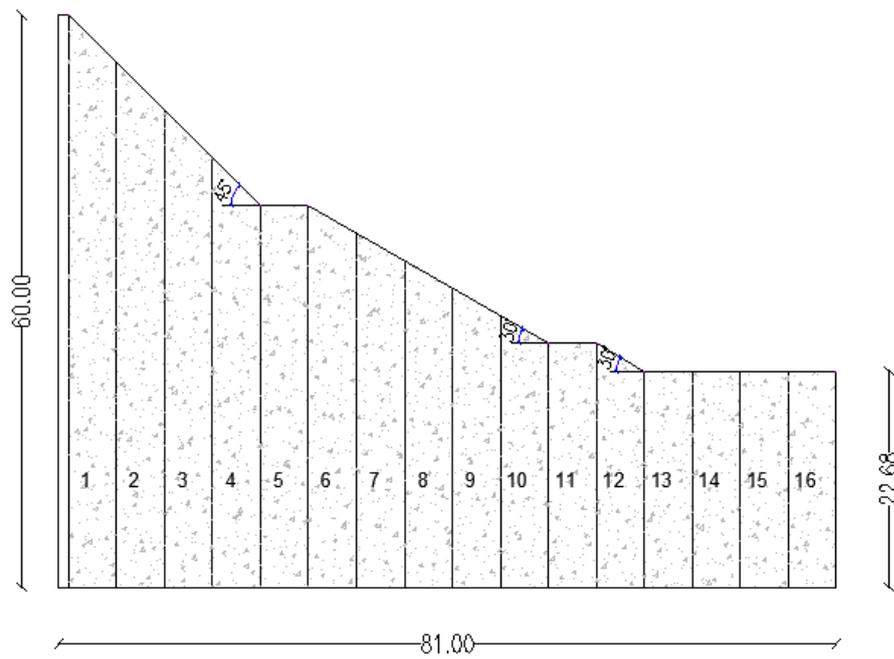


Figura 29. Geometría del contrafuerte de la presa del río Pita

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

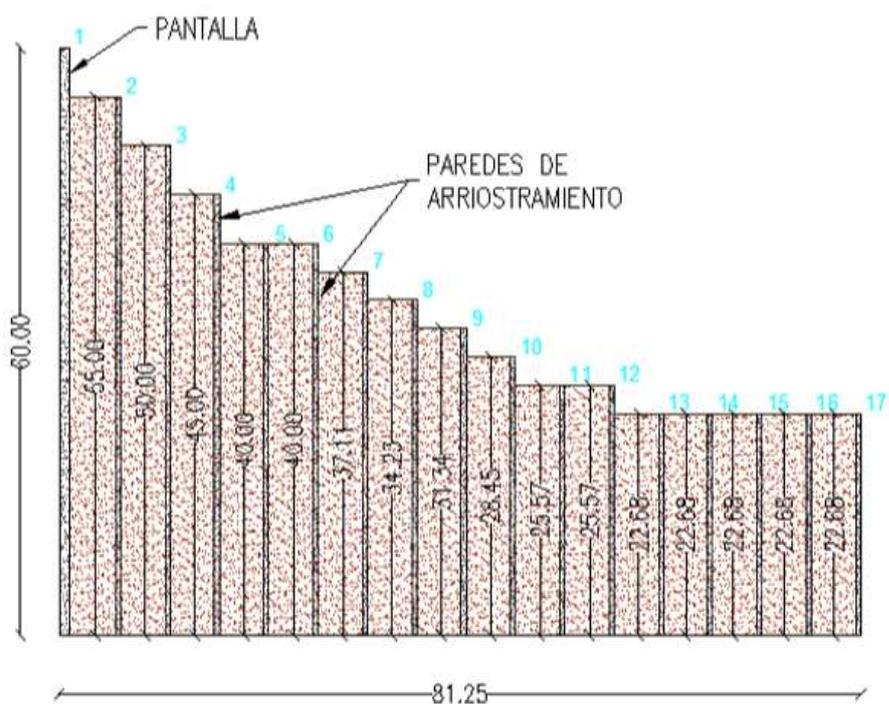


Figura 30. Pantalla y paredes de arriostamiento de la presa del río Pita

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.8.3. Análisis de estado de cargas

Una vez definida la geometría de las presas en cuestión, es fundamental comprender bajo qué condiciones estructurales se encuentran, y las propiedades mecánicas de los materiales que las componen.

Tabla 6
Propiedades mecánicas de los materiales

Material	Peso específico (T/m ³)	Elementos
Hormigón	2,40	Pantalla Paredes de arriostamiento Contrafuerte
Materiales sueltos	1,60	Relleno de material suelto

Para el análisis de cargas respectivo se analizarán dos estados de carga usuales que afectan a la estructura de hormigón a diseñar:

- Cargas permanentes:
 - Peso propio
 - Empuje producido por la presa de tierra
- Cargas dinámicas:
 - Empuje producido por lahares
 - Fuerzas Sísmicas
 - Viento

2.8.3.1. Cargas Permanentes

Las cargas permanentes son aquellas que resultan del peso propio de los elementos que componen la estructura además de los elementos no estructurales fijos (carga muerta, empujes de tierra y de líquidos). Este tipo de cargas se caracterizan porque sufren variaciones pequeñas en períodos de tiempo muy largos.

Peso Propio

El peso propio es la primera fuerza obligada a considerar en toda estructura. En una presa actúa como fuerza pasiva, fundamental y permanente que colabora en la estabilidad (Vallarino, 2014). La carga que se produce por el peso depende de las dimensiones y la forma de la estructura que por lo general se definen según las necesidades del proyecto. También es fundamental para definir el peso propio de una presa, detallar el peso específico de los materiales que se utilizan y de esta manera distinguir si se trata de hormigón, materiales sueltos, o una combinación como en el caso de diseño de las presas sobre el río El Salto y Pita.

Tanto en el caso del hormigón como en el de materiales naturales hay que hacer controles sistemáticos en obra, y cuando las diferencias de peso superen el 2%, se debe revisar si afectan al comportamiento de la presa (Vallarino, 2014).

2.8.3.1.1. Cargas por peso propio y momento estabilizador

Para la presa del río El Salto

Tabla 7
Cargas y momentos para la presa del río El Salto

Elemento	Carga (T)	Momento (T.m)
Contrafuerte	7809,77	412125,23
Pantalla y paredes de arriostramiento	7288,96	451976,94
Relleno de material suelto	31883,06	1715335,26
	46981,80	2579437,43

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Para la presa del río Pita

Tabla 8
Cargas y momentos presa del río Pita

Elemento	Carga (T)	Momento (T.m)
Contrafuerte	6531,87	308451,80
Pantalla y paredes de arriostramiento	6198,36	341987,80
Relleno de material suelto	26647,39	1254273,51
	39377,618	1904713,11

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.8.3.2. Cargas dinámicas

Las cargas dinámicas se producen por el impacto de un cuerpo en movimiento pueden originar en la estructura o en parte de ella efectos vibratorios. Comúnmente se acompañan de cambios de intensidad y posición.

2.8.3.2.1. Lahares

Para el volcán Cotopaxi el casquete está dividido en 19 partes como lenguas, cada una representa a una cuenca hidrográfica (Cáceres, 2010).

Estas lenguas sirven para el cálculo del volumen del glaciar en los diferentes períodos.

Para obtener el área y el volumen de aportación se parte del área y el volumen total del casquete del glaciar definido hasta agosto del 2015.

Tabla 9
Datos generales del casquete glaciar

Área total (Km ²)	Volumen total (Km ³)	Volumen total (Hm ³)
11.56	0.35	350

Fuente: (Lagla A. , 2015)

(Aguilera & Toulkeridis, 2004-2005) Estiman un aporte del casquete glaciar del 25% en una posible erupción del volcán Cotopaxi.

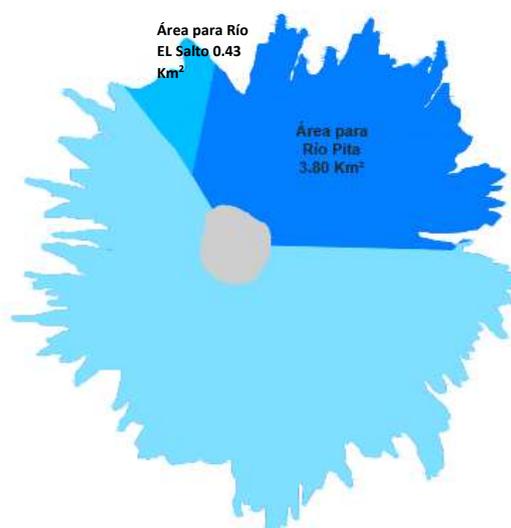


Figura 31. Área de aporte para la cuenca hidrográfica del río EL Salto y Pita

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Tabla 10
Aporte del glaciar

Volumen de aporte de glaciar	Volumen Hm ³	25% Hm ³
Río Pita	115.12	28,8
Río Salto	12.93	3,23

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

La altura de las presas para la retención de lodos adoptada por (Bonito & Naranjo, 2016) se obtuvo mediante la curva característica del embalse que define la superficie y el volumen del mismo en función de la cota de nivel de agua.

Con la siguiente ecuación se define el volumen de embalse.

$$\Delta \text{Volumen Embalse} = \frac{\text{Area}_1 + \text{Area}_2}{2} \times \text{Diferencia de Cotas}$$

$$\text{Volumen de Embalse} = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

(Bonito & Naranjo, 2016) Plantean la altura de la presa según el volumen de embalse:

Tabla 11
Altura de la presa según el volumen del embalse

	Altura de la presa (m)	Volumen de embalse (Hm ³)	Volumen de la presa (Hm ³)
Río Pita	50	35.62	1.75
Río El Salto	55	3.89	0.18

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

La altura del lahar (Aguilera & Toulkeridis, 2005) recomienda realizar el cálculo del impacto de la primera llegada de la ola con respecto a un evento del 10 % de la fusión del glaciar que corresponde a cada cuenca de estudio, el tiempo estimado de arribo hacia el punto de cierre es de 15 min. Con este

tiempo se determina el caudal a través del hidrograma y el área bajo la curva para cada río, resultó los siguientes parámetros.

Tabla 12
Parámetros de las cuencas del río El Salto y Pita

Río	Volumen embalse (10%)(Hm ³)	Volumen embalse (10%)(m ³)	Q (m ³ /s)
El Salto	1,29	1293209,67	1436,90
Pita	11,51	11511579,41	12790,64

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

2.8.3.2.2. Fuerza de impacto

La Fuerza de impacto del lahar se calcula con la ecuación que propone la Norma de la Federación Rusa para Estructuras de Mitigación de (Norma de la Federación Rusa para Estructuras de Mitigación de riesgos, 2007).

$$F = C_p * A * \frac{V^2}{2g} * \gamma$$

Tabla 13
Cálculo de la fuerza de impacto para las presas de El Salto y Pita

	RÍO EL SALTO	RÍO PITA
C _p	4.50	4.50
A: Área de impacto (m ²)	181.91	1889.20
V: Velocidad de flujo (m/s)	8.12	6.96
g:	9.80	9.80
γ: Peso específico del lahar (T/m ³)	2.20	2.20

FUERZA DE IMPACTO (T)	6058.26	46224.85
Altura de la ola (m)	6.00	7.26
MOMENTO (T.m)	18174.77	167796.22

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

Del concepto de lahar se puede afirmar que es un flujo de sedimentos transportados por agua por lo cual para establecer la carga se considera los siguientes parámetros de cálculo:

Tabla 14
Parámetros para el cálculo del Empuje de lahar

<i>Angulo de fricción interna ϕ</i>	42°
<i>Peso específico</i>	2.2 T/m ³

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

(Bonito & Naranjo, 2016) En su proyecto determinaron el ángulo de fricción interna a través del ensayo de corte directo.

A partir de estos datos se calcula el empuje en base a la ecuación de presión activa de tierra de Rankine por su comportamiento como empuje de sedimentos.

Teoría de Coulomb – Rankine 1857

Este cálculo permite evaluar requisitos para el diseño de estructuras de contención.

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * H^2$$

Donde **K_a**, es el coeficiente de presión activo de la tierra, **ϕ** es el ángulo de fricción, γ es el peso específico del suelo, **H** representa la altura del muro y por último **E** el empuje.

$$Ka = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} = \frac{1 - \text{sen}(42)}{1 + \text{sen}(42)} = 0.1982$$

$$E = \frac{1}{2} * Ka * \gamma * H^2$$

Se obtiene el momento de volcamiento realizando sumatoria de momentos en el punto más bajo siendo el brazo de palanca 21.66 metros para la presa del río El Salto.

$$Y = \frac{65.00}{3.00} = 21.66 \text{ m}$$

$$Mv = 7370.14 * 21.66 = 159686.34 \text{ Tm}$$

Y el momento de volcamiento para la presa del río Pita.

$$Y = \frac{60.00}{3.00} = 20.00 \text{ m}$$

$$Mv = 6279.98 * 20.00 = 125597.63 \text{ Tm}$$

Tabla 15
Resumen de momentos de volcamiento para las presas El Salto y Pita

	H(m)	E (T)	Mv (T.m)
Río El Salto	65	7370,14	159686,34
Río Pita	60	6279,88	125597,63

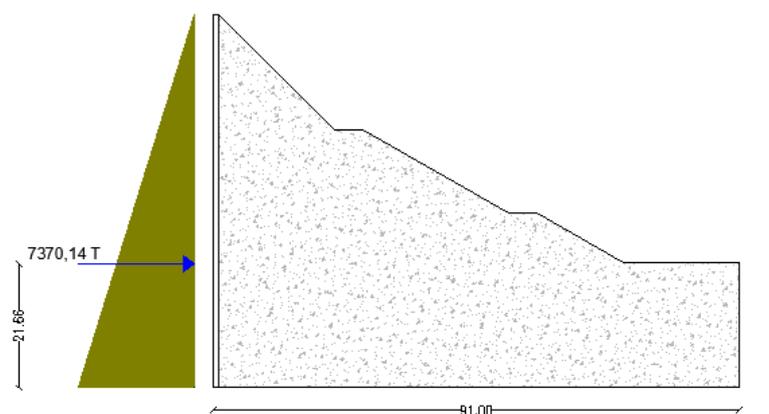


Figura 32. Empuje del lahar Presa Río El Salto

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

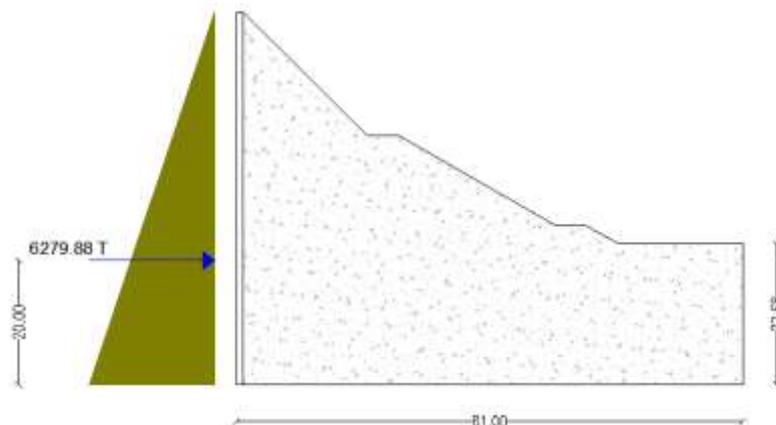


Figura 33. Empuje del lahar Presa Rio Pita

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

FACTOR DE SEGURIDAD

$$F_{sv} = \frac{M_e}{M_v}$$

Donde M_e es el momento estabilizador, y M_v el momento por volcamiento.

Tabla 16

Factores de seguridad de las presas del río El Salto y Pita

	M_v	M_e	$F_{sv} > 1.5$
Río El Salto	159686,34	2579437,43	16.15
Río Pita	125597,63	1904713,11	15.17

2.8.3.2.3. Cargas por Sismo

$$S_h = G * \alpha h$$

$$\alpha h = \frac{z}{1 + 3z}$$

$$S_v = G * \alpha v$$

$$\alpha_v = \frac{2}{3} \alpha_h$$

Donde:

- G: Peso total de la presa.
- α_h : Coeficiente sísmico horizontal.
- α_v : Coeficiente sísmico vertical.
- z : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g.

Tabla 17
Factor Z según la zona sísmica del Ecuador

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2015)

Por lo tanto, se toma un valor de 0.4 al estudiar una zona sísmica con una peligrosidad sísmica alta.

Parámetros de cálculo

$$\alpha_h = \frac{0.4}{1 + 3 * 0.4} = 0.18$$

$$\alpha_v = \frac{2}{3} * 0.18 = 0.12$$

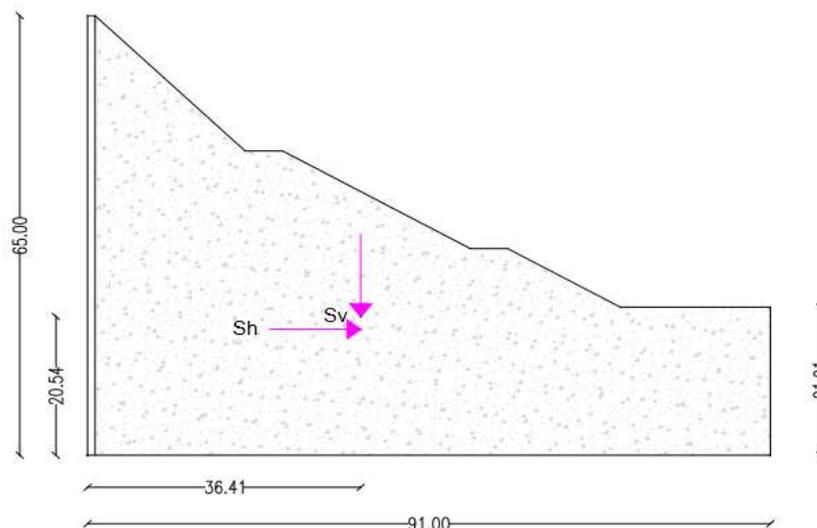


Figura 34. Fuerzas Sísmicas

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

**Tabla 18
Fuerzas Sísmicas**

	G (T)	Sh (T)	Sv (T)
Presa Río El Salto	77767.33	8456.72	5637.82
Presa Río Pita	39377,618	7087.97	4725.31

2.8.3.2.4. Cargas por Viento

(MIDUVI, CAMICON, 2015) Establece la aplicación este tipo de cargas según la altura de la estructura y las características topográficas y/o edificación del entorno (nivel de exposición del viento).

V: 21 (m/s) 75(km/h) Velocidad instantánea máxima del viento registrada a 10 m de altura sobre el terreno

Tabla 19
Coeficiente de corrección según las características topográficas de la estructura

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.08
150	1.28	1.22	1.15

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2015)

σ : 1.21 Coeficiente de corrección dentro de la categoría A sin obstrucción ubicado en espacios abiertos.

$$Vb = \sigma V$$

$$Vb = 1.21 (21) = 25.41 \text{ m/s}$$

Presión del Viento:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Vb^2 \cdot Ce \cdot Cf$$

P: Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ : Densidad del aire expresada en Kg/m³ (1.25 Kg/m³)

Ce: Coeficiente de entorno altura (1.50)

Cf: Coeficiente de forma (0.8) superficies verticales

Tabla 20
Tabla de cálculo de presión del viento

Velocidad (m/s)	Altura (m)	Coefficiente σ	Vb (m/s)	P (Kg/m ²)
21	5	0.91	19.11	27.39
21	10	1	21	33.08
21	20	1.06	22.26	37.16
21	40	1.14	23.94	42.98
21	80	1.21	25.41	48.43

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 25.41^2 \cdot 1.50 \cdot 0.80 = 484.25 \frac{N}{m^2} = 48.42 \frac{Kg}{m^2}$$

2.8.4. Cálculo de la presión de contacto

2.8.4.1. Presa Río El Salto

Calculo de la excentricidad

Tabla 21
Resumen de cargas y momentos Río El Salto

Elemento	Carga (T)	Momento (T.m)
Contrafuerte	7809.77	412125.23
Pantalla y paredes de arriostramiento	7288.96	451976.94
Relleno de material suelto	31883.06	1715335.26
Empuje del lahar	7370.14	159686.34
Carga por Sismo (Sv)	5637.82	0.00
Fuerza de impacto	6058.26	18174.77
SUMATORIA	66048.01	2757298.54

$$e = \frac{\sum M}{\sum P} = \frac{2757298.54 \text{ T.m}}{66048.01 \text{ T}} = 41.747 \text{ m}$$

$$\frac{L}{6} = 15.166 \text{ m}$$

$$e > \frac{L}{6}$$

$$\sigma = \frac{2P}{3B * (\frac{L}{2} - e)}$$

Donde:

σ = Presión de contacto en la cimentación

P= cargas actuantes

B= Base de la cimentación (1 metro)

L= Longitud de la cimentación en el sentido de los momentos

e= M/P, excentricidad de la estructura

$$\sigma = \frac{2P}{3B * (\frac{L}{2} - e)}$$

$$\sigma = \frac{2 * 66048.01 T}{3 * 1m * (\frac{91 m}{2} - 41.747 m)}$$

$$\sigma = 11732.482 T/m^2$$

2.8.4.2. Presa Río Pita

Tabla 22
Resumen de cargas y momentos Río Pita

Elemento	Carga (T)	Momento (T.m)
Contrafuerte	6531.87	308451.80
Pantalla y paredes de arriostamiento	6198.36	341987.80
Relleno de material suelto	26647.39	1254273.51
Empuje del lahar	6279.88	125597.63
Carga por Sismo (Sv)	4725.31	0.00
Fuerza de impacto	46224.85	167796.22
SUMATORIA	96607.66	2198106.96

$$e = \frac{\sum M}{\sum P} = \frac{2198106.96 T.m}{96607.66 T} = 22.752 m$$

$$\frac{L}{6} = 13.50 m$$

$$e > \frac{L}{6}$$

$$\sigma = \frac{2P}{3B * (\frac{L}{2} - e)}$$

$$\sigma = \frac{2 * 96607.66 T}{3 * 1m * (\frac{81 m}{2} - 22.752 m)}$$

$$\sigma = 3628.865 T/m^2$$

CAPITULO 3

MODELAMIENTO

3.1. Introducción

Para el modelamiento estructural de las celdas de hormigón de las Presas mixtas para el río Pita y Salto se utiliza el software SAP 2000 para lo cual es necesario definir los siguientes parámetros:

- Materiales
- Elementos
- Geometría de las celdas de hormigón
- Secciones
- Estados de cargas y combinaciones

3.2. Materiales

El material con el cual se modela cada celda es el hormigón armado con esfuerzo $f'c$ 280 Kg/cm² en su totalidad, las celdas están rellenas de material granular con un peso específico de 1.6 T/m³ debidamente compactado.

3.3. Definición de elementos

- Contrafuerte exterior
- Contrafuerte interior
- Pantalla principal
- Paredes de arriostamiento
- Alcantarilla
- Celdas rellenas de material suelto

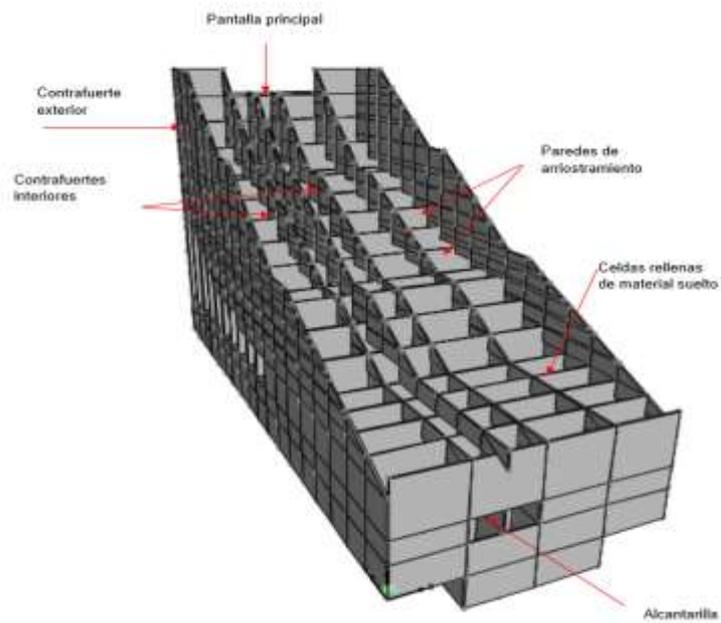


Figura 35. Elementos de la Presa

3.4. Geometría de la Presa

3.4.1. Río El Salto

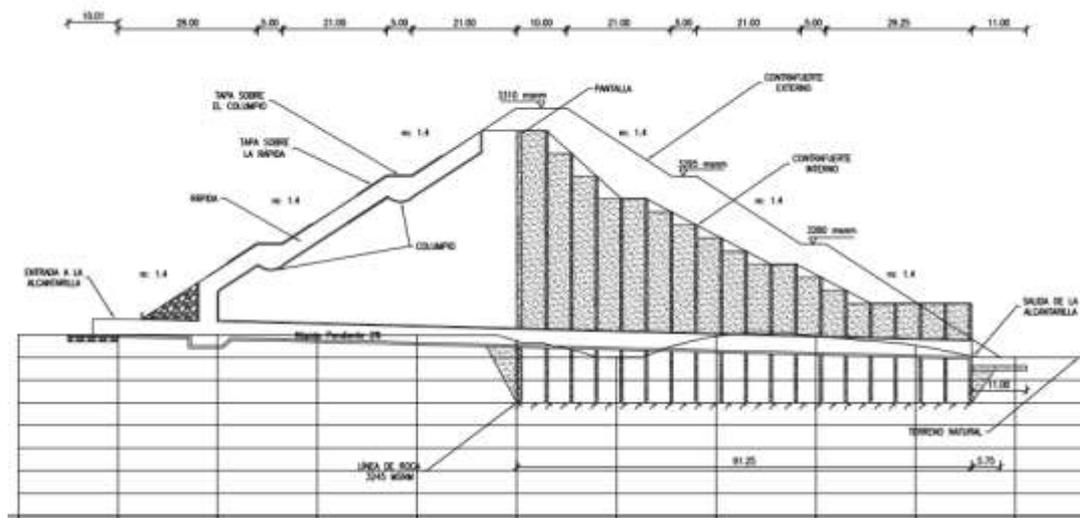


Figura 36. Geometría Presa río El Salto

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

3.4.2. Río Pita

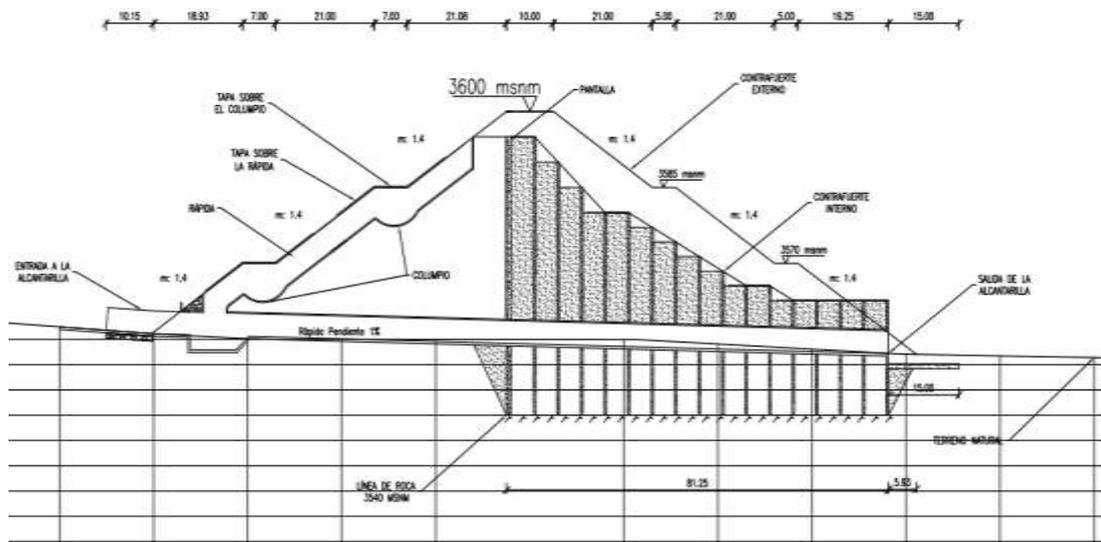


Figura 37. Geometría Presa río Pita

Fuente: (Bonito & Naranjo, 2016)

3.5. Secciones

Las secciones de los elementos a ingresar en el software son los que se recomiendan por (Bonito & Naranjo, 2016) a fin de comprobar si las secciones son las adecuadas o deben ser redefinidas.

El espesor para cada elemento está detallado a continuación:

Tabla 23
Secciones Iniciales de diseño Río El Salto

Elemento	Espesor (m)
Contrafuertes externo	1.00
Contrafuertes internos	1.00
Pantalla principal	1.00
Paredes de arriostramiento	0.50

Tabla 24
Secciones Iniciales de diseño Río Pita

<i>Elemento</i>	Espesor (m)
Contrafuertes externo	1.00
Contrafuertes internos	1.00
Pantalla principal	1.00
Paredes de arriostramiento	0.50

3.6. Elaboración del modelo

Para la elaboración del modelo se trabajó en el software SAP2000, que nos permite modelar estructuras en dos o tres dimensiones y calcular cualquier tipo de estructura de distinto material.

Los elementos de la estructura son finitos tipo Shell estos entregan “mejores” resultados al considerar las deformaciones y tensiones de corte (fuera del plano que los contiene). Esto se consigue al definir el elemento como “Shell-Thick”. (Peña López, 2014)



Figura 38. Definición de secciones

3.6.1. Visualización del modelo

Modelo Presa Río El Salto

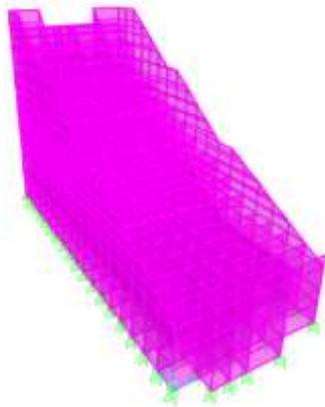


Figura 39. Vista en 3D presa río El Salto

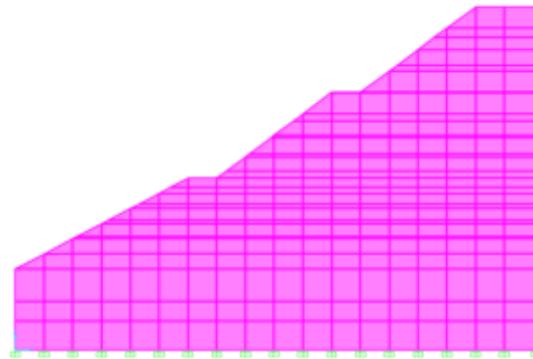


Figura 40. Vista contrafuerte exterior presa río El Salto

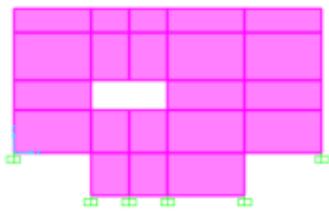


Figura 41. Vista pared arriostamiento frontal presa río El Salto

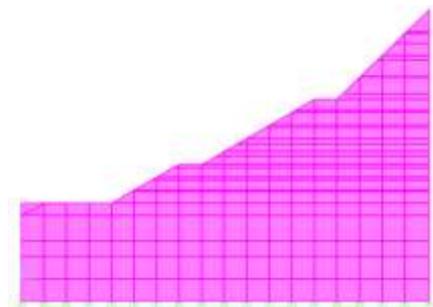


Figura 42. Vista contrafuerte interior presa río El Salto

Modelo presa Río Pita

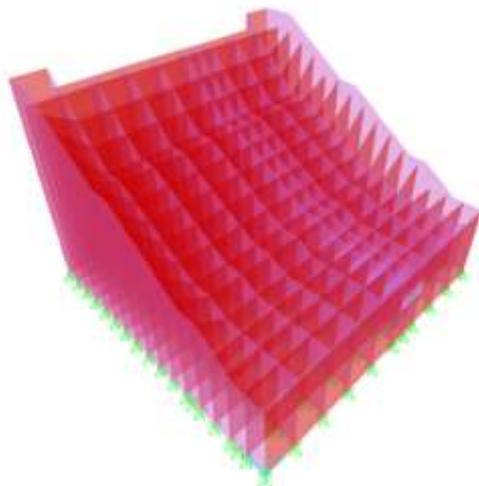


Figura 43. Vista en 3D presa río Pita

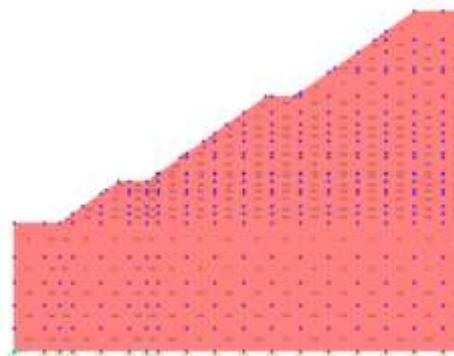


Figura 44. Vista contrafuerte exterior río Pita

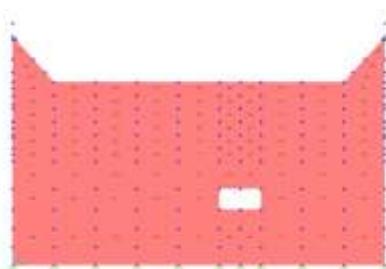


Figura 45. Vista pared arriostamiento frontal presa río Pita

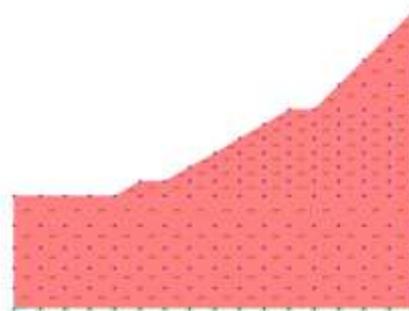


Figura 46. Vista contrafuerte interior presa río Pita

3.6.2. Aplicación de cargas y combinaciones

Estados de Carga

Se definen los estados de carga, que para el caso de la estructura estos son:

- Carga muerta
- Empuje lateral de tierra. - los contrafuertes externos de la presa mixta de retención de lodos están rellenos por material suelto por la pared exterior al seguir el perfil de su estructura.

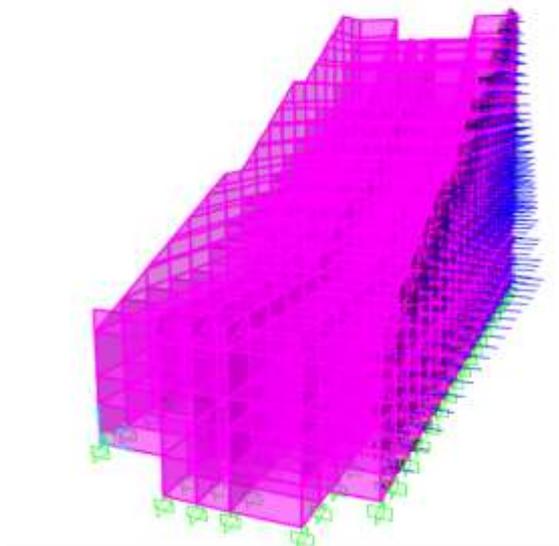


Figura 47. Empuje laterar de tierra relleno exterior

- Empuje de lahar. - El empuje que produce el Lahar no llega directamente a la pantalla principal, el relleno frontal soporta esa carga y se transmite a la pantalla.

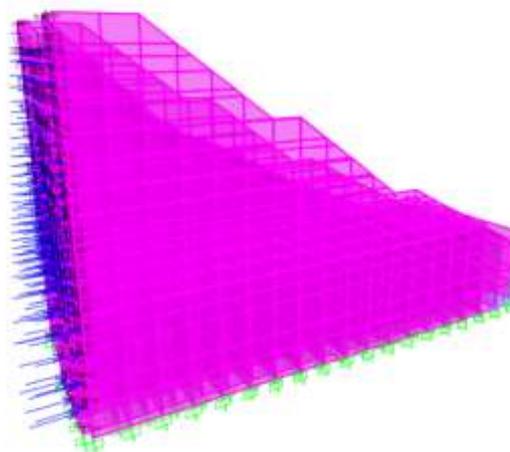


Figura 48. Empuje del lahar

- Viento. - Es importante en la parte superior de los contrafuertes externos ya que las paredes de arrostramiento no llegan a la misma altura.

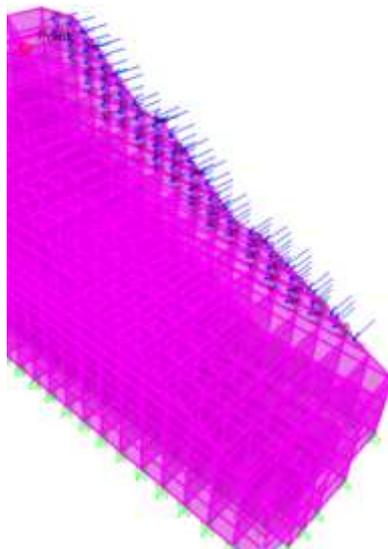


Figura 49. Asignación de carga del viento

- Sismo. - Se analiza dos tipos, el análisis modal espectral al aplicar el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 y el análisis lineal estático.

3.6.3. Análisis modal espectral

Se ingresa el espectro de diseño de la (MIDUVI, CAMICON, 2015)

Parámetros

Tabla 25
Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, τ g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E		1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2015)

Tabla 26
Tipo de suelo y factores de sitio F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, \dot{g})	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2015)

Tabla 27
Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, \dot{g})	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Nota: Para los suelos tipo F no se proporcionan valores de F_a , F_d ni de F_s , debido a que requieren un estudio especial, conforme lo estipula la sección 2.5.4.9.

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2015)

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_C$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_C}{T} \right)^r \text{ para } T > T_C$$

$$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}; \quad T_L = 2.4 F_d$$

$$S_a = Z F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right) \text{ para } T \leq T_0$$

$$T_0 = 0.10 F_S \frac{F_d}{F_a}$$

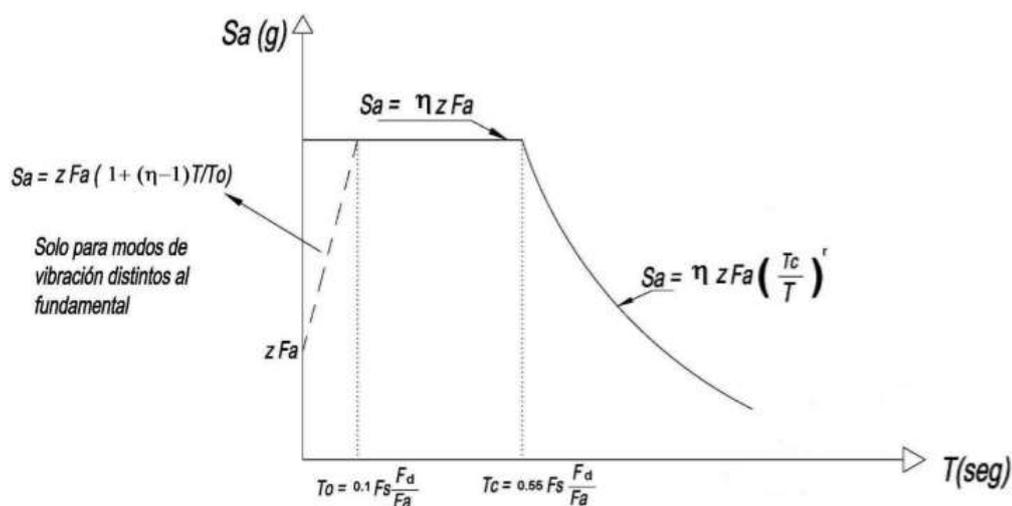


Figura 50. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Tabla 28
Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Fuente: (MIDUVI, CAMICON, 2015)

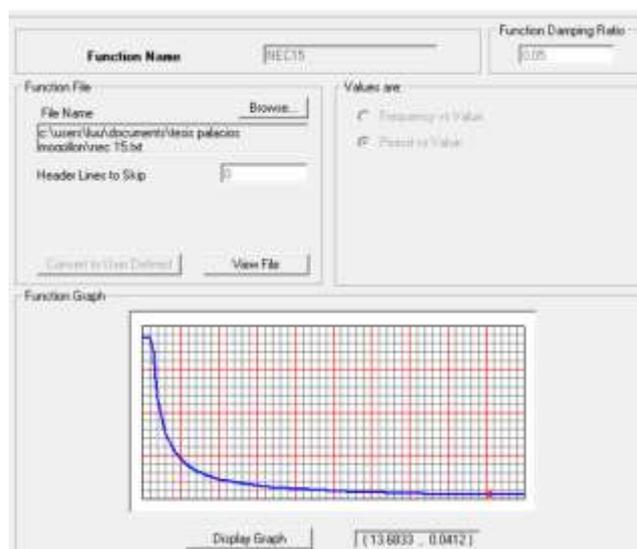


Figura 51. Espectro NEC 2015

3.6.3.1. Análisis lineal estático

Para este análisis se ingresan los coeficientes sísmicos obtenidos en cada sentido para una presa en la sección 2.8.3.2.3 (Cargas por sismo).

Sentido x

Sentido y



Figura 52. Asignación coeficientes sísmicos.

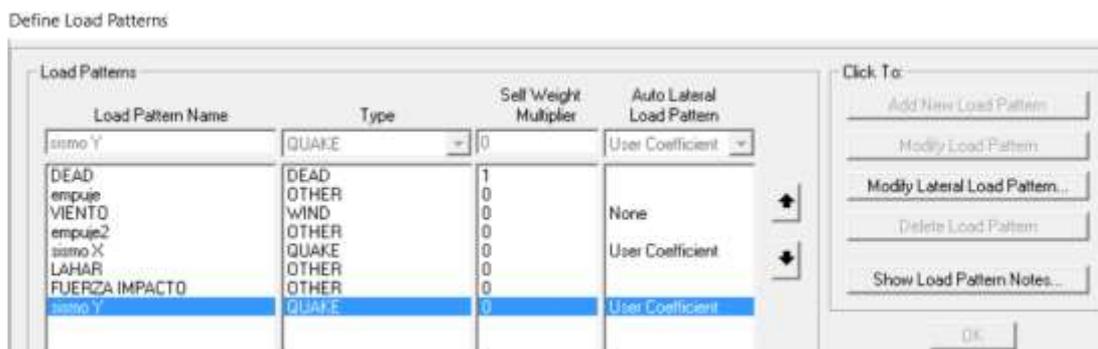


Figura 53. Definición de Estados de Carga

3.6.3.2. Combinaciones de Carga

Las cargas aplicadas estas descritas en el Capítulo 2 en la sección 2.5 y las combinaciones empleadas en el modelo son las siguientes según la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (MIDUVI, CAMICON, 2015)

1. 1.4D
2. $1.2D \pm 1.6H$
3. $1.2D \pm W$
4. $1.2D \pm E$

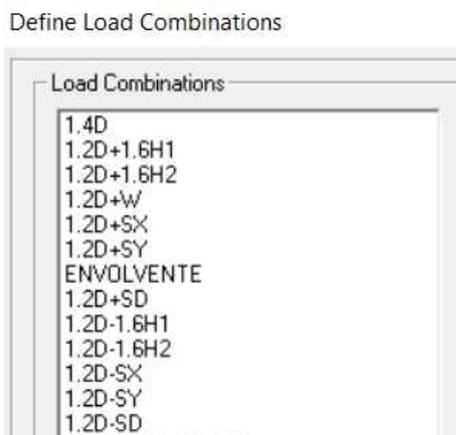


Figura 54. Combinaciones de Carga

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Determinación de deformaciones y esfuerzos

4.1.1. Consideraciones

4.1.1.1. Deflexiones

Las deflexiones transversales en elementos estructurales tales como muros no deben exceder los valores máximos permisibles.

La deflexión máxima fuera del plano Δ_s debida a las cargas de servicio, incluido el efecto $P\Delta$ no debe ser mayor que $\Delta = \frac{L}{150}$. (318, 2011)

Tabla 29
Deflexiones presa río El Salto y presa río Pita

DEFLEXIONES MÁXIMAS	L (m) =5m	500	cm	3.33	cm
RÍO EL SALTO		<i>DEFLEXIONES (cm)</i>			
CONTRAFUERTE EXTERNOS		3.15		ok	
PANTALLA PRINCIPAL		2.4		ok	
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO		2.5		ok	
CONTRAFUERTE INTERIORES		2.1		ok	
RÍO PITA		<i>DEFLEXIONES</i>			
CONTRAFUERTE EXTERNOS		3.11		ok	
PANTALLA PRINCIPAL		1.3		ok	
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO		1.12		ok	
CONTRAFUERTE INTERIORES		0.69		ok	

4.1.1.2. Esfuerzos

4.1.1.2.1. Compresión

El esfuerzo máximo a compresión se define como $0.45 f'c$ para el caso de las celdas de hormigón se considera el empuje que producen los lahares en las caras de los contrafuertes, a continuación un esquema para el cálculo de comprobación de esfuerzos.

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza empuje de lahar}}{\text{Área de contacto}}$$

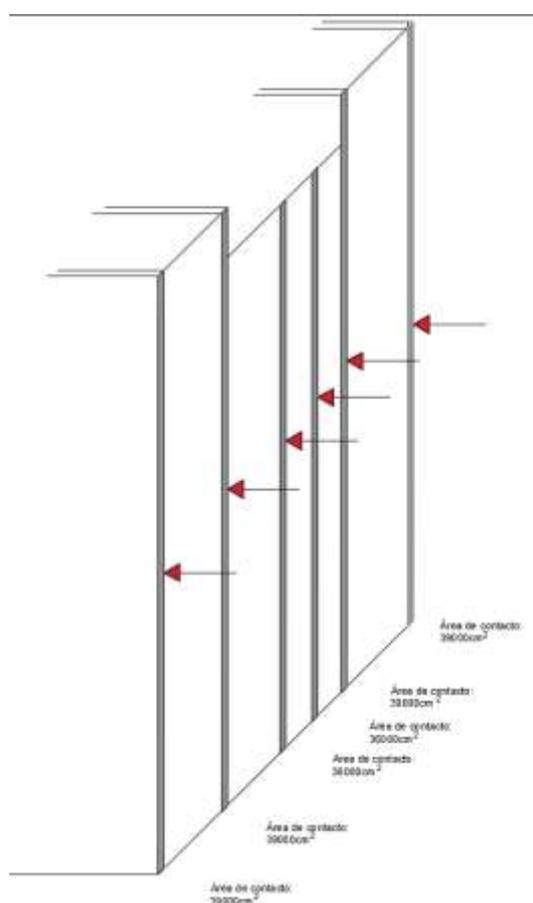


Figura 55. Esquema de empuje de los lahares en los contrafuertes

Tabla 30
Esfuerzo a la Compresión río El Salto

$f'c$	280	Kg/cm ²			
Empuje de lahar		7370.14	T		
Contrafuertes	$\sigma_c = 0.45 f'c$	Fuerza (Kg)	Area(cm²)	σ	$\sigma < \sigma_c$
1	126.00	1228356.67	390000.00	3.15	Ok
2	126.00	1228356.67	390000.00	3.15	Ok
3	126.00	1228356.67	360000.00	3.41	Ok
4	126.00	1228356.67	360000.00	3.41	Ok
5	126.00	1228356.67	390000.00	3.15	Ok
6	126.00	1228356.67	390000.00	3.15	Ok

Tabla 31
Esfuerzo a la Compresión río Pita

$f'c$	280	Kg/cm ²			
Empuje de lahar		6279.88	T		
Contrafuertes	$\sigma_c = 0.45 f'c$	Fuerza (Kg)	Area(cm²)	σ (kg/cm²)	$\sigma < \sigma_c$
1	126.00	570898.18	390000.00	1.46	ok
2	126.00	570898.18	390000.00	1.46	ok
3	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
4	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
5	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
6	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
7	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
8	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
9	126.00	570898.18	360000.00	1.59	ok
10	126.00	570898.18	390000.00	1.46	ok
11	126.00	570898.18	390000.00	1.46	ok

4.1.1.2.2. Tracción

Los esfuerzos S11 y S22 obtenidos del programa superan al admisible $0.10f'c$ lo cual indica que las celdas necesitan refuerzo a tracción.

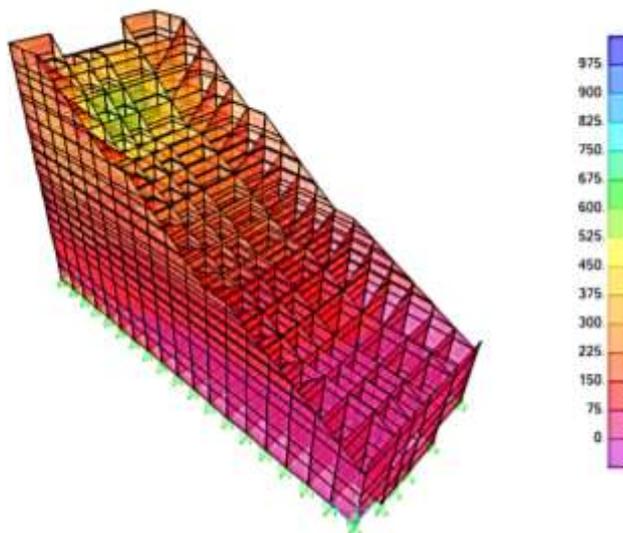


Figura 56. Esfuerzos a tracción presa río El Salto

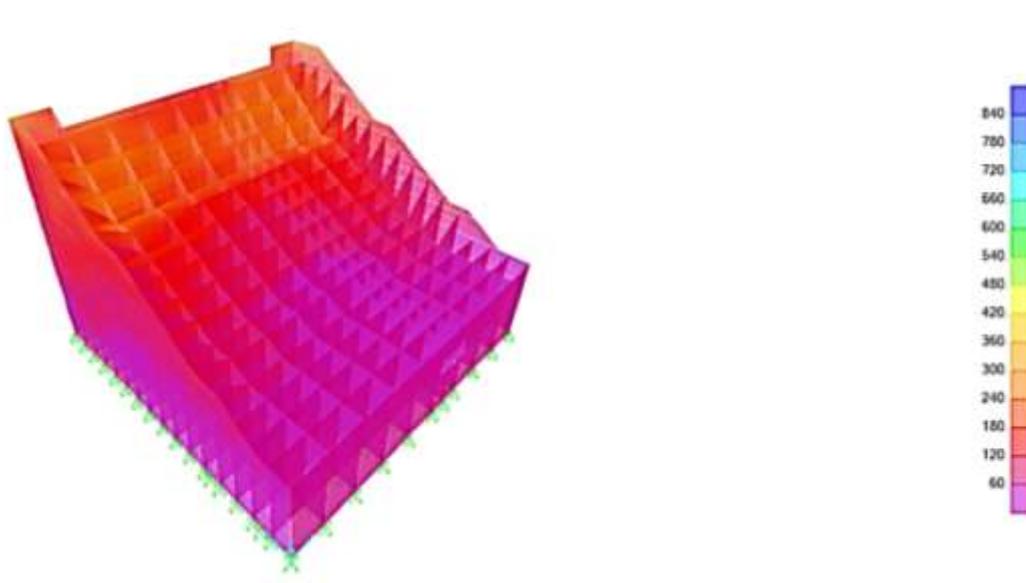


Figura 57. Esfuerzos a tracción presa río Pita

4.2. Diseño de elementos

En el análisis de las deflexiones y los esfuerzos del diseño presentado por (Bonito & Naranjo, 2016) se determinó que las secciones propuestas están sobredimensionadas, por lo que, con la finalidad de aplicar un correctivo, en

el presente proyecto se asigna secciones menores siendo estas las descritas a continuación:

Tabla 32
Nuevas secciones para el diseño río El Salto

<i>Elemento</i>	Espesor (m)
Contrafuertes externo	0.60
Contrafuertes internos	0.60
Pantalla principal	1.00
Paredes de arriostramiento	0.50

Tabla 33
Nuevas secciones para el diseño río Pita

<i>Elemento</i>	Espesor (m)
Contrafuertes externo	0.60
Contrafuertes internos	0.60
Pantalla principal	1.00
Paredes de arriostramiento	0.50

Las secciones son reconsideradas por presentar holgura en deflexiones a continuación se recalcula el factor de deslizamiento para las presas de los ríos El Salto y Pita.

4.2.1. Recálculo del factor de deslizamiento presa Rio El Salto

Tabla 34
Recalculo de momento estabilizador del contrafuerte presa río El Salto

N°	Angulo	a (m)	b (m)	c (m)	Espesor (m)	v1 (m3)	v2 (m3)	C1 (T)	C2 (T)	B1 (m)	B2 (m)	Me (T.m)
1	45	65	5	60	0.60	180	7.50	432	18	88	88	39390
2	45	60	5	55	0.60	165	12.50	396	30	83	83	35170
3	45	55	5	50	0.60	150	12.50	360	30	78	78	30250
4	45	50	5	45	0.60	135	12.50	324	30	73	73	25690
CONTINÚA												→

5	45	45	5	45	0.60	135	0	324	0	68	68	21870
6	45	45	5	42.11	0.60	126	7.22	303	17.3	63	63	20048
7	45	42.11	5	39.23	0.60	118	7.22	282	17.3	58	58	17249
8	45	39.23	5	36.34	0.60	109	7.22	262	17.3	53	53	14661
9	45	36.34	5	33.45	0.60	100	7.22	241	17.3	48	48	12278
10	45	33.45	5	30.57	0.60	91.7	7.20	220	17.3	43	43	10103
11	45	30.57	5	30.57	0.60	91.7	0	220	0	38	38	8254
12	45	30.57	5	27.68	0.60	83	7.22	199	17.3	33	33	7055
13	45	27.68	5	24.79	0.60	74.4	7.22	178	17.3	18	18	3441
14	45	24.79	5	21.91	0.60	65.7	7.20	158	17.3	13	13	2202
15	45	21.91	5	21.91	0.60	65.7	0	158	0	7.50	8.30	1183
16	45	21.91	5	21.91	0.60	65.7	0	158	0	13	13	1972
17	45	21.91	5	21.91	0.60	65.7	0	158	0	7.50	8.30	1183
18	45	21.91	5	21.91	0.60	65.7	0	158	0	2.50	3.30	394

Tabla 35
Recálculo de momento pantalla y paredes de arriostamiento presa río
El Salto

N°	a (m)	b (m)	Espesor (m)	V (m3)	C (T)	B (m)	Me (T.m)
1	65	5	1	546	1310.40	90.5	118591
2	60	5	0.5	252	604.80	90	54432
3	55	5	0.5	231	554.40	85	47124
4	50	5	0.5	210	504	80	40320
5	45	5	0.5	189	453.60	75	34020
6	45	5	0.5	189	453.60	70	31752
7	42.11	5	0.5	176.86	424.46	65	27590
8	39.23	5	0.5	164.77	395.43	60	23726
9	36.34	5	0.5	152.63	366.30	55	20147
10	33.45	5	0.5	140.49	337.17	50	16859
11	30.57	5	0.5	128.39	308.14	45	13867
12	30.57	5	0.5	128.39	308.14	40	12326
13	27.68	5	0.5	116.26	279.01	35	9765.50
14	24.79	5	0.5	104.12	249.88	30	7496.50
15	21.91	5	0.5	92.02	220.85	25	5521.30
16	21.91	5	0.5	92.02	220.85	20	4417.10
17	21.91	5	0.5	92.02	220.85	15	3312.80
18	21.91	5	0.5	92.02	220.85	10	2208.50
19	21.91	5	0.5	92.02	220.85	5	1104.30

Tabla 36
Recalculo de momento estabilizador del material suelto presa río El Salto

N°	a (m)	b (m)	c(m)	d (m)	V (m3)	C (T)	B (m)	Me (T.m)
1	65	5	60	4.25	2320.50	3712.80	77.50	287742
2	60	5	55	4.50	2268	3628.80	72.50	263088
3	55	5	50	4.50	2079	3326.40	67.50	224532
4	50	5	45	4.50	1890	3024	62.50	189000
5	45	5	45	4.50	1701	2721.60	57.50	156492
6	45	5	42.10	4.50	1701	2721.60	52.50	142884
7	42.11	5	39.20	4.50	1591.75	2546.80	47.50	120973.60
8	39.23	5	36.30	4.50	1482.89	2372.60	42.50	100836.79
9	36.34	5	33.50	4.50	1373.65	2197.80	37.50	82419.12
10	33.45	5	30.60	4.50	1264.41	2023.10	32.50	65749.32
11	30.57	5	30.60	4.50	1155.54	1848.90	27.50	50844.02
12	30.57	5	27.70	4.50	1155.54	1848.90	22.50	41599.65
13	27.68	5	24.80	4.50	1046.30	1674.10	17.50	29296.51
14	24.79	5	21.90	4.50	937.06	1499.30	12.50	18741.24
15	21.9	5	21.90	4.50	827.82	1324.50	7.50	9933.84
16	21.9	5	21.90	4.50	827.82	1324.5	2.50	3311.28
17	21.9	5	21.90	4.50	827.82	37796	2.50	94489.24
18	21.9	5	21.90	4.50	827.82	71879	2.50	179696.49

Tabla 37
Cálculo del factor de deslizamiento presa río El Salto

<u>Elementos</u>	ME	MV	FSD
<i>Contrafuerte</i>	252394		
<i>Pantalla y paredes de arriostamiento</i>	474580.00		
<i>Relleno material granular compactado</i>	2061629.14		
TOTAL	2788603.14	159686.34	17.43>1.5

4.2.2. Recálculo del factor de deslizamiento presa Río Pita

Tabla 38
Recalculo de momento estabilizador del contrafuerte presa Río Pita

N°	Angulo	a (m)	b (m)	c (m)	Espesor (m)	v1 (m3)	v2 (m3)	C1 (T)	C2 (T)	B1 (m)	B2 (m)	Me (T.m)
1	45	60	5	55	0.60	165	7.50	396	18	88	88.33	36240
2	45	55	5	50	0.60	150	12.50	360	30	83	83.33	32200
3	45	50	5	45	0.60	135	12.50	324	30	78	78.33	27460
4	45	45	5	40	0.60	120	12.50	288	30	73	73.33	23080
5	45	40	5	40	0.60	120	0	288	0	68	68.33	19440
6	45	40	5	37.10	0.60	111.30	7.22	267	17.34	63	63.33	17798
7	45	37.11	5	34.20	0.60	102.70	7.20	246	17.28	58	58.33	15179
8	45	34.23	5	31.30	0.60	94.02	7.22	226	17.34	53	53.33	12771
9	45	31.34	5	28.50	0.60	85.35	7.22	205	17.34	48	48.33	10568
10	45	28.45	5	25.60	0.60	76.71	7.20	184	17.28	43	43.33	8573
11	45	25.57	5	25.60	0.60	76.71	0	184	0	38	38.33	6904
12	45	25.57	5	22.70	0.60	68.04	7.22	163	17.34	33	33.33	5885
13	45	22.68	5	22.70	0.60	68.04	0	163	0	18	18.33	2858
14	45	22.68	5	22.70	0.60	68.04	0	163	0	13	13.33	2041
15	45	22.68	5	22.70	0.60	68.04	0	163	0	7.50	8.33	1225
16	45	22.68	5	22.70	0.60	68.10	0	163	0	13	13.33	2043

Tabla 39
Recálculo de momento pantalla y paredes de arriostamiento presa Río Pita

N°	a (m)	b (m)	Espesor (m)	V (m3)	C (T)	B (m)	Me (T.m)
1	60	5	1	504	1209.60	80.5	97372.80
2	55	5	0.50	231	554.40	80	44352
3	50	5	0.50	210	504	75	37800
4	45	5	0.50	189	453.60	70	31752
5	40	5	0.50	168	403.20	65	26208
6	40	5	0.50	168	403.20	60	24192
7	37.11	5	0.50	155.90	374.07	55	20573.78
8	34.23	5	0.50	143.80	345.04	50	17251.92
9	31.34	5	0.50	131.60	315.91	45	14215.82
10	28.45	5	0.50	119.50	286.78	40	11471.04
11	25.57	5	0.50	107.40	257.75	35	9021.09
12	25.57	5	0.50	107.40	257.75	30	7732.36
13	22.68	5	0.50	95.26	228.61	25	5715.36
14	22.68	5	0.50	95.26	228.61	20	4572.28
15	22.68	5	0.50	95.26	228.61	15	3429.21
16	22.68	5	0.50	95.26	228.61	10	2286.14
17	22.68	5	0.50	102.10	244.94	5	1224.72

Tabla 40
Recalculo de momento estabilizador del material suelto presa Río Pita

N°	a (m)	b (m)	d (m)	V (m ³)	C (T)	B (m)	Me (T.m)
1	60	5	4.25	2142	3427.20	77.50	265608
2	55	5	4.50	2079	3326.40	72.50	241164
3	50	5	4.50	1890	30240	67.50	204120
4	45	5	4.50	1701	2721.60	62.50	170100
5	40	5	4.50	1512	2419.20	57.50	139104
6	40	5	4.50	1512	2419.20	52.50	127008
7	37.11	5	4.50	1403	2244.40	47.50	106609.6
8	34.23	5	4.50	1294	2070.20	42.50	87984.79
9	31.34	5	4.50	1185	1895.40	37.50	71079.12
10	28.45	5	4.50	1075	1720.70	32.50	55921.32
11	25.57	5	4.50	966.5	1546.50	27.50	42528.02
12	22.68	5	4.50	857.3	1371.70	22.50	30862.94
13	22.68	5	4.50	857.3	1371.70	17.50	24004.51
14	22.68	5	4.50	857.3	1371.70	12.50	17146.08
15	22.68	5	4.50	857.3	1371.70	7.50	10287.65
16	22.68	5	4.50	857.3	1371.70	2.50	3429.216

Tabla 41
Recálculo del factor de deslizamiento presa río Pita

<u>Elementos</u>	ME	MV	FSD
<i>Contrafuerte</i>	224264		
<i>Pantalla y paredes de arriostramiento</i>	359170.56		
<i>Relleno material granular compactado</i>	1596957.26		
TOTAL	2180391.82	125597.63	17.36>1.5

4.2.3. Convenciones

En el software SAP2000 la convención de momentos M11 y M22 se puede apreciar en la fig.50 en donde M11 se trata del momento con respecto al eje 1-1 de los elementos de análisis, este permite obtener el refuerzo paralelo a este eje y de igual manera el M22 corresponde al momento alrededor del eje local 2 del elemento permitiendo obtener el refuerzo paralelo a este eje.

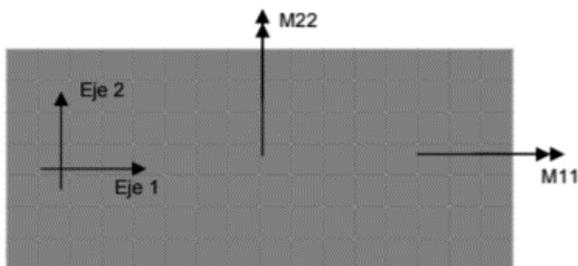


Figura 58. Convención de momentos M_{11} - M_{22}

4.2.4. Momentos de diseño

- **Contrafuerte Exterior**

En el estado de carga de la envolvente se produce el mayor momento flector en el sentido 2-2 para el contrafuerte exterior.

Momento: 43.23 T.m

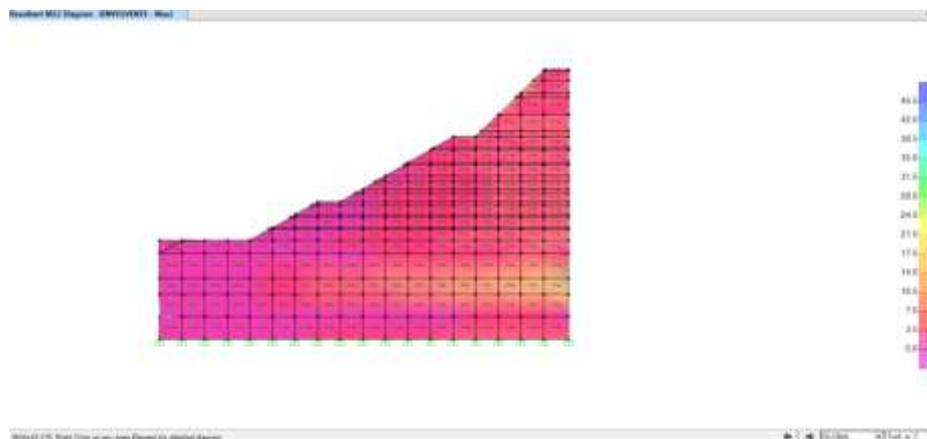


Figura 59. Momento máximo contrafuerte exterior

En el estado de carga $1.2D+1.6H$ se presenta el menor momento en el sentido 2-2.

Momento: -23.21 T.m

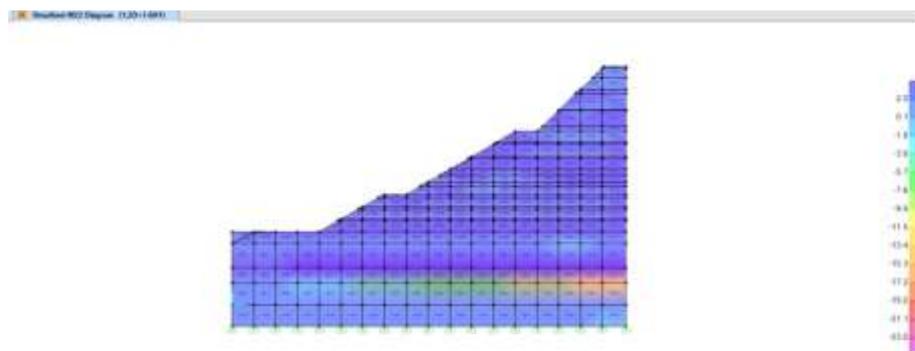


Figura 60. Menor momento contrafuerte exterior

- **Contrafuertes interiores**

Para los contrafuertes interiores el momento máximo es: 24.50 T.m

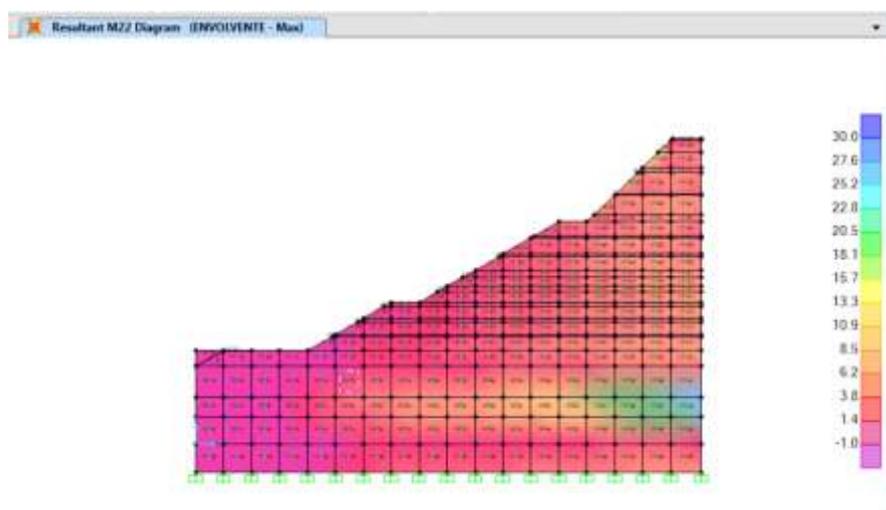


Figura 61. Momento máximo contrafuertes interiores

- **Paredes de arriostramiento**

Para las paredes de arriostramiento los momentos máximos producidos son los siguientes:

Momento: 10.71 T.m

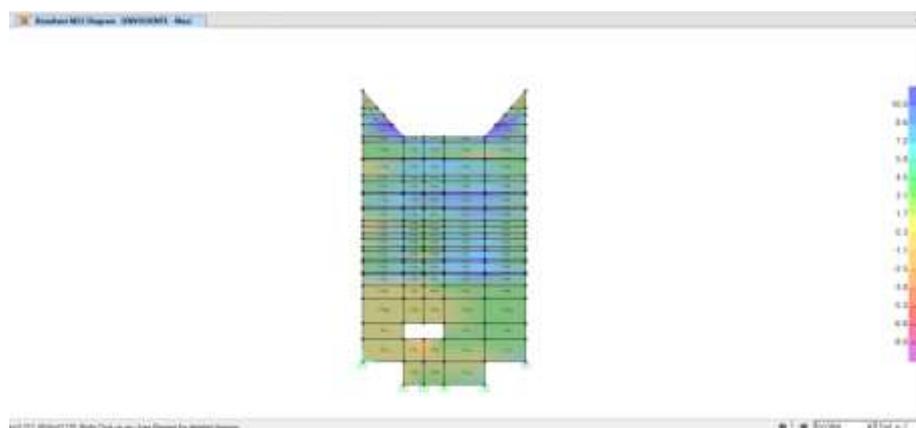


Figura 62. Momento máximo paredes de arriostramiento

Momento: -0.21 T.m

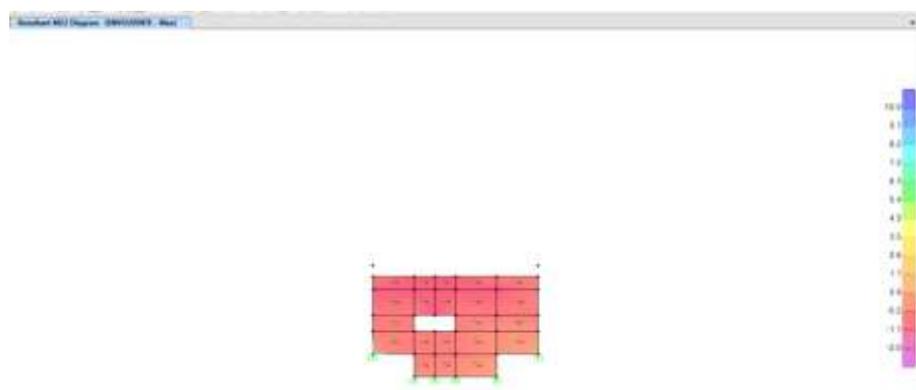


Figura 63. Menor momento paredes de arriostramiento

- **Pantalla principal**

Para la pantalla principal los momentos máximos están descritos a continuación:

Momento 29.73 Tm

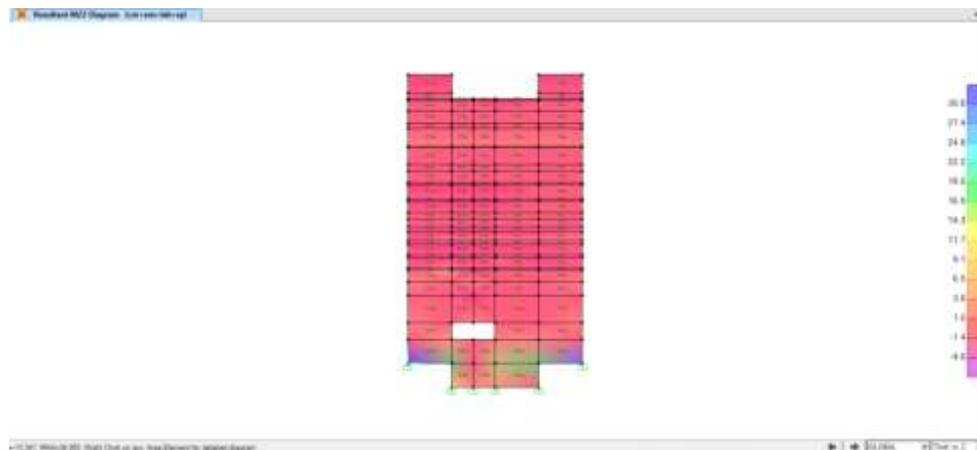


Figura 64. Momento máximo pantalla principal

El menor momento para la pantalla principal se presenta con el estado de carga 1.2D+1.6H.

Momento: -5.32 Tm

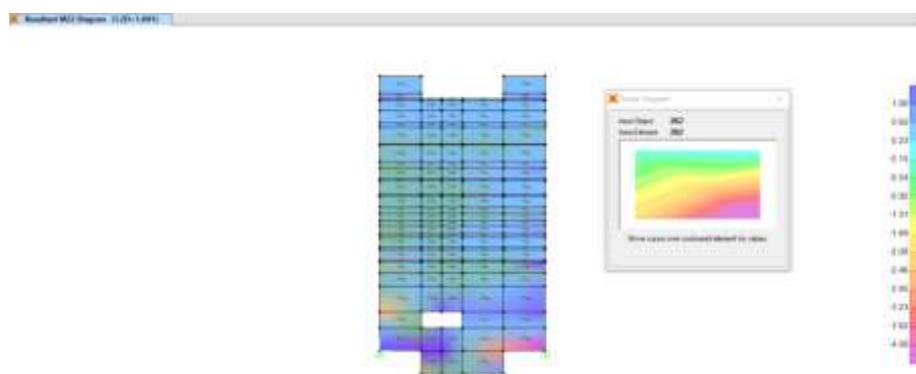


Figura 65. Menor momento pantalla principal

Tabla 42
Resumen envolvente momentos máximos río El Salto

SENTIDO 1-1	M (T.M)	
	MAX	MIN
CONTRAFUERTE INTERNOS	47.39	0.05
CONTRAFUERTE	27.28	0.05
PANTALLA PRINCIPAL	56.25	0.045
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO	30.36	0.77
SENTIDO 2-2	M (T.m)	
	MAX	MIN
CONTRAFUERTE INTERNOS	43.23	-23.21
CONTRAFUERTE	29.73	-5.32
PANTALLA PRINCIPAL	10.71	-0.21
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO	24.5	0.05

Tabla 43
Resumen envolvente momentos máximos río Pita

SENTIDO 1-1	M (T.m)	
	MAX	MIN
CONTRAFUERTE INTERNOS	47.39	0.05
CONTRAFUERTE	27.28	0.05
PANTALLA PRINCIPAL	56.25	0.045
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO	30.36	0.77
SENTIDO 2-2	M (T.m)	
	MAX	MIN
CONTRAFUERTE INTERNOS	43.23	23.21
CONTRAFUERTE	29.73	5.32
PANTALLA PRINCIPAL	10.71	0.21
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO	24.5	0.05

4.2.5. Refuerzo mínimo

La cuantía de refuerzo ρ para muros estructurales de hormigón no puede ser inferior a 0.0025, tanto en el eje longitudinal y transversal. El espaciamiento del refuerzo no debe exceder de 250mm. (MIDUVI, CAMICON, 2015).

La cuantía del refuerzo máximo es igual a 0.75pb.

$$\rho b = \frac{0.85Bf'c}{fy} \left(\frac{6300}{6300 + fy} \right)$$

Con los momentos se procede a obtener la cuantía de refuerzo necesaria:

$$\rho = 0.85 * \frac{f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{0.85 * \phi * f'c * b * d^2}} \right)$$

$$As = \rho * b * d$$

4.3. Análisis de secciones finales

4.3.1. Diseño presa río El Salto

4.3.1.1. Diseño contrafuerte externo

Tabla 44

Datos fundamentales contrafuerte externo presa río El Salto

Dimensiones		
h	60	cm
b	100	cm
r	7.5	cm
d	52.5	cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm2
fy	4200	kg/cm2

Tabla 45
Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte externo presa río El Salto

Río El Salto	1-1.		2-2.	
	Pos	Neg	pos	neg
M (T.m)	27.28	0.05	44.28	-23.21
ρ calculado	0.00268279	0.00000480	0.00442424	0.00227413
ρ	0.00268	0.00250	0.00442	0.00250
As	14.08	13.13	23.23	13.13
	1Ø20mm@22cm	1Ø20mm@23cm	1Ø25mm@21cm	1Ø20mm@23cm

4.3.1.2. Diseño contrafuerte interno

Tabla 46
Datos fundamentales contrafuerte interno presa río El Salto

Dimensiones		
h	60	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	52.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 47
Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte interno presa río El Salto

Río El Salto	1-1.		2-2.	
	Pos	Neg	Pos	Neg
M (T.m)	47.39	0.0025	0.0025	0.0025
ρ calculado	0.00474915	0.00000480	0.00240333	0.00000480
ρ	0.00475	0.00250	0.00250	0.00250
As	24.93	13.13	13.13	13.13
	1Ø25mm@19cm	1Ø20mm@23cm	1Ø20mm@23cm	1Ø20mm@23cm

4.3.1.3. Diseño pantalla principal

Tabla 48
Datos fundamentales pantalla principal presa río El Salto

Dimensiones		
h	80	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	72.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 49
Cálculo de acero de refuerzo pantalla principal presa río El Salto

Río El Salto	1-1.		2-2.	
	Pos	Neg	Pos	Neg
M (T.m)	56.25	0.045	29.73	-5.32
ρ calculado	0.00290661	0.00000227	0.00151715	0.00026849
ρ	0.00291	0.00250	0.00250	0.00250
As	21.07	18.13	18.13	18.13
	1Ø25mm@23cm	1Ø22mm@20cm	1Ø22mm@20cm	1Ø22mm@20cm

4.3.1.4. Diseño paredes de arriostramiento

Tabla 50
Datos fundamentales paredes de arriostramiento presa río El Salto

Dimensiones		
h	50	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	42.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 51
Cálculo de acero de refuerzo paredes de arriostamiento presa río El Salto

Río El Salto	1-1.		2-2.	
	Pos	Neg	Pos	Neg
M (T.m)	30.36	0.77	10.71	-0.21
ρ calculado	0.00463796	0.00011293	0.00159151	0.00003078
ρ	0.00464	0.00250	0.00250	0.00250
As	19.71	10.63	10.63	10.63
	1Ø22mm@19cm	1Ø18mm@23cm	1Ø18mm@23cm	1Ø18mm@23cm

A continuación, se presenta la ecuación para el chequeo a cortante:

$$V_c = b * d * 0.53 * \sqrt{f'_c}$$

Tabla 52
Chequeo a cortante presa río El Salto $\phi = 0.75$

Elementos	Vu (T)	ϕV_c (T)	Vu < ϕV_c
Contrafuertes externos	16.43	34.92	ok
Contrafuertes internos	25.52	34.92	ok
Pantalla principal	5.8	48.22	ok
Paredes de arriostamiento	27.5	28.27	ok

4.3.2. Diseño presa río pita

4.3.2.1. Diseño contrafuerte externo

Tabla 53
Datos fundamentales contrafuerte externo presa río Pita

Dimensiones		
h	60	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	52.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm2
fy	4200	kg/cm2

Tabla 54
Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte externo presa río Pita

Río Pita	1-1.		2-2.	
	Pos	Neg	Pos	Neg
M (T.m)	48.3	-10.8	73.46	-23.21
ρ calculado	0.00484460	0.00104662	0.00755716	0.00227413
ρ	0.00484	0.00250	0.00756	0.00250
As	25.43	13.13	39.68	13.13
	1Ø25mm@19cm	1Ø20mm@23cm	1Ø28mm@15cm	1Ø20mm@23cm

4.3.2.2. Diseño contrafuerte interno

Tabla 55
Datos fundamentales contrafuerte interno presa río Pita

Dimensiones		
h	60	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	52.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 56
Cálculo de acero de refuerzo contrafuerte interno presa río Pita

	1-1.		2-2.	
	Pos	neg	pos	neg
M (T.m)	32.12	0.05	15.4	-5.91
ρ calculado	0.00317282	0.00000480	0.00149844	-0.00056463
ρ	0.00317	0.00250	0.00250	0.00250
As	16.66	13.13	13.13	13.13
	1Ø22mm@22cm	1Ø20mm@23cm	1Ø20mm@23cm	1Ø20mm@23cm

4.3.2.3. Diseño pantalla principal

Tabla 57
Datos fundamentales pantalla principal presa río Pita

Dimensiones		
h	80	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	72.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 58
Cálculo de acero de refuerzo pantalla principal presa río Pita

	1-1.		2-2.	
	Pos	Neg	Pos	Neg
M (T.m)	26.56	-5.23	20.81	-11.33
ρ calculado	0.00135340	0.00026393	0.00105761	0.00057334
ρ	0.00250	0.00250	0.00250	0.00250
As	18.13	18.13	18.13	18.13
	1Ø22mm@20cm	1Ø22mm@20cm	1Ø22mm@20cm	1Ø22mm@20cm

4.3.2.4. Diseño paredes de arriostramiento

Tabla 59
Datos fundamentales paredes de arriostramiento presa río Pita

Dimensiones		
h	50	Cm
b	100	Cm
r	7.5	Cm
d	42.5	Cm
Materiales		
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 60
Cálculo de acero de refuerzo paredes de arriostramiento presa río Pita

	1-1.		2-2.	
	Pos	neg	pos	neg
M (T.m)	8.56	-3.06	5.96	0.7
ρ calculado	0.00126835	0.00516725	0.00088006	-0.00010247
ρ	0.00250	0.00517	0.00250	0.00250
As	10.63	21.96	10.63	10.63
	1Ø18mm@23cm	1Ø22mm@17cm	1Ø18mm@23cm	1Ø18mm@23cm

A continuación, se presenta la ecuación para el chequeo a cortante:

$$V_c = b * d * 0.53 * \sqrt{f'_c}$$

Tabla 61
Chequeo a cortante presa río Pita Ø =0.75

<u>Elementos</u>	Vu (T)	Ø Vc (T)	Vu < Ø Vc
Contrafuertes externos	4.5	34.92	ok
Contrafuertes internos	10.58	34.92	ok
Pantalla principal	5.3	48.22	ok
Paredes de arriostramiento	5.04	28.27	ok

4.3.3. Diseño de alcantarilla

El diseño de la alcantarilla se enfoca principalmente en las losas superior e inferior debido a que deben soportar el peso del relleno del material granular compactado, las paredes están diseñadas como contrafuertes internos.

$$t = \frac{L + 3.05}{30}$$

L	4.5 m
t	0.252 m
Asumido	0.7 m

4.3.3.1. Geometría de la alcantarilla

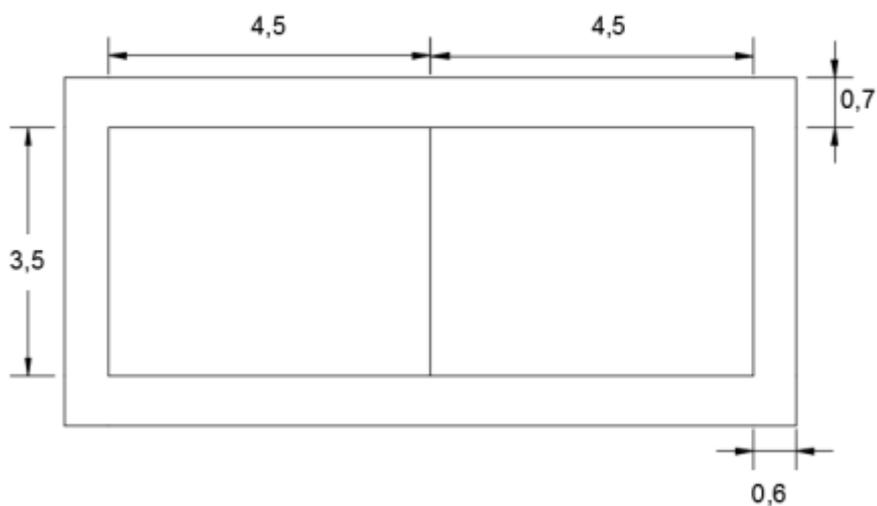


Figura 66. Sección tipo de la Alcantarilla

Tabla 62
Datos fundamentales de la alcantarilla

DIMENSIONES DE LA ALCANTARILLA	
h	70 Cm
b	100 Cm
r	7 Cm
d	63 Cm
f'c	280 kg/cm ²
f _y	4200 kg/cm ²

Para realizar el diseño de la alcantarilla se toma 3 profundidades en tres tramos:

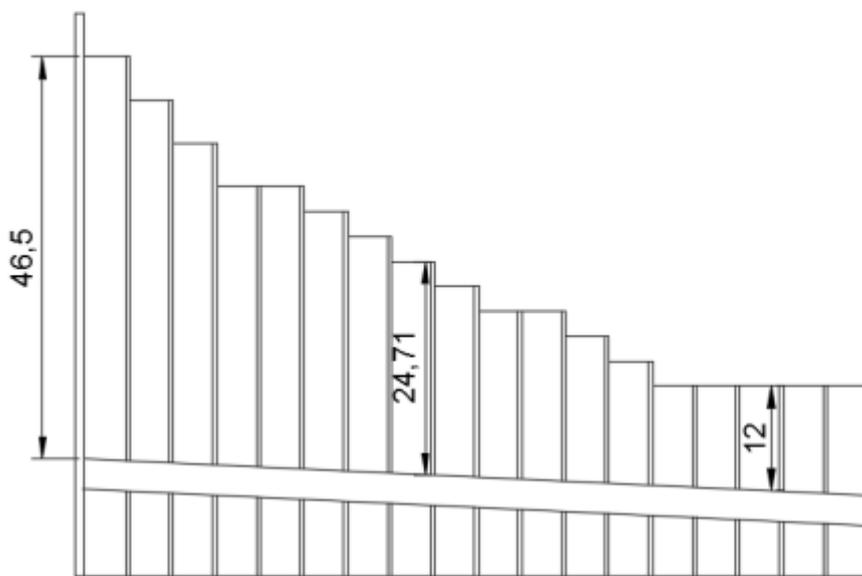


Figura 67. Corte lateral de la alcantarilla

$$w1: \quad \text{Peso de la losa: } 0.70m * 1m * 2.4 \frac{T}{m^3} = 1.68 \frac{T}{m}$$

$$P1: 0.6m * 1m * 3.5m * 2.4 \frac{T}{m^3} = 5.04T$$

$$w2: \quad \text{Reacciones de las paredes: } \frac{P1 * 2}{0.6 + 0.6 + 4.5} + 2 * w1 = 5.13 \frac{T}{m}$$

$$w3: \quad \text{Peso del relleno: } 0.70m * 1.6 \frac{T}{m^3} * 46.5m = 52.08 \frac{T}{m}$$

$$w4 = w4': \quad \text{Presión hidrostática: } 1 \frac{T}{m^3} * \left(46.5m + \frac{0.70}{2}m\right) = 46.85 \frac{T}{m}$$

$$w5: \quad \text{Presión del suelo: } 1.6 \frac{T}{m^3} * 0.333 * \frac{0.70}{2}m * 1m * 0.7 = 0.13 \frac{T}{m}$$

$$w5': \quad \text{Presión del suelo: } 1.6 * 0.333 * \left(\left(\frac{0.70}{2}m\right) + 3.5 + \left(\frac{0.7}{2}m\right)\right) * 0.7 = 4.57 \frac{T}{m}$$

4.3.3.2. *Diseño Tramo 1 (h=46.50 m)*

Tabla 63
Cargas actuantes en el tramo 1

peso de la losa	w1 (T/m)	1.68		
reacciones de las paredes	w2 (T/m)	5.13		
peso del relleno	w3 (T/m)	52.08		
presión hidrostática	w4 (T/m)	46.85	w4' (T/m)	46.85
presión del suelo	w5 (T/m)	0.13	w5' (T/m)	1.57

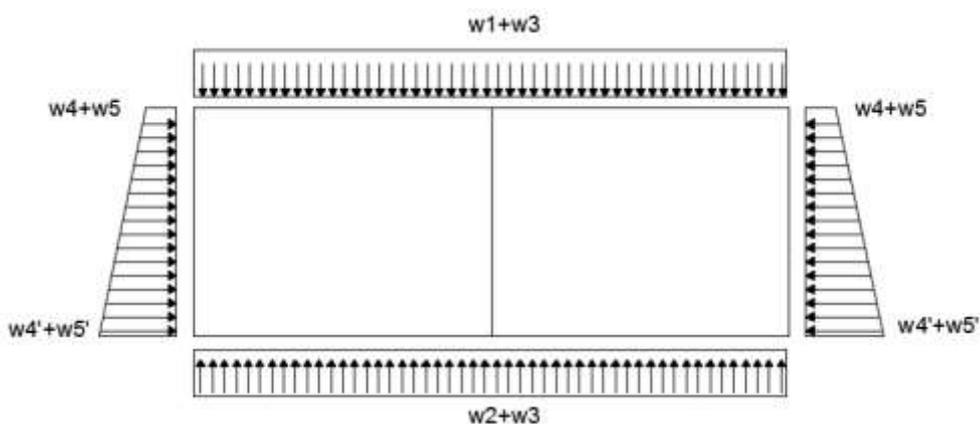


Figura 68. Esquema de cargas actuantes sobre la alcantarilla

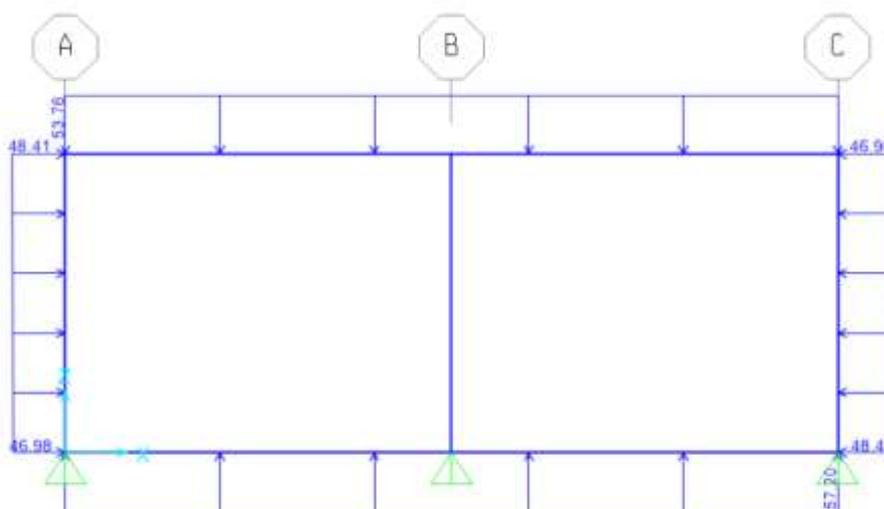


Figura 69. Cargas actuantes sobre la alcantarilla en tramo 1

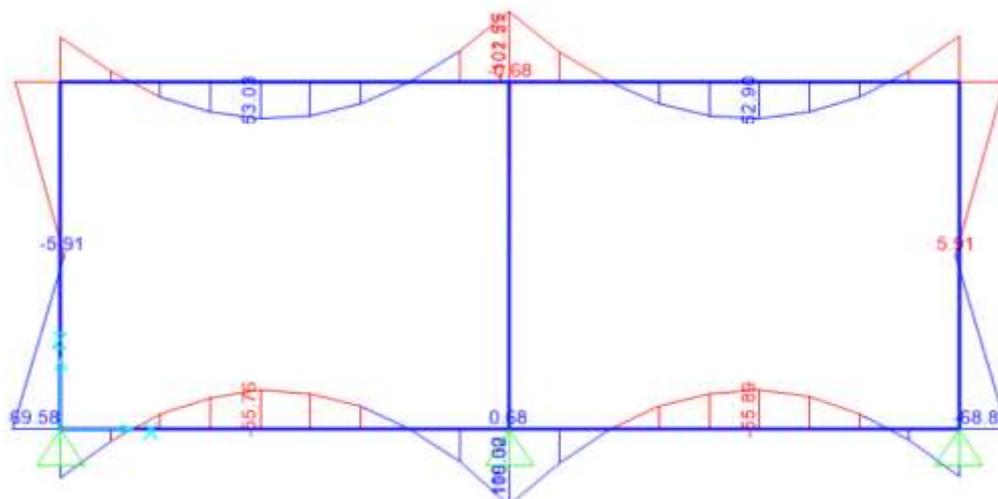


Figura 70. Diagrama de momentos de tramo 1 de alcantarilla

Tabla 64
Diseño de losas de alcantarilla tramo 1

TRAMO 1	LOSA SUPERIOR		LOSA INFERIOR	
	Pos	neg	pos	neg
M (T.m)	53.03	102.8	55.89	108.82
ρ calculado	0.0037	0.0073	0.0039	0.0078
ρ	0.00365	0.00733	0.00386	0.00779
As (cm ²)	23.02	46.17	24.30	49.09
	1Ø25mm@21cm	1Ø32mm@17cm	1Ø25mm@20cm	1Ø32mm@16cm

Tabla 65
Dimensiones de paredes de la alcantarilla

DIMENSIONES PAREDES DE ALCANTARILLA		
h	60	Cm
b	100	Cm
r	7	Cm
d	53	Cm
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 66
Diseño de paredes en tramo 1 de alcantarilla

TRAMO 1	CONTRAFUERTE IZQUIERDO		CONTRAFUERTE DERECHO	
	neg	pos	neg	pos
M (T.m)	69	5.91	69	5.91
ρ calculado	0.0069	0.0006	0.0069	0.0006
ρ	0.00692	0.00330	0.00692	0.00330
As (cm ²)	36.69	17.49	36.69	17.49
	1Ø28mm16cm	1Ø22mm@21cm	1Ø28mm16cm	1Ø22mm@21cm

4.3.3.3. Diseño Tramo 2 ($h= 24.71$ m)

Tabla 67
Cargas actuantes en el tramo 2

peso de la losa	w1 (T/m)	1.68	
reacciones de las columnas	w2 (T/m)	5.13	
peso del relleno	w3 (T/m)	26.70	
presión hidrostática	w4 (T/m)	24.19	w4' (T/m)
presión del suelo	w5 (T/m)	0.13	w5' (T/m)

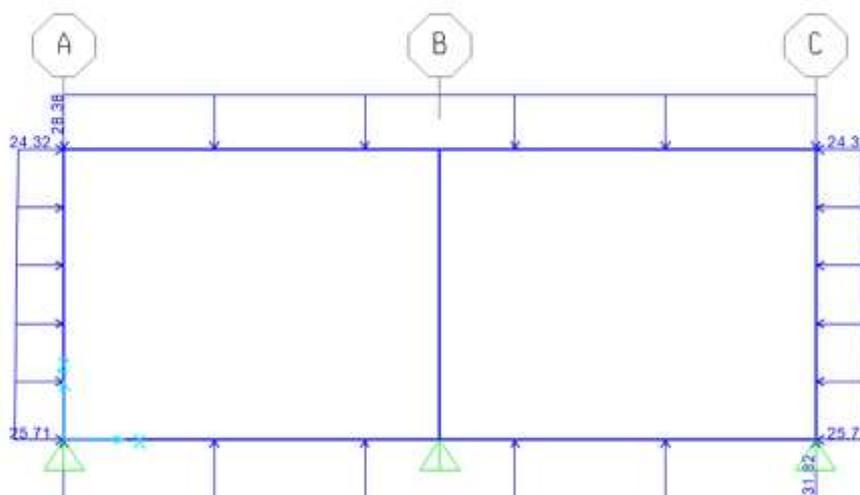


Figura 71. Cargas actuantes sobre la alcantarilla en tramo 2

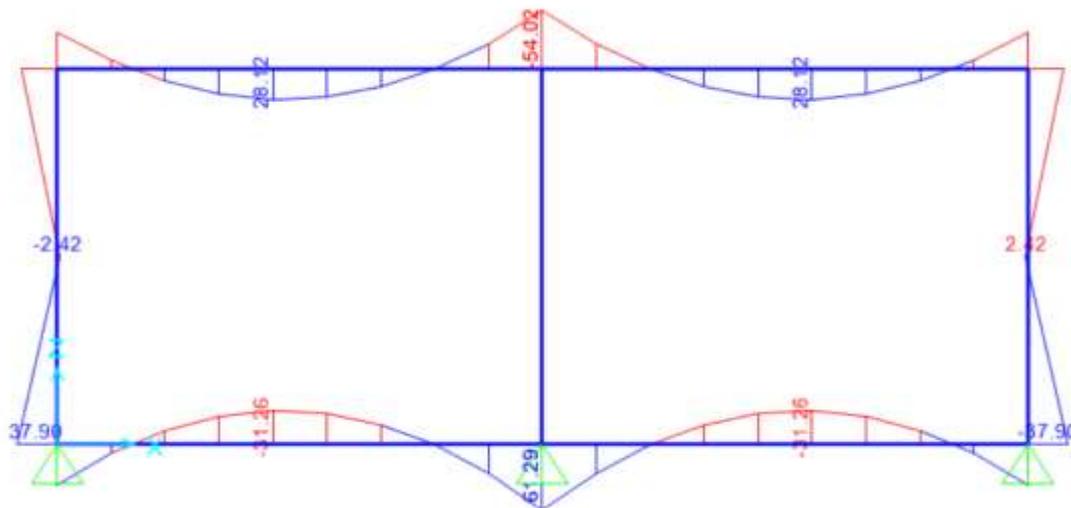


Figura 72. Diagrama de momentos en tramo 2

Tabla 68
Diseño de losas de alcantarilla tramo 2

TRAMO 2	LOSA SUPERIOR		LOSA INFERIOR	
	Pos	neg	pos	neg
M (T.m)	28.12	54.02	11.28	61.29
ρ calculado	0.0019	0.0037	0.0008	0.0042
ρ	0.00333	0.00372	0.00333	0.00425
As (cm ²)	21.00	23.46	21.00	26.75
	1Ø22mm@18cm	1Ø22mm@16cm	1Ø22mm@18cm	1Ø25mm@18cm

Tabla 69
Dimensiones de paredes de la alcantarilla

DIMENSIONES PAREDES DE ALCANTARILLA		
h	60	Cm
b	100	Cm
r	7	Cm
d	53	Cm
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 70
Diseño de paredes en tramo 2 de alcantarilla

TRAMO 2	CONTRAFUERTE IZQUIERDO		CONTRAFUERTE DERECHO	
	neg	pos	neg	pos
M (T.m)	37.9	2.42	37.9	2.42
ρ calculado	0.0037	0.0002	0.0037	0.0002
ρ	0.00369	0.00330	0.00369	0.00330
As (cm ²)	19.56	17.49	19.56	17.49
	1 \emptyset 22mm19c m	1 \emptyset 22mm@21c m	1 \emptyset 22mm@19c m	1 \emptyset 22mm@21c m

4.3.3.4. Diseño Tramo 3 (h= 12m)

Tabla 71
Cargas actuantes en el tramo 3

peso de la losa	w1 (T/m)	1.68		
reacciones de las paredes	w2 (T/m)	5.13		
peso del relleno	w3 (T/m)	15.88		
presión hidrostática	w4 (T/m)	14.53	w4' (T/m)	14.53
presión del suelo	w5 (T/m)	0.13	w5' (T/m)	1.57

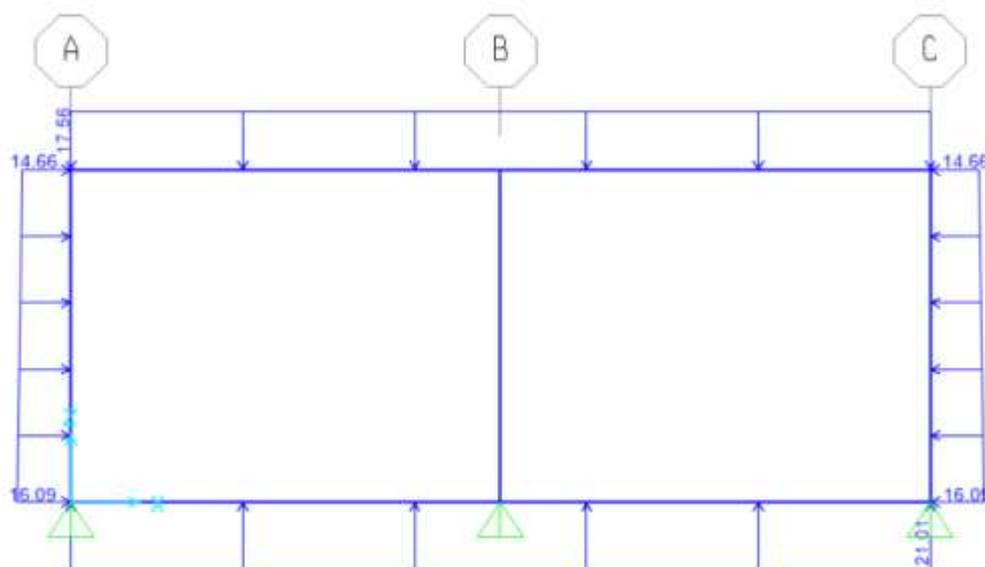


Figura 73. Cargas actuantes en la alcantarilla tramo 3

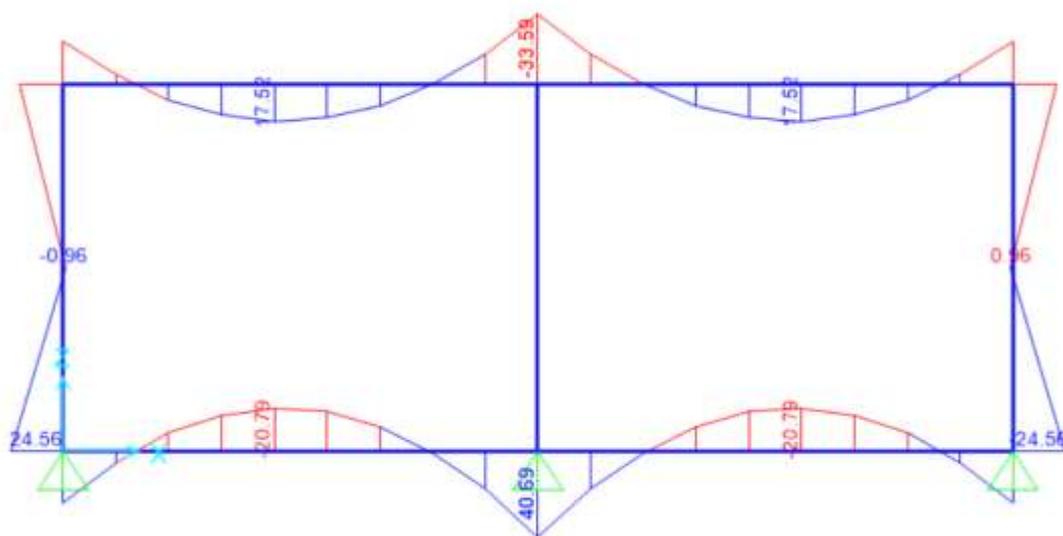


Figura 74. Diagrama de momentos en tramo 3

Tabla 72
Diseño de losas de alcantarilla tramo 3

TRAMO 3	LOSA SUPERIOR		LOSA INFERIOR	
	Pos	neg	pos	neg
M (T.m)	17.52	33.59	20.79	40.59
ρ calculado	0.0012	0.0023	0.0014	0.0028
ρ	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333
As (cm ²)	21.00	21.00	21.00	21.00
	1Ø22mm@18cm	1Ø22mm@18cm	1Ø22mm@18cm	1Ø22mm@18cm

Tabla 73
Dimensiones de paredes de la alcantarilla

DIMENSIONES PAREDES DE ALCANTARILLA		
h	60	Cm
b	100	Cm
r	7	Cm
d	53	Cm
f'c	280	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²

Tabla 74
Diseño de paredes en tramo 3 de alcantarilla

TRAMO 3	CONTRAFUERTE IZQUIERDO		CONTRAFUERTE DERECHO	
	pos	neg	pos	neg
M (T.m)	24.56	0.06	24.54	0.06
ρ calculado	0.0024	0.0000	0.0024	0.0000
ρ	0.00330	0.00330	0.00330	0.00330
As (cm ²)	17.49	17.49	17.49	17.49
	1Ø22mm21cm	1Ø22mm21cm	1Ø22mm21cm	1Ø22mm21cm

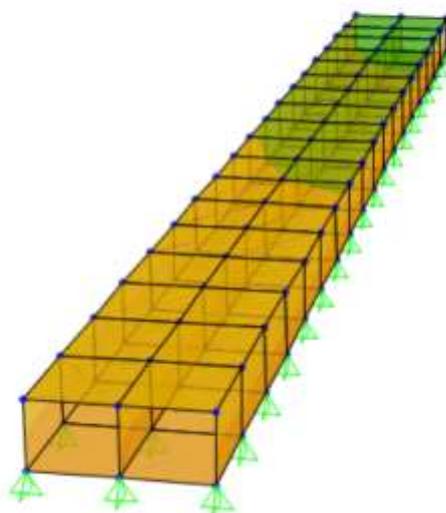


Figura 75. Esfuerzos de la alcantarilla

4.4. Verificación esfuerzo zapata - reacciones

Para la verificación de los esfuerzos en la zapata se obtuvo las reacciones en cada punto de la estructura, sumamos las reacciones y dividimos para el área de contacto.

$$\sigma = \frac{\Sigma \text{ reacciones}}{\text{Área de contacto}}$$

4.4.1. Río El salto

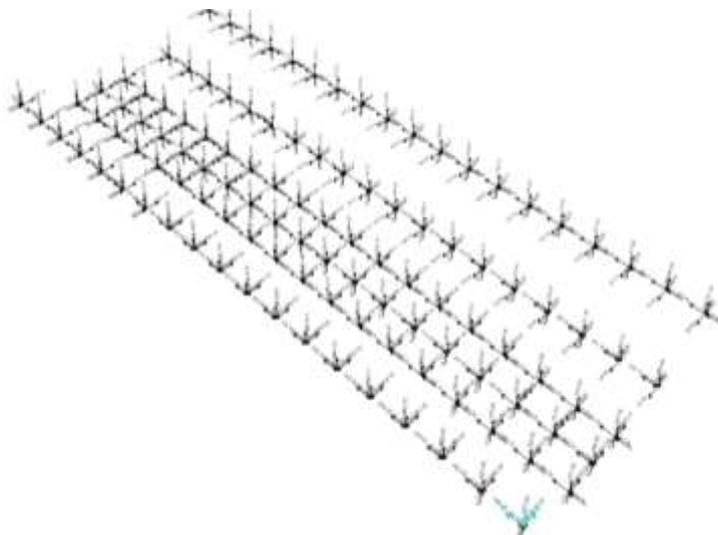


Figura 76. Reacciones de la presa El Salto

Tabla 75

Verificación de esfuerzo admisible y reacciones presa El Salto

Área de contacto: 182.5 m²

B 2

L 91.25

Reacciones	EJES					
	A	B	C	D	E	F
1	781.44	870	887	684	571	677
2	694	714	679	571	556	627
3	617.65	611	603	503	475	565
4	671.23	649	635	528	500	615
5	772	734	713	587	558	615
6	905	833	803	659	629	880
7	1182	925	891	730	699	1147
8	1453	1008	976	798	764	1409
9	1665	1084	1054	858	821	1616
10	1865	1145	1114	902	864	1814
11	2123	1182	1141	920	881	2068
12	2447	1334	1127	805	994	2383
13	2810	1503	1064	850	1119	2734
14	3218	1692	960	942	1264	3131
15	3702	1911	1021	1052	1436.29	3605
16	4328	2188	1385	1179	1653	4217

CONTINÚA →

17	5055	2499	1887	1550	1892	4921
18	6074	3009	2601	2134	2314	5940
19	6905	4203	4361	3195	2611	6585
P (T)	47268.32	28094	23902	19447	20601.29	45549
Esfuerzo (T/m ²)	259.00	153.94	130.97	106.56	112.88	249.58
q adm (T/m ²)	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15
	ok	ok	ok	ok	ok	ok

4.4.2. Río Pita

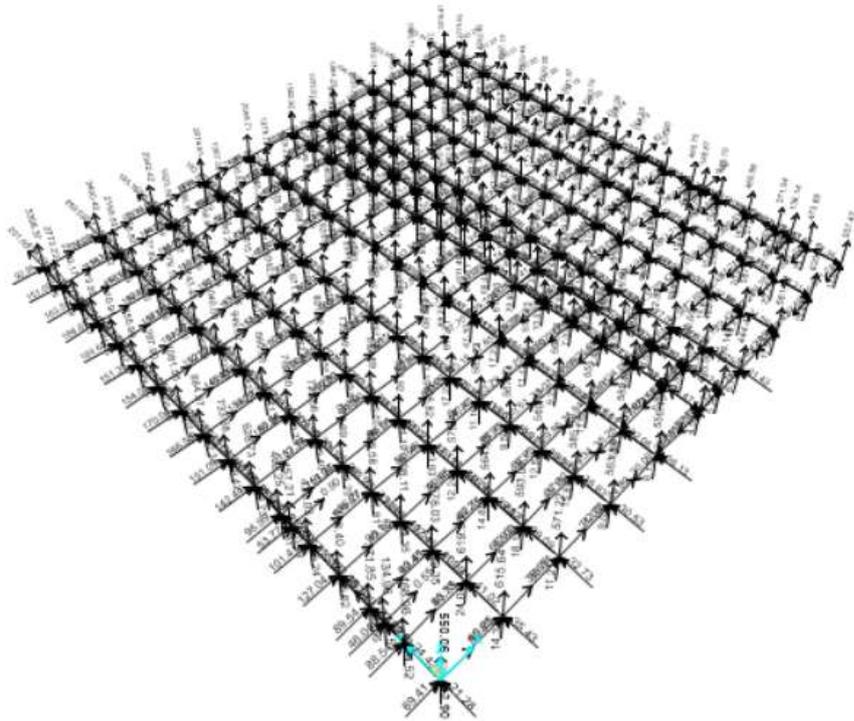


Figura 77. Reacciones presa río Pita

Tabla 76
Verificación de esfuerzo admisible y reacciones presa río Pita

Área de
contacto: 162 m²
B 2
L 81

EJES												
Reacciones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	557.42	620	550	561	444	354	445	556	563	571	615	550
2	473.67	618	423	587	483	398	485	580	585	593	619	468
3	507	577	600	558	457	372	458	555	560	564	578	505
4	460	600	615	569	464	379	466	562	567	575	598	458
5	436	597	561	591	480	392	480	579	585	596	628	433
6	466	628	591	627	507	413	506	610	617	632	670	619
7	637	670	689	673	542	441	540	651	659	677	720	628
8	746	720	702	730	588	478	584	705	715	735	782	733
9	902	785	726	797	641	520	636	769	780	801	860	884
10	1103	864	801	867	759	567	693	839	851	871	946	1081
11	1311	950	899	940	801	616	752	912	924	942	1640	1287
12	1478	1145	1002	1014	821	666	814	987	999	1015	1143	1455
13	1629	1276	1100	1089	884	717	878	1065	1076	1090	1276	1610
14	1887	1474	1265	1167	949	770	944	1146	1156	1166	1477	1873
15	2262	1760	1356	1244	1011	817	1008	1228	1236	1285	1766	2253
16	2779	2153	1923	1446	1138	918	1135	1379	1387	15323	2159	2773
17	3315	3368	3253	2242	1564	1133	1562	2045	2074	2342	3400	3308
P (T)	20949.09	18805	17056	15702	12533	9951	12386	15168	15334	29778	19877	20918
Esfuerzo (T/m ²)	129.32	116.08	105.28	96.93	77.36	61.43	76.46	93.63	94.65	183.81	122.70	129.12
q adm (T/m ²)	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15	354.15
	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

4.5. Cimentaciones

A partir de la obtención de los esfuerzos en la zapata de las estructuras del río Pita y el Salto se procede a definir la armadura necesaria a flexión.

4.5.1. Corte unidireccional

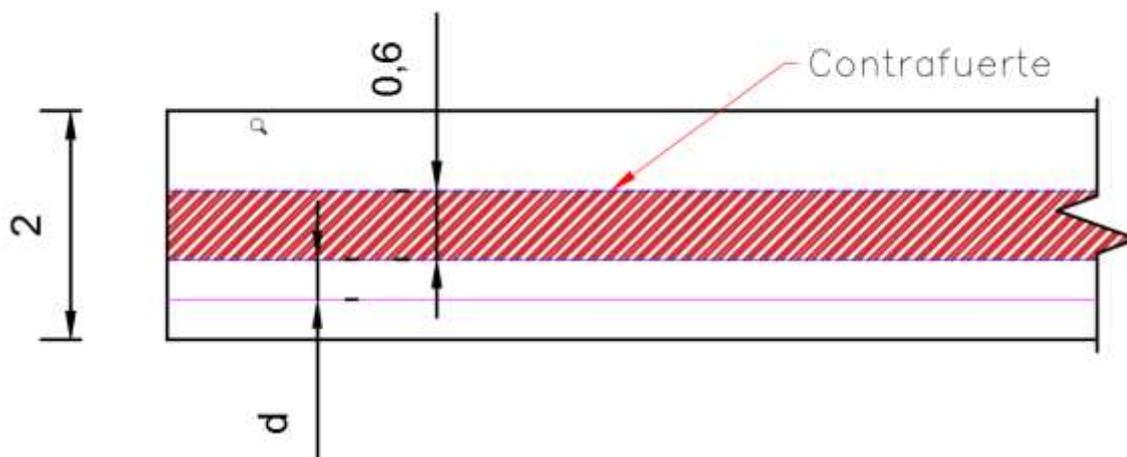


Figura 78. Esquema para verificación de corte unidireccional de cimentación

$$Lv = \frac{2 - 0.6}{2} = 0.7m$$

$$Vu = PNSu * \text{área crítica} * B$$

Tabla 77
Corte último

RÍO EL SALTO	RÍO PITA
$Vu = 181.3 - 259d$	$Vu = 128.66 - 183.81d$

$$Vp = 0.53\sqrt{f'c} = 8.86 \frac{Kg}{cm^2} = 88.6 \frac{T}{m^2}$$

$$\vartheta u = \frac{Vu}{\phi * b * d}$$

Tabla 78
Altura de cimentación adoptada

RÍO EL SALTO	RÍO PITA
$88.6 = \frac{181.3 - 259d}{0.85 * 2 * d}$	$88.6 = \frac{128.66 - 183.81d}{0.85 * 2 * d}$
$d = 0.44m$	$d = 0.38m$
$h = 0.44 + 0.07 = 0.51m$ adopto 0.55m	$h = 0.38 + 0.07 = 0.45m$

4.5.2. Diseño de la armadura

$$Mu = PNSu * \frac{Lv^2}{2} * B$$

Tabla 79
Armadura de cimentación

RÍO EL SALTO	RÍO PITA
$Mu = 259 * \frac{0.7^2}{2} * 1$	$Mu = 183.81 * \frac{0.7^2}{2} * 1$
$Mu = 63.45Tm$	$Mu = 45.03Tm$
$\rho = 0.00996$	$\rho = 0.00896$
$As = 42.61cm^2$	$As = 34.05cm^2$
1Ø25mm@11cm	1Ø25mm@14cm

CAPITULO 5

PRESUPUESTO

5.1. Presupuesto Referencial

Dentro del presupuesto referencial se consideran los siguientes rubros:

- Excavación hasta el nivel de cimentación
- Cimentaciones
- Material de relleno
- Transporte del relleno y vertido
- Compactación del material
- Hormigón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo $f_y 4200\text{Kg/cm}^2$

Como referencia de precios unitarios se toman valores de la revisa de la Cámara de la construcción CAMICON del mes de Junio 2017.

5.1.1. Cantidades de acero para presa de río El Salto

Tabla 80
Cantidad de acero para presa río El Salto

PANTALLA PRINCIPAL					
Ø	# Varillas	Longitud	Longitud total	Peso unitario Kg/m	Peso total Kg
22	105	65	6825	5.03	34350.23
22	650	36	23400	5.03	117772.20
25	209	65	13585	6.21	84390.02
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO					
Ø	# Varillas	Longitud			
18	6606	37.5	247725	3.98	985450.05
18	5652	40.5	228906	3.98	910588.07
22	3294	37.5	123525	5.03	621701.33
CONTRAFUERTE EXTERNO					
Ø	# Varillas	Longitud			
CONTINÚA 					

20	1824	40.45	73780.8	4.91	362337.51
20	800	50.5	40400	4.91	198404.40
25	400	50.5	20200	6.21	125482.40
CONTRAFUERTE INTERNO EJE B Y D					
∅	# Varillas	Longitud			
20	982	50.5	49591	4.91	243541.40
20	1552	45.5	70616	4.91	346795.18
22	183	45.5	8326.5	5.03	41907.27
28	92	45.5	4186	7.91	33123.82
25	218	50.5	11009	6.21	68387.91
CONTRAFUERTE INTERNO					
∅	# Varillas	Longitud			
20	1825	45.5	83037.5	4.91	407797.16
20	982	50.5	49591	4.91	243541.40
25	218	50.5	11009	6.21	68387.91
LOSAS ALCANTARILLA					
∅	# Varillas	Longitud			
22	1166	10	11660	5.03	58684.78
25	500	10	5000	6.21	31060.00
32	333	10	3330	11.40	37965.33
16	172	95.05	16348.6	3.05	49781.49
TOTAL					5071449.84

Tabla 81
Presupuesto Referencial presa río El Salto

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Excavación >6m	m3	50529.68	\$8.11	\$409,795.70
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	3285	1.63	\$5,354.55
Relleno compactado con material granular	m3	93598.8	\$6.34	\$593,416.39
Transporte de material	m3	93598.8	\$0.29	\$27,143.65
Compactación material	m3	174735.42	\$8.00	\$1,397,883.36
Hormigón de 280 kg/cm2	m3	27737.9015	\$144.50	\$4,008,126.77
Replanteo HS 140kg/cm2	m3	54.6	\$107.64	\$5,877.14
Varilla sismoresistente soldable D=18,20,22,25,28,32 mm	Kg	5071449.84	\$1.42	\$7,201,458.78
Encofrado / Desencofrado metálico alquilado para muro 2 capas	m2	48328.23	\$6.85	\$331,048.38
			TOTAL	\$13,980,104.72

5.1.2. Cantidades de acero para presa de río Pita

Tabla 82
Cantidad de acero de presa río Pita

PANTALLA PRINCIPAL					
Ø	# Varillas	Longitud	Longitud total	Peso unitario Kg/m	Peso total Kg
22	600	75	45000	5.03	226485.00
22	810	94.5	76545	5.03	385250.99
PAREDES DE ARRIOSTRAMIENTO					
Ø	# Varillas	Longitud			
18	8348	94.5	788886	3.98	3138188.51
18	22274	48.5	1080287.26	3.98	4297382.73
22	4243	48.5	205769.003	5.03	1035635.39
CONTRAFUERTE EXTERNO					
Ø	# Varillas	Longitud			
20	632	54	34128	4.91	167602.61
25	522	54	28188	6.21	175103.86
25	706	48.23	34050.38	6.21	211520.96
28	1080	48.23	52088.4	7.91	412175.51
CONTRAFUERTE INTERNO EJE F Y H					
Ø	# Varillas	Longitud			
20	1052	45	47340	4.91	232486.74
20	936	45	42120	4.91	206851.32
22	422	54	22788	5.03	114692.00
22	156	54	8424	5.03	42397.99
CONTRAFUERTE INTERNO					
Ø	# Varillas	Longitud			
20	4333	45.5	197151.5	4.91	968211.02
20	3822	50.5	193011	4.91	947877.02
22	819	50.5	41359.5	5.03	208162.36
LOSAS ALCANTARILLA					
Ø	# Varillas	Longitud			
22	10410	10	104100	5.03	523935.30
25	4458	10	44580.375	6.21	276933.29
32	2972	10	29720.25	11.40	338840.57
16	172	84.8	14585.6	3.05	44413.15
TOTAL					13954146.32Kg

Tabla 83
Presupuesto referencial presa río Pita

<i>RUBRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PRECIO UNITARIO</i>	<i>PRECIO TOTAL</i>
Excavación >6m	m3	96117.86	\$8.11	\$779,515.84
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	6561	1.63	\$10,694.43
Relleno compactado con material granular	m3	147879.61	\$6.34	\$937,556.73
Transporte de material	m3	147879.61	\$0.29	\$42,885.09
Compactación material	m3	2510807.19	\$8.00	\$20,086,457.52
Hormigón de 280 kg/cm2	m3	5061.15	\$144.50	\$731,336.18
Replantillo HS 140kg/cm2	m3	124.74	\$107.64	\$13,427.01
Varilla sismoresistente soldable D=18,20,22,25,28,32 mm	Kg	13954146.32	\$1.42	\$19,814,887.77
Encofrado / Desencofrado metálico alquilado para muro 2 capas	m2	2095212.34	\$6.85	\$14,352,204.53
			TOTAL	\$56,768,965.10

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El presente proyecto constituye un complemento al proyecto de diseño de obras de protección ante el flujo de los lahares del Volcán Cotopaxi para la Cuenca norte realizado por María José Naranjo y Marcelo Bonito, el mismo que sirvió como referencia para extraer algunos datos y realizar el diseño de las celdas de hormigón armado para las presas de los ríos El Salto y Pita.
- El tipo de suelo donde se va a cimentar las presas mixtas de los ríos El Salto y Pita según la Norma Ecuatoriana de la Construcción y el ensayo de refracción sísmica corresponden a suelos tipo C y B respectivamente.
- El esfuerzo admisible del suelo fue obtenido a partir de la resistencia de la roca siendo el valor de 3472.98 KN/m² a una profundidad de 2m y un ancho B de 2m.
- Las diferentes cargas que afectan a las presas son de tipo permanentes y dinámicas las cuales fueron calculadas en base a los parámetros de la investigación proporcionada por (Bonito & Naranjo, 2016).
- El modelamiento con elementos finitos de las celdas de hormigón de las presas mixtas se realizó en el software SAP2000 con las secciones iniciales proporcionadas por (Bonito & Naranjo, 2016), sin embargo las secciones fueron optimizadas considerando que no afecten a los factores de deslizamiento y volcamiento.
- Los elementos modelados poseen las mismas características de acuerdo a su resistencia $f'c$ 280kg/cm².

- Los esfuerzos y deformaciones presentados ante sollicitaciones sísmicas fueron analizados a detalle en cada una de las secciones siendo menores a los máximos.
- Con el modelamiento de las estructuras se obtuvieron los momentos máximos y mínimos producidos por la envolvente de cargas para el cálculo del refuerzo longitudinal y transversal de las celdas.
- En los bordes de los contrafuertes externos fue necesario reforzar con un contrafuerte perpendicular pequeño ya que presentaron esfuerzos muy grandes y los momentos altos, debido a que las alturas de las paredes no coincidían con la de los contrafuertes generando un cantiléver.
- Para el diseño de las losas de las alcantarillas se tomó tres tramos principales con las diferentes alturas de relleno con la finalidad de definir una sección constante y la cuantía de acero necesaria según sus cargas.
- Se verificó los esfuerzos en las zapatas siendo menores al esfuerzo admisible del suelo, con estos esfuerzos se diseñó la cimentación, se presenta anexo de planos.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda construir las presas de los ríos Pita y El Salto, utilizando de referencia tanto el estudio de Bonito y Naranjo mencionado anteriormente y el presente proyecto que constituye un estudio de ingeniería civil que puede ser tomado de referencia para la construcción indicada, ya que se explica de manera detallada el diseño estructural para cada elemento.
- El constructor deberá hacer un análisis de precios unitarios más detallado de acuerdo al sitio de implantación del proyecto ya que el presupuesto aquí indicado es solamente referencial.

6.3. Referencias bibliográficas

- 318, C. A. (2011). Requisitos de reglamento de concreto estructural. *ACI 318S-11*,. Farmington Hills, Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Aguilera, E., & Toulkeridis, T. (2004-2005). *El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha*. Quito: Editorial Sotavento.
- Aguilera, E., & Toulkeridis, T. (2005). Volcán Cotopaxi un peligro que se acecha. Quito, Ecuador.
- Andrade et al, D. (2005). Peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Ecuador .
- Arche, A. (2010). Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Bonito, M., & Naranjo, M. (Julio de 2016). Diseño de obras de protección ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi para la cuenca norte. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Brown. (1981). Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas. *Rock characterization , testing and monitoring*.
- Cáceres, B. (2010). Actualización de inventarios de Tres casquetes. *Informe de pasantía de investigación en la Universidad Nice Sophia Antipolis*.
- Instituto Geofísico de la Escuela politécnica Nacional. (2015). COTOPAXI. Ecuador: Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional.
- Iverson, R. M. (2000). Water resoures research . *Landslide triggering by rain infiltration*.
- Lagla, A. (8 de Noviembre de 2015). El glaciar del volcán Cotopaxi rejuvenece con cada erupción. El Comercio.
- Lagla, A. (2015). *El Glaciar del volcán Cotopaxi rejuvenece con cada erupción*. El Comercio .
- Meyerhof. (1963). Capacidad de carga última. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.
- MIDUVI, CAMICON. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. En *Cragas Sísmicas - Diseño Sismo Resistente*. Quito, Ecuador: Dirección de comunicación social, MIDUVI.

- MIDUVI, CAMICON. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Quito, Ecuador: Dirección de comunicación social, MIDUVI.
- Norma de la Federación Rusa para Estructuras de Mitigación de riesgos. (2007). Moscú, Rusia: Federación rusa para mitigación de riesgos.
- Paez, D. (2015). Lahares secundarios, Análisis de parámetros físicos en depositos piroclásticos y su relación con los mecanismos generadores. Santiago de Chile , Chile.
- Peña López, C. (Junio de 2014). Errores de modelación computacional en diseño estructural. Venezuela: P & M Structural / Seismic Engineering.
- Pierson, T. (1985). Initiation and flow behavior of the 1980 Pine Creek and Mudy River lahars. Mount St. Helen, Washington. Geol Soc. Am. Bull.
- Pierson, T. M. (2013). Acute sedimentation response to rainfall following the explosive phase of the 2008–2009 eruption of Chaitén volcano, Chile.
- Rahn. (1986). Valores de resistencia de la matriz rocosa sana. *Engineering geology* . New York, Estados Unidos: Elsevier.
- Sandoval, W. (2016). Obras de mitigación del flujo de lahares del Cotopaxi.
- Vallarino, E. (2014). *Tratado básico de presas*. Madrid: Garceta.
- Waltham. (1999). Datos seleccionados tipo de roca. *Mecánica de rocas*. New York, Estados Unidos.

ANEXOS