



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Estudio de Prefactibilidad de Presa San Juan para agua potable y riego en la Parroquia San Pablo, del cantón Santa Ana, provincia de Manabí.”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

María Gabriela Barriga Gárate.

Oscar Oswaldo Schnabel Mantuano.

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

Por medio de este proyecto quiero dejar constancia de mi agradecimiento a Dios, por iluminarme, bendecirme y guiarme siempre; a aquellos profesores que sembraron día a día su experiencia y conocimientos respaldándome en el camino, a mis padres y hermana por su apoyo incondicional y a todos quienes influyeron positivamente y me ayudaron a lo largo de mi carrera para lograr esta meta.

María Gabriela Barriga Gárate

AGRADECIMIENTO

El esfuerzo necesario para culminar este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo de las personas que a continuación quiero agradecer. Mis padres, por su amor incondicional y el apoyo permanente, por enseñarme que ningún logro vale la pena sin esfuerzo. A los maestros que dejaron una marca en mi formación universitaria, aquellos maestros que no solo compartieron sus conocimientos, sino sus experiencias y consejos. Al Doctor Miguel Ángel Chávez Moncayo por creer en este proyecto y guiarme con su experiencia hasta la conclusión del mismo.

Oscar Oswaldo Schnabel Mantuano

DEDICATORIA

A mis padres por su amor invaluable, han sido mi principal cimiento para forjar camino; a mi hermana como fuente de admiración, por su motivación constante e impulso de crecimiento diario; a Olafo por su paciencia y apoyo en esta etapa.

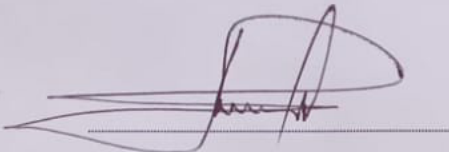
María Gabriela Barriga Gárate

A mis padres por enseñarme que todo se obtiene con esfuerzo y trabajo, por ser mi fuente de inspiración y siempre creer en mí.

Oscar Oswaldo Schnabel

Mantuano

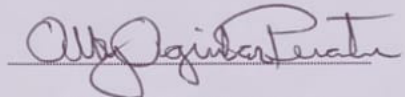
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a horizontal line.

Dr. Miguel Ángel Chávez

PROFESOR DE LA MATERIA

INTEGRADORA

A handwritten signature in black ink, written in a cursive style, positioned above a horizontal line.

M. Sc. Alby Aguilar P.

COORDINADORA

DE INGENIERÍA CIVIL

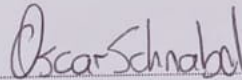
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesina nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



María Gabriela Barriga Gárate.



Oscar Oswaldo Schnabel Mantuano.

RESUMEN

El trabajo realizado, tiene que ver con el diseño a nivel preliminar o de pre factibilidad de un proyecto de presa ubicado en la parroquia San Pablo perteneciente al cantón Santa Ana, provincia de Manabí. Se trata de una zona en donde predominan los periodos de sequía y en consecuencia, el recurso vital es escaso.

Mediante los análisis realizados, en lo referente a topografía, geología, hidrología, geotecnia e hidráulica, a nivel preliminar, se determinó que existe una interesante alternativa para construir una presa en el valle de un afluente del río Pucón. Mediante un cierre de presa se puede lograr un embalse de más de 40'000.000 m³ de capacidad.

En el sitio de presa elegido, el cuerpo de presa tendrá una longitud de 800m, con una altura máxima de 20m. La cota a nivel de la cimentación es promediamente 49.50 y la cota máxima de embalse es 67.50, en tanto que la corona de la presa llega a la cota 69.50; el aliviadero podrá ser construido en la cercanía del empotramiento derecho, por tenerse condiciones topográficas y geológicas favorables.

En los estudios realizados se estable que una presa de tierra puede ser construida aprovechando los depósitos de suelo del mismo lugar, por lo que se anticipa un transporte a corta distancia.

Las 3 alternativas de presa que se proponen, son las siguientes:

PRESA HOMOGÉNEA.- Construida con los suelos más abundantes que se encuentran en el sector, por las características de permeabilidad que se han evaluado para esos suelos, los espaldones deben tener una pendiente de 2.5:1, o más tendidos, con la finalidad de garantizar una mayor contención en el flujo de agua.

PRESA ZONADA.- Consistente en un terraplén conformado por un núcleo en el centro de la presa y por espaldones laterales confinantes. Por sus características, esta presa tiene dentellón y drenes filtro. Esta solución técnica es la que permite una excelente condición de impermeabilización en el cierre.

PRESA DE ENROCADO.- El mayor volumen de esta presa debe ser construido con rocas provenientes de canteras ubicadas a distancias mayores que 10km. Esta solución permite que los taludes sean más empinados en el paramento aguas abajo, no obstante, en el paramento aguas arriba que debe ser más tendido debido a que debe construirse una cortina impermeabilizante de suelos arcillosos la cual requiere también del empleo de geotextiles que actúan como filtro y dren.

Parte del presente trabajo constituye un estudio de impacto ambiental, mediante el cual se busca evaluar los impactos positivos y negativos y a partir de ellos determinar un plan de manejo ambiental dentro de un enfoque preliminar.

Finalmente, es posible concluir que el proyecto desarrollado constituye una interesante alternativa para la mejora de la calidad de vida de las personas que habitan en ese sector.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| RESUMEN | i |
| ÍNDICE GENERAL | iv |
| ABREVIATURAS | viii |
| SIMBOLOGÍA | ix |
| LISTADO DE PLANOS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiii |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | xv |
| CAPITULO 1 | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Generalidades..... | 2 |
| 1.3 Ubicación general del sitio de Presa. | 3 |
| 1.4 Objetivos..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| CAPÍTULO 2 | 6 |

| | |
|---|-----------|
| 2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE. | 6 |
| 2.1 Descripción física del área de estudio | 6 |
| 2.1.1 Topografía. | 6 |
| 2.1.2 Aspectos iniciales | 7 |
| 2.2 Estudios geológicos | 8 |
| 2.3 Estudios geotécnicos | 10 |
| 2.3.1 Materiales de construcción | 10 |
| 2.3.2 Parámetros geotécnicos | 11 |
| 2.4 Hidrología e Hidráulica | 15 |
| 2.4.1 Compilación de datos | 15 |
| 2.4.2 Determinación de la cota máxima de embalse | 25 |
| 2.4.3 Volumen de embalse | 26 |
| CAPÍTULO 3 | 28 |
| 3. DISEÑOS HIDRÁULICOS. | 28 |
| 3.1 Diseño de presa. | 28 |
| 3.1.1 Descripción de alternativas para diseño y construcción. | 28 |
| 3.1.2 Determinación del eje de la presa. | 33 |
| 3.1.3 Análisis de estabilidad de la presa. | 34 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.1.4 | Análisis de filtraciones..... | 38 |
| 3.2 | Diseño de la obra de excedencia..... | 43 |
| 3.2.1 | Determinación de la cota del aliviadero..... | 43 |
| 3.2.2 | Ubicación del eje del aliviadero..... | 44 |
| 3.2.3 | Diseño del aliviadero..... | 44 |
| 3.3 | Diseño de estructura de Toma..... | 68 |
| CAPÍTULO 4..... | | 74 |
| 4. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA DISEÑO..... | | 74 |
| 4.1 | Análisis de alternativas..... | 74 |
| 4.1.1 | Alternativa 1: Presa Homogénea..... | 75 |
| 4.1.2 | Alternativa 2: Presa Zonada con núcleo impermeable..... | 78 |
| 4.1.3 | Alternativa 3: Presa de enrocado..... | 82 |
| 4.2 | Criterios para la selección del tipo de presa..... | 86 |
| CAPITULO 5..... | | 89 |
| 5. ESTUDIO DE IMPACTO Y MANEJO AMBIENTAL..... | | 89 |
| 5.1 | Impactos Ambientales..... | 89 |
| 5.1.1 | Descripción del medio Biótico..... | 90 |
| 5.1.2 | Especies animales..... | 91 |

| | | |
|---|--------------------------------------|-----------|
| 5.2 | Manejo de Impactos Ambientales | 92 |
| 5.3 | Impacto Socioeconómico | 93 |
| CAPITULO 6..... | | 94 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 94 |
| 6.1 | Conclusiones..... | 94 |
| 6.2 | Recomendaciones. | 96 |

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

INAMHI: Instituto Nacional Meteorológico e Hidrográfico

Msnm: Metros sobre el nivel del mar

UTM: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator

SIMBOLOGÍA

| | |
|-------------------|--------------------|
| °C: | grados Celsius |
| cm: | centímetro |
| ha: | hectáreas |
| kg: | kilogramo |
| km: | kilómetro |
| km ² : | kilómetro cuadrado |
| kn: | kilonewton |
| lbs: | libras |
| m: | metro |
| m ³ : | metro cúbico |
| s: | segundo |

LISTADO DE PLANOS

| | |
|--------|---|
| PSJ001 | Ubicación del proyecto |
| PSJ002 | Levantamiento topográfico |
| PSJ003 | Cuenca de drenaje |
| PSJ004 | Capacidad del vaso o reservorio |
| PSJ005 | Diseño de la presa – Eje de la presa |
| PSJ006 | Diseño de la presa – Eje del aliviadero |
| PSJ007 | Alternativa de diseño 1 |
| PSJ008 | Alternativa de diseño 2 |
| PSJ009 | Alternativa de diseño 3 |
| PSJ010 | Secciones transversales de la presa – Alternativa 1 |
| PSJ011 | Secciones transversales de la presa – Alternativa 2 |
| PSJ012 | Secciones transversales de la presa – Alternativa 3 |
| PSJ013 | Diseño de las partes del aliviadero. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1.- MAPA POLÍTICO DE SANTA ANA. | 3 |
| FIGURA 2.- IMAGEN SATELITAL DEL SITIO DE PRESA "SAN JUAN". | 4 |
| FIGURA 3.- ÁREA DE LA CUENCA DE DRENAJE. | 16 |
| FIGURA 4.- ORDEN DE LA CUENCA DE DRENAJE..... | 18 |
| FIGURA 5.- CURVA DE ÁREAS DE EMBALSE..... | 27 |
| FIGURA 6.- CURVA DE VOLÚMENES DE EMBALSE | 27 |
| FIGURA 7.- SECCIÓN TÍPICA DE PRESA HOMOGÉNEA..... | 30 |
| FIGURA 8.- SECCIÓN TÍPICA DE PRESA ZONADA CON NÚCLEO IMPERMEABLE..... | 31 |
| FIGURA 9.- ESQUEMA DE PRESA DE ENROCADO PROPUESTA..... | 32 |
| FIGURA 10.- EJE DE IMPLANTACIÓN DE LA PRESA..... | 33 |
| FIGURA 11.- RED DE FLUJO DE LA PRESA HOMOGÉNEA. | 39 |
| FIGURA 12.- RED DE FLUJO DE LA PRESA ZONADA. | 40 |
| FIGURA 13.- RED DE FLUJO DE LA PRESA DE ENROCADO. | 42 |
| FIGURA 14.- EJE DE IMPLANTACIÓN DEL ALIVIADERO | 44 |
| FIGURA 15.- SECCIÓN DEL CANAL DE APROXIMACIÓN..... | 45 |
| FIGURA 16.- PERFIL DEL VERTEDERO..... | 64 |
| FIGURA 17.- LOCALIZACIÓN DE LOS PERFILES | 74 |
| FIGURA 18.- PERFIL 1-1' | 75 |
| FIGURA 19.- PERFIL 2-2' | 76 |
| FIGURA 20.- PERFIL 3-3' | 76 |

| | |
|-------------------------------|----|
| FIGURA 21.- PERFIL 4-4' | 76 |
| FIGURA 22.- PERFIL 5-5' | 77 |
| FIGURA 23.- PERFIL 6-6' | 77 |
| FIGURA 24.- PERFIL 7-7' | 77 |
| FIGURA 25.- PERFIL 1-1' | 79 |
| FIGURA 26.- PERFIL 2-2' | 79 |
| FIGURA 27.- PERFIL 3-3' | 80 |
| FIGURA 28.- PERFIL 4-4' | 80 |
| FIGURA 29.- PERFIL 5-5' | 80 |
| FIGURA 30.- PERFIL 6-6' | 81 |
| FIGURA 31.- PERFIL 7-7' | 81 |
| FIGURA 32.- PERFIL 1-1' | 83 |
| FIGURA 33.- PERFIL 2-2' | 83 |
| FIGURA 34.- PERFIL 3-3' | 83 |
| FIGURA 35.- PERFIL 4-4' | 84 |
| FIGURA 36.- PERFIL 5-5' | 84 |
| FIGURA 37.- PERFIL 6-6' | 84 |
| FIGURA 38.- PERFIL 7-7' | 85 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla I.- Datos del sitio de Presa, vaso y espaldones. | 11 |
| Tabla II.- Coeficientes de escorrentía, según Velasco-Molina (1991)..... | 22 |
| Tabla III.- Coeficientes de escorrentía, según Rázuri (1984)..... | 22 |
| Tabla IV.- Precipitación Máxima en 24 horas. (Inamhi, 2013) | 23 |
| Tabla V.- Características de la Red de Drenaje..... | 24 |
| Tabla VI.- Cálculo del volumen de embalse..... | 26 |
| Tabla VII.- Resultados de iteraciones | 48 |
| Tabla VIII.- Resultados de verificación..... | 49 |
| Tabla IX.- Resultados de prueba 1 | 52 |
| Tabla X.- Resultados de prueba 2 | 52 |
| Tabla XI.- Resultados para aliviadero de pared gruesa | 53 |
| Tabla XII.- Propiedades del vertedor | 55 |
| Tabla XIII.- Datos obtenidos de ábacos..... | 55 |
| Tabla XIV.- Resultados del cálculo de la curva..... | 56 |
| Tabla XV.- Resultados del aliviadero de cimacio..... | 58 |
| Tabla XVI.- Cálculos para dimensiones de la rápida | 62 |
| Tabla XVII.- Cálculo del volumen de espaldón – Alternativa 1 | 78 |
| Tabla XVIII.- Cálculo del volumen de espaldón – Alternativa 2 | 81 |
| Tabla XIX.- Cálculo del volumen de Núcleo impermeable – Alternativa 2 | 82 |
| Tabla XX.- Cálculo del volumen de espaldón – Alternativa 3 | 85 |

| | |
|--|----|
| Tabla XXI.- Cálculo del volumen de Cortina impermeable – Alternativa 3... 85 | 85 |
| Tabla XXII.- Cálculo del volumen del Filtro – Alternativa 3 86 | 86 |
| Tabla XXIII.- Cálculo del volumen de enrocado – Alternativa 3 86 | 86 |
| Tabla XXIV.- Valoración de alternativas 88 | 88 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---------------------|----|
| ECUACIÓN (1) | 19 |
| ECUACIÓN (2) | 20 |
| ECUACIÓN (3) | 24 |
| ECUACIÓN (4) | 38 |
| ECUACIÓN (5) | 39 |
| ECUACIÓN (6) | 46 |
| ECUACIÓN (7) | 47 |
| ECUACIÓN (8) | 51 |
| ECUACIÓN (9) | 51 |
| ECUACIÓN (10) | 55 |
| ECUACIÓN (11) | 57 |
| ECUACIÓN (12) | 58 |
| ECUACIÓN (13) | 60 |
| ECUACIÓN (14) | 61 |
| ECUACIÓN (15) | 64 |
| ECUACIÓN (16) | 65 |
| ECUACIÓN (17) | 65 |
| ECUACIÓN (18) | 65 |
| ECUACIÓN (19) | 65 |
| ECUACIÓN (20) | 67 |

| | |
|---------------------|----|
| ECUACIÓN (21) | 67 |
| ECUACIÓN (22) | 67 |
| ECUACIÓN (23) | 69 |
| ECUACIÓN (24) | 69 |
| ECUACIÓN (25) | 70 |
| ECUACIÓN (26) | 70 |
| ECUACIÓN (27) | 71 |
| ECUACIÓN (28) | 72 |
| ECUACIÓN (29) | 72 |
| ECUACIÓN (30) | 72 |

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

La construcción de una presa se requiere para garantizar el necesario almacenamiento de agua y crear un nivel de agua constante con el fin de regular los aportes del río y suplir las demandas durante épocas de sequía.

E. Razvan (1989) sugiere que la construcción de una presa se requiere cuando el caudal a ser desviado es mayor que la cuarta parte del caudal mínimo del río asociado a una frecuencia dada. En ríos caudalosos, de suficiente calado, de márgenes fijas y libres de deslizamientos, se puede derivar el agua sin la construcción de presas (Caudal mínimo del río mayor que cuatro veces la demanda según E. Razvan).

El desarrollo de este trabajo está proyectado para proveer agua para riego y potabilización en la comuna San Juan de la parroquia San Pablo de Pueblo Nuevo, provincia de Manabí. Este proyecto se ha suscitado debido a las constantes temporadas de sequía que sufre la parroquia y por ende, la demanda de los moradores. Con este objetivo, se ha encontrado en el norte a pocos metros de la comuna San Juan, el sitio ideal para la construcción de una presa.

1.2 Generalidades.

La Parroquia San Pablo de Pueblo Nuevo pertenece al Cantón Santa Ana Provincia de Manabí y cuenta actualmente con 5312 habitantes.

Se lo denominó *Pueblo Nuevo* por los primeros pobladores, en el año 1890, por el hecho de ser tierras nuevas y vírgenes; y *San Pablo*, al constituirse Parroquia en el año 1990. Desde el año 2004 San Pablo de Pueblo Nuevo cuenta con un pequeño sistema de agua entubada, el cual bombea agua desde un pozo. En el año 2012 empezaron a tener caminos viales permanentes, sin embargo estos no son pavimentados.

El área es óptima para la agricultura, razón por la cual la mayoría de sus habitantes se dedican a esta actividad. Situación propicia para implementar un sistema de riego.

1.3 Ubicación general del sitio de Presa.

La Parroquia San Pablo de Pueblo Nuevo se limita geográficamente de la siguiente manera:

NORTE: Parroquia San Sebastián del Cantón Pichincha y Honorato Vásquez del cantón Santa Ana.

SUR: Parroquias Balzar del Cantón Balzar, provincia del Guayas; La Unión del Cantón Santa Ana y Olmedo del Cantón Olmedo.

ESTE: Parroquias Balzar del cantón Balzar de la provincia del Guayas

OESTE: Parroquias La Unión y Honorato Vásquez del cantón Santa Ana.



Figura 1.- Mapa Político de Santa Ana.



Figura 2.- Imagen Satelital del sitio de Presa “San Juan”.
FUENTE: Google Earth

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

- Dotar de riego y de agua potable a la Parroquia San Pablo de Pueblo Nuevo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar las características topográficas del área de presa.

- Investigar las condiciones geológicas y geotécnicas del área de la presa.
- Analizar las posibles alternativas de presa.
- Diseñar a nivel de prefactibilidad tres alternativas de presa.
- Realizar un prediseño del sistema de riego y de distribución de agua potable para la parroquia San Pablo de Pueblo Nuevo.

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.

2.1 Descripción física del área de estudio

2.1.1 Topografía.

La topografía de la zona se desarrolla entre las cotas 50 y 380. En los bordes de la cuenca se tienen riscos bastante pronunciados los cuales descienden hasta un área relativamente plana en donde se ha elegido emplazar el vaso de presa. El cierre, o cerrada de presa, presenta características muy favorables ya que se tienen dos empotramientos que pueden permitir alturas de presa de 20 a 40 metros y por otra parte se dispone de un área apta para aliviadero, vertedero de la presa.

La topografía se obtuvo mediante drones que tomaron fotografías traslapadas, las cuales mediante un procesamiento satelital y

mediante control de coordenadas, permitieron determinar un plano topográfico en el cual se han desarrollado curvas de nivel cada 5 metros en toda el área de la cuenca y curvas a cada metro en el área particular del cierre de presa.

En los planos PSJ001 y PSJ002, se presenta el levantamiento topográfico realizado en el que consta el sitio de Presa, Vaso y Aliviadero. Se constata además que las cotas varían entre 50 y 300 m.s.n.m.

2.1.2 Aspectos iniciales

Del reconocimiento de las condiciones topográficas, se determina la ubicación del cierre de presa entre dos empotramientos naturales.

Se asume inicialmente la altura de la Presa en 20 m, se analiza el lugar del aliviadero en base a las condiciones topográficas con una longitud de 564m, a un metro inferior de la cota de embalse máximo.

2.2 Estudios geológicos

El sitio de presa se ubica, de acuerdo al Mapa Geológico de la Costa del Ecuador, sobre los miembros medio y superior de la formación Borbón. La formación Borbón está constituida por tres miembros: clástico inferior, volcano-clástico medio y volcánico superior.

De acuerdo al Mapa Geológico del Ecuador, los tres miembros pueden encontrarse en concordancia únicamente a lo largo de una meseta estratificada plana localizada entre las poblaciones de Pichincha y Portoviejo en la cuenca de Manabí con un espesor de hasta 600m.

El miembro clástico inferior de la formación Borbón esta formado por areniscas masivas con niveles lenticulares de conglomerado, el cual sobreyace transicionalmente y concordantemente a la subyacente formación Ónzole. Un afloramiento muy característico de este miembro se localiza en el área entre las poblaciones de Canoa y San Vicente. A continuación, sobre el miembro inferior se ubica el miembro volcano-clástico medio de la formación Borbón, formado por niveles de areniscas y conglomerados con componentes re TRABAJADOS de origen volcánico e intercalados localmente por niveles tobáceos.

Al oeste de Quinindé y en los alrededores de Jama, el miembro medio se encuentra discordante sobre el miembro inferior. En esta última localidad el miembro medio de la formación Borbón es correlacionable con rocas de la formación Jama miembro Punta Ballena.

Durante el Pleistoceno inferior se deposita el miembro volcánico superior de la formación Borbón formado por niveles de brechas y tobas volcánicas retrabajadas localmente intercaladas por areniscas ricas en componentes volcánicos. Este miembro yace discordantemente sobre los miembros inferior y medio de la formación Borbón.

En el área de Quinindé, al noroeste de la falla de Pichincha, es común encontrar relictos de este miembro en forma de antiguas terrazas o como estratos remanentes situados cerca de las divisorias de los valles de varios ríos.

Los miembros volcánicos medio y superior de la formación Borbón, forman parte del núcleo sedimentario de los grandes abanicos aluviales localizados en las poblaciones de Santo Domingo y Pedro Vicente Maldonado.

2.3 Estudios geotécnicos

2.3.1 Materiales de construcción

Para construir las tres alternativas de presa se requiere disponer de materiales existentes en la misma área de proyecto, con la finalidad de disminuir costos.

En los estudios realizados se determina que el mayor volumen de material disponible es el que se encuentra en el área del vaso de la presa. Se disponen de capas de arcilla, de suelos limo arenosos arcillosos (el tipo de suelo con mayor volumen en la zona) y también gravillas, las que pueden ser utilizadas como parte del sistema de drenes. Se requieren realizar trabajos de prospección geotécnica que incluyan sondajes geofísicos, perforaciones y calicatas. Mediante dichos trabajos geotécnicos, concretamente perforaciones y calicatas, deberá efectuarse la toma de muestras y el posterior ensayo en los laboratorios, para determinar los parámetros geomecánicos.

Dado que el área aproximadamente plana del vaso es mayor que 500ha, asumiendo 1 metro de espesor (en realidad es mayor), se

tendrían más de 5 millones de metros cúbicos de material, con lo que se determina que el volumen de material disponible es mucho mayor que el requerido para construir el cuerpo de la presa.

2.3.2 Parámetros geotécnicos

La información geotécnica que se hace contar a continuación procede de los estudios y diseños de las presas La Esperanza y Río Grande en Manabí, son datos promediales y sirven para realizar una primera estimación del comportamiento geotécnico de los materiales compactados en el proyecto de presa que se está realizando.

En base a estos proyectos similares previamente estudiados, tenemos los siguientes datos:

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES | | | | | |
|--|-----------|------------------------|--------------------------------|-----------|------------------------|
| <i>Material A (núcleo impermeable)</i> | | | <i>Material B (espaldones)</i> | | |
| Cohesión | ζ | 25 kn/m ² | Cohesión | ζ | 15 kn/m ² |
| Peso Específico | γ | 1480 kg/m ³ | Peso Específico | γ | 1670 kg/m ³ |
| Ángulo de Fricción | φ | 14° | Ángulo de Fricción | φ | 28° |
| <i>Material de Cimiento</i> | | | <i>Filtro</i> | | |
| Cohesión | ζ | 25 kn/m ² | Cohesión | ζ | 2 kn/m ² |
| Peso Específico | γ | 1520 kg/m ³ | Peso Específico | γ | 2200 kg/m ³ |
| Ángulo de Fricción | φ | 14° | Ángulo de Fricción | φ | 40° |

Tabla I.- Datos del sitio de Presa, vaso y espaldones.

2.3.2.1 Cimentación y empotramiento de la Presa

El sitio de presa es un amplio valle aluvial, cuya longitud es aproximadamente 800m. Este terreno es plano e incluye un depósito aluvial de al menos 20 m de espesor, bajo el cual se encuentra el lecho rocoso de rocas sedimentarias.

Los empotramientos tienen pendientes relativamente suaves y están conformados internamente por lutitas y limolitas con pocos estratos de areniscas de grano fino. Superficialmente los empotramientos presentan en las partes altas suelos residuales en un espesor que fluctúa entre 0.20m y 0.40m. En la parte baja de los empotramientos, existen depósitos coluviales que pueden tener espesor de hasta 5m.

Las características antes descritas del sitio de presa, determina que para realizar los diseños de factibilidad y más aún los diseños definitivos, existe el requerimiento de laborar trabajos de exploración geotécnica que incluyan sondajes geofísicos, perforaciones y calicatas.

Estos trabajos permiten recolectar muestras para la posterior determinación de parámetros geomecánicos en los laboratorios.

2.3.2.2 Vaso o Reservoirio.

El vaso está establecido hasta la altura de embalse, que será dos metros por debajo de la cota de la corona de la presa. Dicha altura de la corona será establecida dependiendo del tipo de presa a diseñar. La topografía del terreno nos muestra un sitio ideal para el vaso.

Toda la superficie donde se tendrá el embalse de la presa está constituida por suelos limo-arenosos arcillosos, los cuales son abundantes en el sitio, el cual presenta taludes naturales debido a su topografía ideal para la construcción de una presa. No se requieren excavaciones para definir el vaso.

2.3.2.3 Aliviadero.

El vertedero o aliviadero es una obra civil que cumple la función de regular el caudal de una presa cuando se registran avenidas que exceden el volumen de embalse, dejando escapar el exceso de agua por dicho conducto.

La mayoría de las fallas de las presas ocurren debido a vertederos mal proyectados o de capacidad insuficiente, lo que convierte al vertedero en una obra de suma importancia dentro de la planificación de una presa de tierra.

La estructura de excedencia será construida sobre el suelo limo-arenoso arcilloso del sitio. Se excavará a poca profundidad y el material removido se utilizará como material de relleno en la presa.

2.4 Hidrología e Hidráulica

2.4.1 Compilación de datos

En base a la topografía del terreno, se obtiene el área y pendiente de la cuenca de drenaje al igual que el área del vaso.

La intensidad de lluvia del sitio de presa se obtiene de acuerdo a los anuarios meteorológicos del INAMHI. El coeficiente de escorrentía se obtiene mediante tablas preestablecidas para diversos tipos de suelo.

Según la información disponible, se define el procedimiento a seguir, que para este caso es el Método Racional para la obtención del caudal de diseño.

2.4.1.1 Área de la cuenca.

Con la información del plano topográfico con curvas de nivel cada 5m, se obtuvo la delimitación de la cuenca dando un área total de 4858 Ha. y el vaso con un área de 655.4 Ha, como se muestra a continuación:

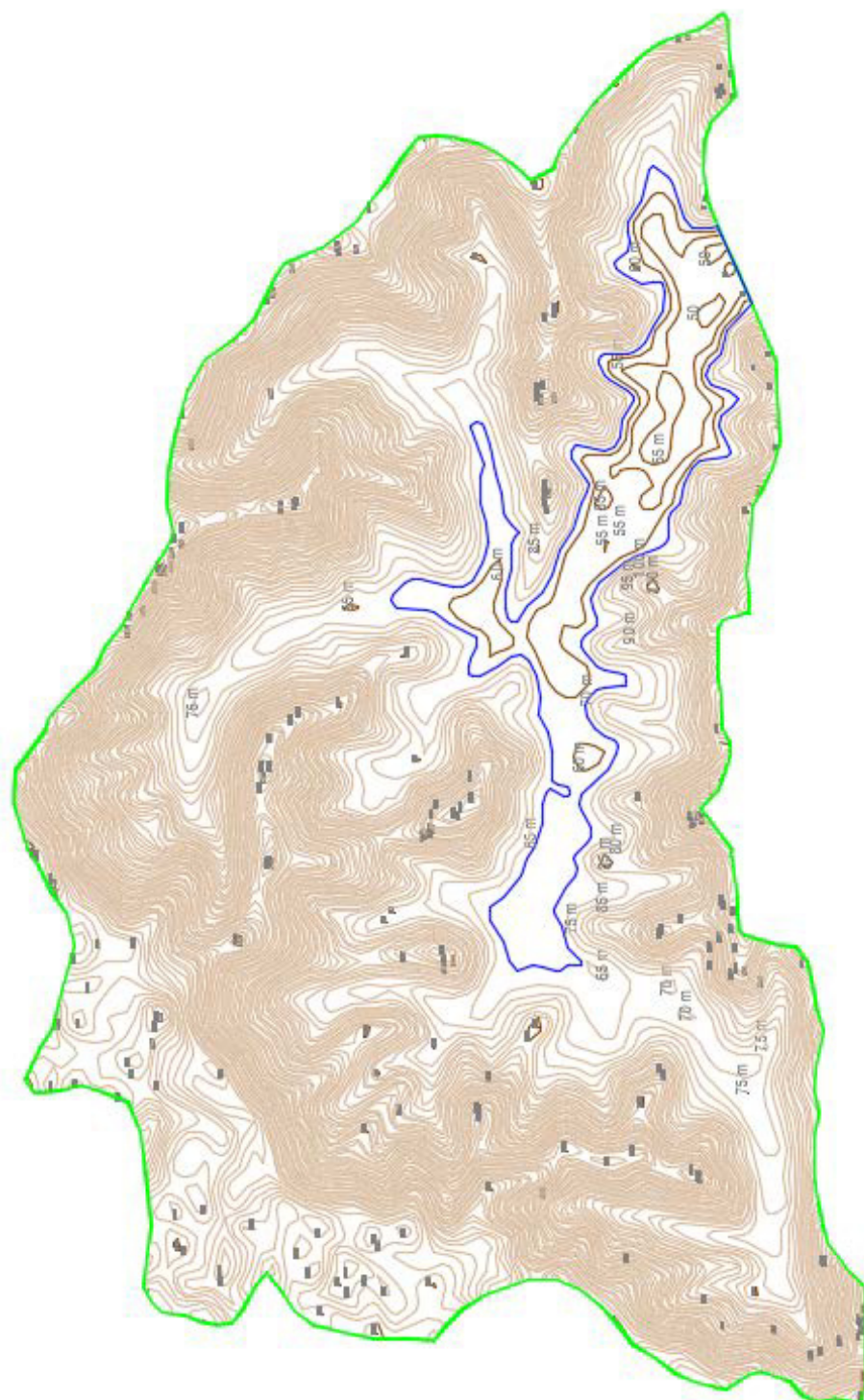


Figura 3.- Área de la Cuenca de Drenaje.

2.4.1.2 Pendiente de la cuenca.

La pendiente se determina con la relación entre la diferencia de cotas y la proyección de la longitud en un plano horizontal.

En este caso, dio como resultado $m=6\%$ dando un caudal no representativo para el tamaño de la cuenca.

Debido a que en el extremo inicial del cauce existe un desnivel muy elevado en relación a la longitud y en el extremo final el desnivel resulta casi imperceptible, se procedió a dividir en dos tramos, el primer tramo tiene un desnivel de 70m en 250m de longitud y el segundo tramo un desnivel 45m en 1550m de longitud, valores que reflejan una pendiente muy elevada y muy baja para cada caso.

Para obtener un resultado más preciso que represente la longitud del cauce principal, se calculó la pendiente por cada tramo y el promedio entre ambos. Realizando esta división de tramos, se establece el valor de la pendiente de la cuenca en 15.45%.

2.4.1.3 Orden de la cuenca.

El valor de Orden de los cauces, refleja el grado de ramificación de la Red de Drenaje. Como podemos ver en la figura adjunta, en el cierre de la presa nuestro río llega a un orden dos.

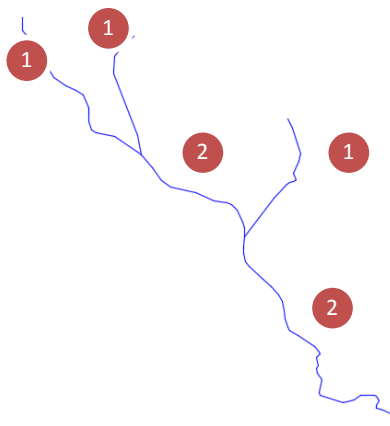


Figura 4.- Orden de la Cuenca de Drenaje.

2.4.1.4 Longitud de los tributarios.

Los tributarios son todos los afluyentes o ríos que se encuentran dentro de la cuenca. La longitud total de los tributarios en nuestra cuenca de drenaje es de 3225 metros.

2.4.1.5 Densidad de drenaje.

Esta característica provee una indicación de la eficiencia de drenaje de la cuenca y se determina:

$$D_d = \frac{\sum L_{cuenca}}{A_{TOTALcuenca}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

D_d : densidad de drenaje

L_c : longitud total de los tributarios de la cuenca

A : área total de la cuenca

Generalmente la Densidad de Drenaje es expresada en km/km^2 , tomando valores que van desde $0.5 \text{ km}/\text{km}^2$ (cuencas con drenaje pobre) hasta $3.5 \text{ km}/\text{km}^2$ (cuencas excepcionalmente bien drenadas).

El resultado de esta relación da un valor de 0.066, lo que indica que la cuenca tiene un drenaje pobre.

2.4.1.6 Coeficiente de Forma.

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de su cauce principal (L_c). El ancho medio se obtiene cuando se divide el área de la cuenca por la longitud del cauce principal, por lo tanto el Coeficiente de Forma queda definido así:

$$Kf = \frac{B}{L_c} = \frac{A}{L_c^2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Kf: coeficiente de forma

B: ancho medio de la cuenca

A: área de la cuenca

L_c: longitud del cauce principal.

En la medida que el Coeficiente de Forma de una cuenca determinada sea más bajo, estará menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño (área) pero con mayor Coeficiente de forma. Para nuestra cuenca de estudio, el coeficiente de forma da un valor de 14.99.

2.4.1.7 Coeficiente de Escorrentía.

El valor de Coeficiente de Escorrentía representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, permitiendo determinar la magnitud del caudal superficial que se genera en cierta área, para una Intensidad de Precipitación de diseño, involucrando características físicas de la Cuenca.

Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 1, no es un factor constante debido a que varía de acuerdo a la magnitud de la lluvia y con las condiciones de la Cuenca.

Los cálculos de este coeficiente, se efectúan a partir de los valores anuales de precipitación y caudal o de algunas fuentes de información donde ya se encuentran tabulados, sin embargo se debe tener en cuenta la realidad del territorio.

Para determinarlo, se calculó el promedio por el valor dado de las siguientes tablas en base al tipo de suelo y la pendiente del terreno.

| VEGETACIÓN | PENDIENTE (%) | TEXTURA DEL SUELO | | |
|---------------------|---------------|-------------------|--------------------|---------|
| | | Arenosa | Arcillosa y limosa | Arcilla |
| Bosques | 0-5 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| | 5-10 | 0,25 | 0,35 | 0,50 |
| | 10-30 | 0,30 | 0,50 | 0,60 |
| Pastizales | 0-5 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| | 5-10 | 0,16 | 0,36 | 0,55 |
| | 10-30 | 0,22 | 0,42 | 0,60 |
| Terrenos de cultivo | 0-5 | 0,30 | 0,50 | 0,60 |
| | 5-10 | 0,40 | 0,60 | 0,70 |
| | 10-30 | 0,52 | 0,72 | 0,82 |

Tabla II.- Coeficientes de escorrentía, según Velasco-Molina (1991)

| Cobertura vegetal | Tipo de suelo | Pendiente del terreno | | | | | |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|------|------|-------|-------|-------------------|
| | | Pronun- Ciada | Alta | | Media | Suave | Despre- ciable |
| | | | 50% | 20% | 5% | 1% | |
| Sin vegetación | Impermeable | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | |
| | Semipermeable | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | |
| | Permeable | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | |
| Cultivos | Impermeable | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | |
| | Semipermeable | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | |
| | Permeable | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | |
| Pastos Vegetación ligera | Impermeable | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | |
| | Semipermeable | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | |
| | Permeable | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | |
| Hierba, grama | Impermeable | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | |
| | Semipermeable | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | |
| | Permeable | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | |
| Bosques Vegetación densa | Impermeable | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | |
| | Semipermeable | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | |
| | Permeable | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 | |

Nota: Para zonas que se espera puedan ser quemadas se deben aumentar los coeficientes así:
 ♦ Cultivos: multiplicar por 1,10
 ♦ Pastos y vegetación ligera, hierba y grama, bosques y vegetación densa: multiplicar por 1,30

Tabla III.- Coeficientes de escorrentía, según Rázuri (1984)

Se adopta un coeficiente de escorrentía de 0.45.

2.4.1.8 Intensidad.

Para el cálculo del caudal, se requiere el valor de Intensidad de Precipitación máxima del sitio de Presa, el

cual se obtuvo mediante el promedio de Precipitación Máxima anual en las zonas de Portoviejo y Pichilingue, siendo estas las dos estaciones más cercanas al sitio de Presa, cuya información se encuentra disponible en el sitio web del INAMHI.

| LOCALIDADES | Precipitación Máxima en 24 horas. Año 2013 | Mes precipitación máxima 24 horas |
|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| REGION LITORAL/INSULAR | | |
| ESMERALDAS AER. | 61.5 | ABRIL |
| LA CONCORDIA | 125.2 | ABRIL |
| STO. DOMINGO AER. | 124.0 | MARZO |
| PUERTO ILA | 154.2 | MARZO |
| PORTOVIEJO | 107.6 | ABRIL |
| PICHILINGUE | 130.9 | FEBRERO |

Tabla IV.- Precipitación Máxima en 24 horas. (Inamhi, 2013)

$$I = \frac{(107.6 + 130.9)}{2}$$

Se obtiene una precipitación máxima en 24 horas de 119.25 mm.

2.4.1.9 Caudal de diseño.

Se analizaron las características de la cuenca de drenaje aportante al reservorio. De acuerdo a las recomendaciones del *Bureau of Reclamation*, se

resuelve seleccionar el día de máxima precipitación registrado para el cálculo del caudal de diseño. Utilizando el Método Racional se obtuvo un caudal de 7.24 m³/s. Esto implica la multiplicación de factores como la intensidad, pendiente y coeficiente de escorrentía. El Método Racional se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Q: caudal en m³/s.

C: coeficiente de escorrentía superficial.

I: intensidad de lluvia en mm/día.

A: área de la cuenca en km².

$$Q = 0.45 * 119.25 * 48.58$$

$$Q = 7.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

| | |
|----------------------------------|----------|
| ÁREA | 4858 Ha |
| PENDIENTE | 0,1545 |
| ORDEN DE CAUCES | 2 |
| LONGITUD DE CAUCES | 3.225 Km |
| DENSIDAD DE DRENAJE | 0.06638 |
| COEFICIENTE DE FORMA | 14.99 |
| COEFICIENTE DE COMPACIDAD | 1355 |

Tabla V.- Características de la Red de Drenaje

2.4.2 Determinación de la cota máxima de embalse

Se determina la cota máxima de embalse como una medida de seguridad para prevenir el desborde de la misma, que puede causarse por condiciones climáticas extremas, las cuales son muy comunes en la actualidad debido al cambio climático.

Debido a lo descrito, las presas de poca altura, como una menor o igual a 10 metros, se llenan fácilmente en épocas lluviosas, provocando altos riesgos de desborde o la necesidad de diseñar una estructura de excedencia sobredimensionada como medida de seguridad. El diseño de un aliviadero sobredimensionado conllevaría a un mayor costo de obra debido al volumen necesario de hormigón armado en el aliviadero y la excavación para obtener una cota adecuada para un diseño de ese tipo.

La gran extensión del vaso permite a nuestra presa embalsar una gran cantidad de metros cúbicos con pocos centímetros de aumento en el nivel de embalse, lo cual asegura que en el evento de una lluvia extrema, el tirante se elevará pocos centímetros y se trasladará el excedente al canal del aliviadero.

En base a las condiciones señaladas, se determina un nivel de embalse en la cota 67.50, dejando dos metros de borde libre hasta la corona de la presa, que se localiza en la cota 69.50.

2.4.3 Volumen de embalse

Se determina el volumen de embalse considerando la topografía del vaso y efectuando curvas de Área-Volumen-Cota. La tabla mostrada a continuación muestra los valores de volúmenes obtenidos en base a las diferentes cotas de embalse, consideradas cada metro:

| COTA | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | Δh (m) | VOLUMEN (m ³) |
|------|------------------------|------------------------------|--------|---------------------------|
| 55 | 970000 | 0 | 1 | 0 |
| 56 | 1203200 | 1086600 | 1 | 1086600.00 |
| 57 | 1434400 | 1318800 | 1 | 2405400.00 |
| 58 | 1669600 | 1552000 | 1 | 3957400.00 |
| 59 | 1902800 | 1786200 | 1 | 5743600.00 |
| 60 | 2136000 | 2019400 | 1 | 7763000.00 |
| 61 | 2584800 | 2360400 | 1 | 10123400.00 |
| 62 | 3033600 | 2809200 | 1 | 12932600.00 |
| 63 | 3479400 | 3256500 | 1 | 16189100.00 |
| 64 | 3931200 | 3705300 | 1 | 19894400.00 |
| 65 | 4380000 | 4155600 | 1 | 24050000.00 |
| 66 | 4814800 | 4597400 | 1 | 28647400.00 |
| 67 | 5248800 | 5031800 | 1 | 33679200.00 |
| 68 | 5684400 | 5466600 | 1 | 39145800.00 |
| 69 | 6116200 | 5900300 | 1 | 45046100.00 |
| 70 | 6554000 | 6335100 | 1 | 51381200.00 |

Tabla VI.- Cálculo del volumen de embalse

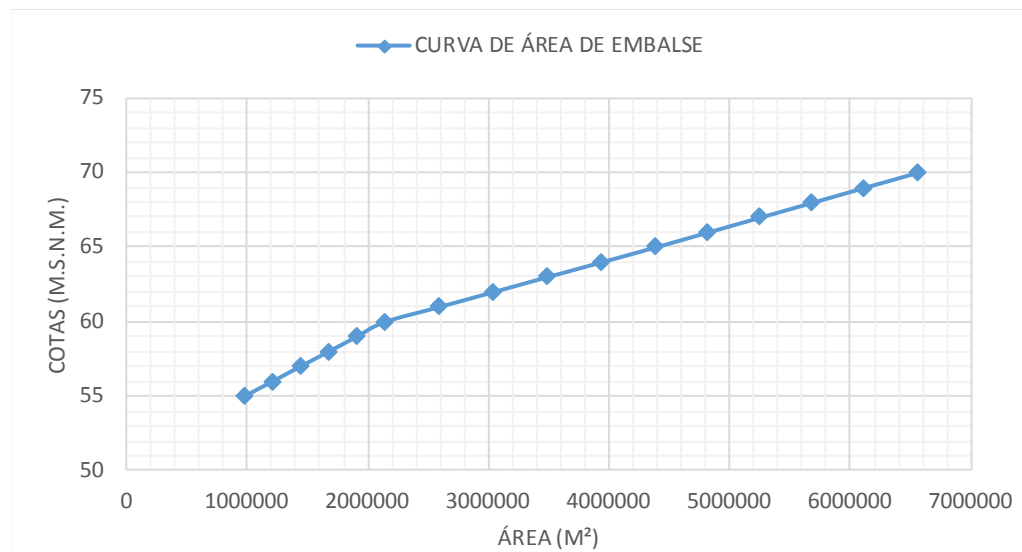


Figura 5.- Curva de áreas de embalse.

La siguiente curva obtenida con los datos calculados muestra cómo el volumen de embalse incrementa de manera significativa con un mínimo aumento del nivel de embalse.

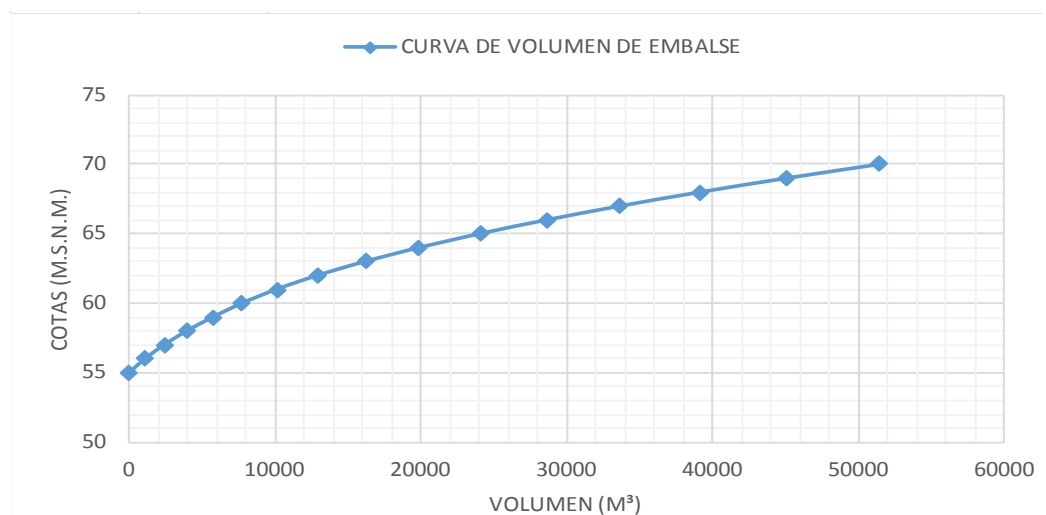


Figura 6.- Curva de volúmenes de embalse

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS HIDRÁULICOS.

3.1 Diseño de presa.

3.1.1 Descripción de alternativas para diseño y construcción.

Las presas de materiales sueltos son terraplenes artificiales contruidos para permitir la contención de las aguas, su almacenamiento o su regulación y tienen menos exigencias a la deformabilidad de la fundación, que cualquier otro tipo de presa.

Para presas de menos de 30m de altura, es importante que en su mayoría sean de materiales sueltos (Presas de Tierra), considerando que el sitio de presa tiene abundante material

disponible adecuado para los espaldones de una presa de tierra, se descarta plantear una presa de hormigón.

Se pueden clasificar en distintas categorías, dependiendo del objetivo que se persiga. Para el propósito de este proyecto, se analizarán tres alternativas de diseños.

3.1.1.1 Presa homogénea.

Las presas de tierra tienen la finalidad de embalsar agua para riego. La construcción de este tipo de presa se realiza con materiales en estado natural y con poca elaboración; por esa razón, son las más empleadas. La idea principal de este tipo de presa, es que el volumen principal del cuerpo de la presa se hace con suelos arcillosos, arenosos, o areno-gravillosos de grano fino.

Es necesario que este material sea lo suficientemente impermeable para evitar el flujo de agua a través de sí mismo.

Apropiada para cimentaciones en rocas o para suelos en valles anchos, puede aceptar asentamientos diferenciales limitados dado un núcleo relativamente ancho y plástico. Se requieren rastrillos para horizontes más sólidos, es decir, menos permeables. Esfuerzos de contacto bajo.

Los métodos apropiados para la construcción de estas presas, incluyen una preparación adecuada de los cimientos y la colocación de los materiales en el dique de la presa con el necesario grado de compactación, estableciendo un sistema de control mediante ensayos.

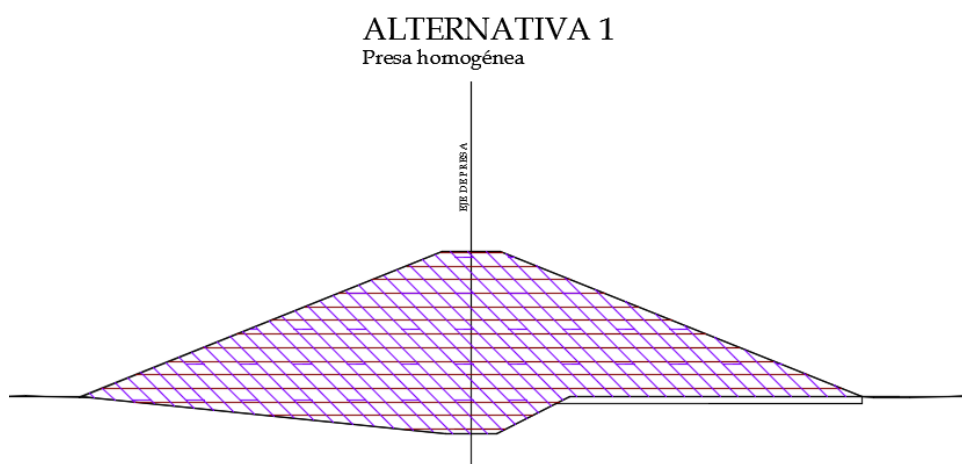


Figura 7.- Sección típica de Presa homogénea.

3.1.1.2 Presa zonada con núcleo impermeable.

Las presas zonadas, llamadas también presas con núcleo, son una variación de las presas de tierra, en la cual se implemente un núcleo de material impermeable, frecuentemente arcilla, mejorando así la permeabilidad de la presa. Su diseño y construcción varía en pocos aspectos a la presa de tierra, pues la única diferencia en la implementación del núcleo.

Requiere diversas clases de materiales, por ejemplo, para el núcleo, para las zonas de los espaldones, para los filtros internos, etc.

Los espaldones, cuyo material es más permeable que el núcleo, cumplen la función de proteger a este y de proporcionar estabilidad al cuerpo de la presa.

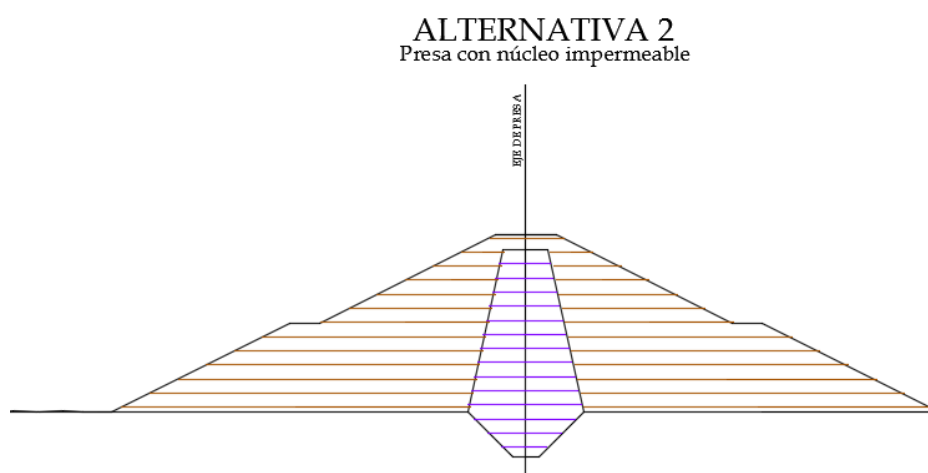


Figura 8.- Sección típica de Presa zonada con núcleo impermeable.

3.1.1.3 Presa con enrocado.

Para este tipo de presa, se utiliza roca y se caracteriza especialmente porque más del 50% son materiales fraccionales de tamaños grandes para dar estabilidad a una membrana impermeable. Dicha membrana puede ser una capa de material impermeable, una losa de concreto, un recubrimiento de concreto asfáltico, placas de acero, entre otras opciones. Deben de tener un vertedor de demasías de la capacidad adecuada.

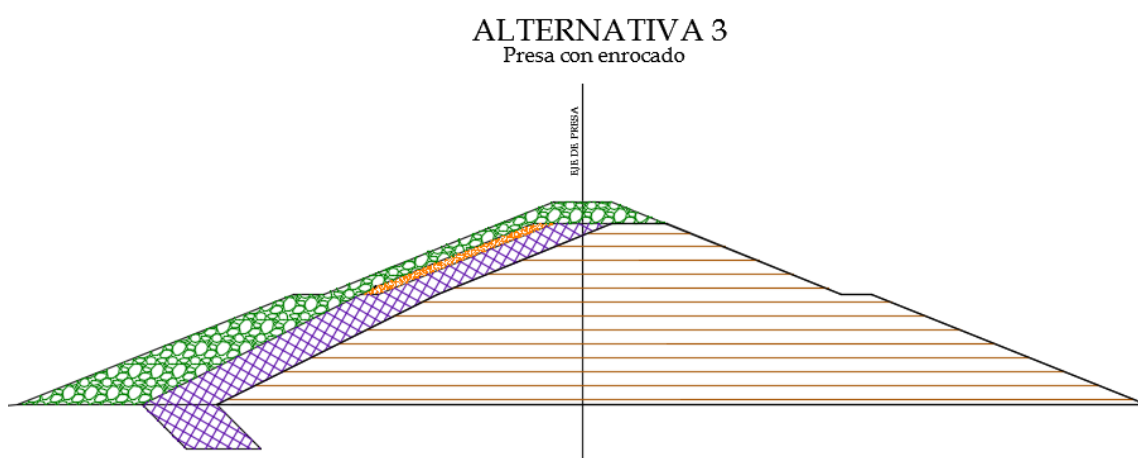


Figura 9.- Esquema de Presa de enrocado propuesta.

Este tipo de presas, requieren de cimentaciones que no estén sujetas a asentamientos de magnitudes que puedan romper la membrana impermeable. Las únicas

cimentaciones adecuadas son la roca o la arena compacta y la grava.

3.1.2 Determinación del eje de la presa.

Se determina la ubicación más propicia para colocar la presa, en base a la topografía del terreno que muestra dos empotramientos naturales, disponibilidad y cercanía de los materiales de construcción y área de embalse.

De acuerdo a estos criterios, se determina la ubicación del eje de la presa en las siguientes coordenadas UTM, según se muestra en la figura:

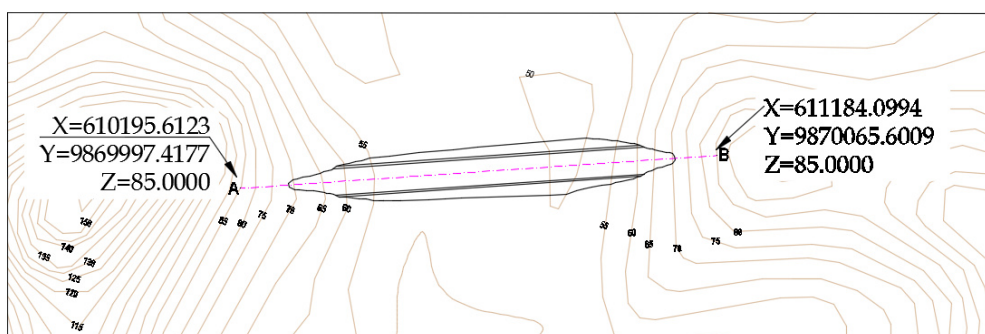


Figura 10.- Eje de implatación de la Presa.

3.1.3 Análisis de estabilidad de la presa.

Las alternativas (prediseños) se verifican mediante las corridas con el programa geotécnico GALENA en su última versión. El software GALENA permite realizar los análisis de estabilidad mediante los métodos de Bishop y de Spencer-Wright.

Se realizan corridas en diferentes condiciones para las tres alternativas prediseñadas que son: Presa Homogénea, Presa Zonada con núcleo impermeable y Presa con Enrocado.

3.1.3.1 Presa Homogénea.

En la primera corrida, en la que no se ha considerado la presencia de sismos, sino únicamente el máximo nivel de embalse, se determina un factor de seguridad de 2.59, lo que denota una gran estabilidad.

En una segunda corrida, se considera una aceleración sísmica de 0.30g, por lo que siguiendo las indicaciones del software GALENA, se coloca como aceleración horizontal el 50% de la máxima aceleración asumida, es

decir 0.15g. En estas condiciones, el factor de seguridad desciende drásticamente a un valor de 1.29, que de todas formas representa una condición de estabilidad.

Con el fin de determinar la estabilidad de la presa en las condiciones más críticas, se ha asumido una aceleración sísmica extraordinaria de 0.40g, por lo que para efectos de la corrida se usa el 50% de ese valor, 0.20g que es la aceleración sísmica horizontal que debe ingresarse en el programa. El factor de seguridad obtenido es de 1.08, valor relativamente bajo de estabilidad, sin embargo demuestra que esta se mantiene y por tanto la presa no ha sufrido afectaciones.

En resumen, puede señalarse que la solución de presa planteada es estable aún en las condiciones más críticas.

3.1.3.2 Presa Zonada con núcleo impermeable

El proceso es similar a la alternativa anterior, por lo que se realiza una primera corrida sin considerar la acción de sismos, únicamente el máximo nivel de embalse, donde

se determina un factor de seguridad de 2.50 que denota una gran estabilidad.

Considerando la aceleración sísmica de 0.3g, la segunda corrida da un factor de seguridad de 1.20, representando una condición estable, pero significativamente menor que la corrida anterior.

Para la tercera corrida se vuelve a simular una condición crítica, aplicando una aceleración sísmica de 0.4g. Siempre teniendo en cuenta que la aceleración sísmica horizontal en el programa GALENA debe ingresarse como el 50% de la aceleración sísmica, se obtiene esta vez un factor de seguridad de 1.01, lo que apenas supera el valor de la unidad, manteniendo la estabilidad pero considerándose como estabilidad precaria debido a su valor mínimo.

Al igual que la alternativa anterior, la presa zonada con núcleo de arcilla es estable, aunque al límite, en las condiciones más críticas.

3.1.3.3 Presa con enrocado

Con las mismas condiciones, se realizan las tres corridas para la presa con enrocado. Sin considerar aceleración sísmica, esta alternativa posee un factor de seguridad de 2.87, presentando una estabilidad mayor en comparación con las dos alternativas anteriores.

En la segunda corrida, con una aceleración sísmica de 0.3g, esta alternativa presenta un factor de seguridad de 1.27 y en su tercera corrida, con una aceleración sísmica de 0.4g, la presa posee un factor de seguridad de 1.06.

Todas las alternativas demostraron excelente estabilidad para la carga hidráulica y sismos moderados, así como estabilidad límite para la aceleración sísmica máxima del sitio de presa.

Todos los gráficos y cálculos proporcionados por el programa, así como los datos geotécnicos detallados en el capítulo 2 e ingresados al software con el fin de realizar los cálculos, se encuentran en Anexos.

3.1.4 Análisis de filtraciones

Se realiza el análisis de los caudales a filtrarse a través del cuerpo de las tres alternativas de presa para cuantificar el gasto que percibiría el embalse por medio de dichas filtraciones.

Para este propósito, se usa una ecuación obtenida en base a la modelación bidimensional de la ecuación de Darcy para el flujo en medios porosos en el libro Mecánica de Suelos Práctica, Ing. Carmen Terreros.

$$q = \frac{Nf}{Nd} * h * K \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

q: Caudal filtrado por metro lineal, en cm²/s.

Nf: número de conductos de flujo.

Nd: número de líneas equipotenciales.

K: Coeficiente de filtración, en cm/s.

h: altura de agua embalsada, en cm.

3.1.4.1 Presa Homogénea

Para la primera alternativa, la presa homogénea, se tiene el coeficiente de permeabilidad de los espaldones $K=1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$, y como se aprecia en la imagen, se tienen 6 conductos de flujo y 8 líneas equipotenciales. La altura de embalse es de 18 m para las tres alternativas.

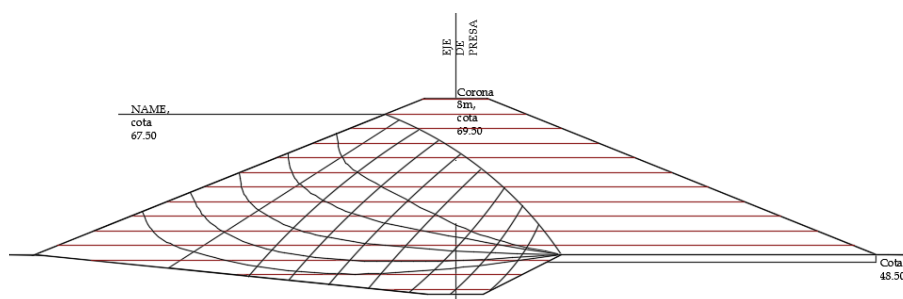


Figura 11.- Red de flujo de la Presa Homogénea.

Se procede a reemplazar los datos en la ecuación:

$$q = \frac{6}{8} * 1800 * 1.8 \times 10^{-4}$$

$$q = 0.243 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Este caudal de filtración debe multiplicarse por la longitud de la presa. Esta longitud tiene un valor de 800m.

$$Q = q * L \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$Q = 0.243 * 80000$$

$$Q = 19440 \text{ cm}^3/\text{s} = 1.944 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.4.2 Presa Zonada con núcleo impermeable

En la presa zonada con núcleo impermeable se tienen materiales con menor permeabilidad que en la presa homogénea, por lo que el coeficiente desciende a $K=1.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ en la zona del núcleo. En la zona del espaldón el coeficiente se mantiene en $K=1.8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$. Se tienen 4 conductos de flujo en todo el cuerpo de la presa, 4 líneas equipotenciales en el espaldón y 5 líneas equipotenciales en el núcleo. La altura de embalse es de 18m.

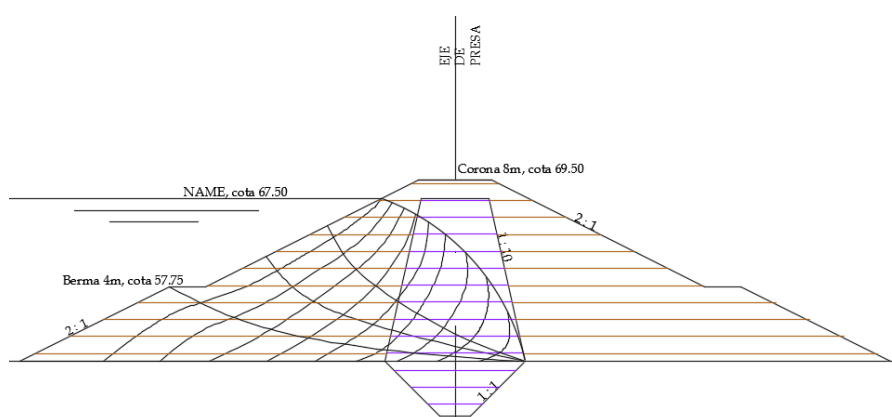


Figura 12.- Red de flujo de la Presa Zonada.

Se procede a reemplazar los datos en la ecuación:

$$q = \frac{4}{9} * 1800 * (0.75 * 1.8x10^{-4} + 0.25 * 1.2x10^{-6})$$

$$q = 0.10824 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Este caudal de filtración debe multiplicarse por la longitud de la presa. Esta longitud tiene un valor de 800m.

$$Q = q * L$$

$$Q = 0.10824 * 80000$$

$$Q = 8659.2 \text{ cm}^3/\text{s} = 8.66x10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.4.3 Presa con enrocado

Esta alternativa tiene una capa de enrocado en contacto con el embalse antes de un filtro y una capa de arcilla. La permeabilidad de la capa de arcilla es igual a $K=1.2x10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ y la permeabilidad en los espaldones es $K=1.8x10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$, se tienen 4 conductos de flujo en todo el cuerpo de la presa y 2 líneas equipotenciales en la capa de arcilla y 13 líneas equipotenciales en la parte de espaldón. La altura de embalse esta fija en 18 m.

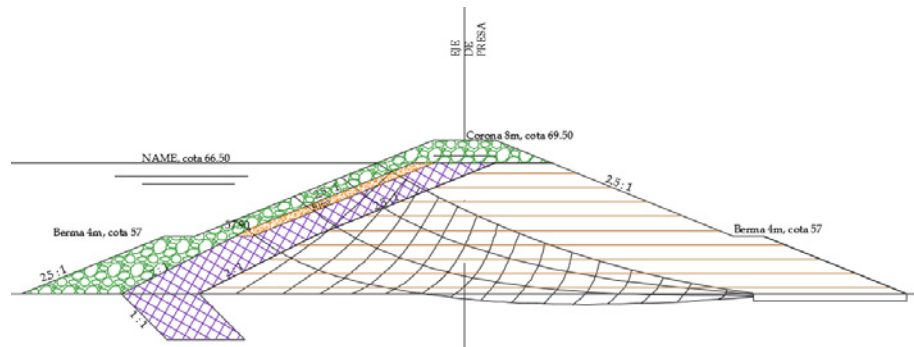


Figura 13.- Red de flujo de la Presa de enrocado.

Se procede a reemplazar los datos en la ecuación:

$$q = \frac{4}{9} * 1800 * (0.8 * 1.8 \times 10^{-4} + 0.20 * 1.2 \times 10^{-6})$$

$$q = 0.1154 \text{ cm}^2/\text{s}$$

Este caudal de filtración debe multiplicarse por la longitud de la presa, que tiene un valor de 800m.

$$Q = q * L$$

$$Q = 0.1154 * 80000$$

$$Q = 9232 \text{ cm}^3/\text{s} = 9.232 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.2 Diseño de la obra de excedencia.

En la construcción de presas de tierra, el diseño de la obra de excedencia es de suma importancia, pues el desborde es la causa más común de fallo en este tipo de presas.

La función del aliviadero es desalojar el excedente de agua en el nivel de embalse para evitar que ocurra un desborde, llevándola por dicho conducto hasta el cauce natural.

3.2.1 Determinación de la cota del aliviadero.

La corona de la presa está definida en la cota 69.50 y su nivel máximo de embalse en la cota 67.50, por lo tanto se determina tentativamente que la cota del canal de aproximación, inicio del vertedor, sea 66.50 m.s.n.m.

El elemento del aliviadero que controla el nivel de embalse, tendrá una altura que regirá que el flujo ocurra cuando el nivel de embalse exceda la cota 67.50.

3.2.2 Ubicación del eje del aliviadero

Como se encuentra descrito previamente, el sitio de presa posee una topografía del terreno ideal para la construcción de una presa, donde también se observa un sitio propicio para la colocación del aliviadero, ubicando su eje en las siguientes coordenadas:

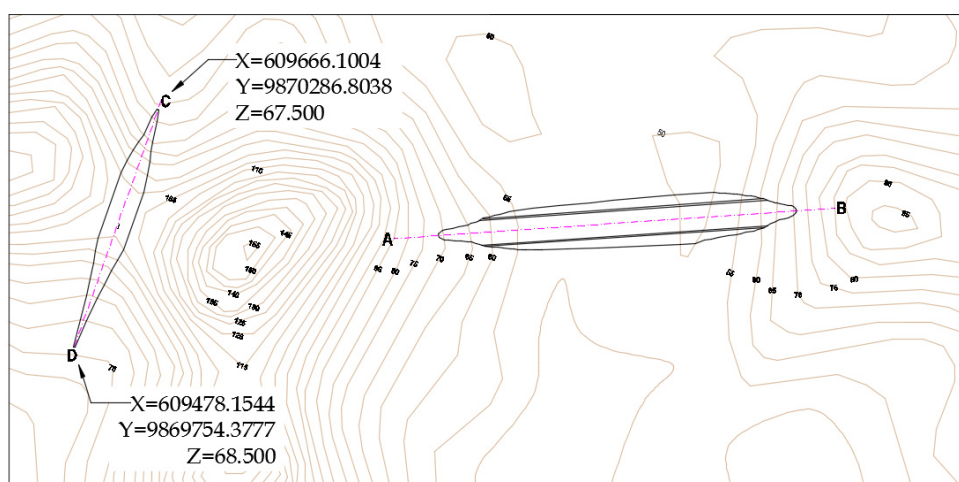


Figura 14.- Eje de implantación del aliviadero

3.2.3 Diseño del aliviadero

Para el diseño del aliviadero o vertedor, se consideran las 4 partes por las que está conformado el mismo: canal de aproximación, sección de control o aliviadero, sección de descarga o rápida y estructura terminal o dissipador de energía.

3.2.3.1 Canal de aproximación

Es el conducto por el cual se traslada el agua desde el embalse hasta la el aliviadero. Tiene el mismo ancho que la estructura de control, 4m, y una longitud de 45m. El material que constituye el canal es hormigón armado.

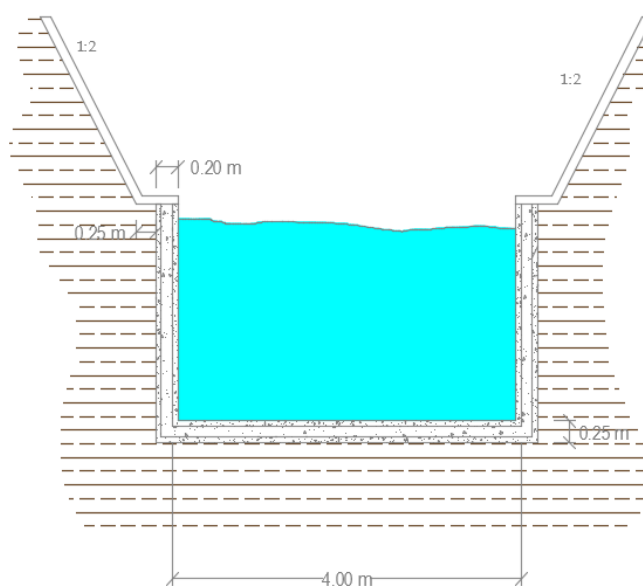


Figura 15.- Sección del canal de aproximación

3.2.3.2 Sección de control o aliviadero

Se conoce los diversos comportamientos que la lámina de flujo puede tomar a lo largo de la obra de excedencia, dado que por ella circulará una corriente de agua que queremos verterla a otra cota inferior. El tobogán que

necesitamos deberá soportar la erosión del agua y esto puede ser un grave problema.

Lo más idóneo consiste en pensar cuál sería la trayectoria del agua en caída libre y disponer el tobogán justo con esa curva, así conseguiríamos la máxima descarga de agua y que las presiones del agua sobre la estructura fueran nulas, este último factor es muy importante para la durabilidad de la obra. La curva mencionada se denomina perfil Creager.

Aliviadero de pared delgada

Se procede en primer lugar al diseño de una estructura de descarga con pared delgada.

Se opta por una sección rectangular para el vertedor. Por ende, la ecuación que representa el gasto de agua que pasa por la sección transversal del vertedor está dada por:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b h^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$\text{o simplemente } Q = C b h^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q: es el caudal en m^3/seg .

g: la aceleración de la gravedad.

μ : coeficiente de gasto.

b: longitud de cresta (ancho del vertedor)

h: carga hidráulica en metros.

Esta fórmula representa una dificultad en la determinación del coeficiente de gasto μ , y solo es útil si se garantiza que la superficie interior de la lámina vertiente tendrá una ventilación adecuada.

Para la determinación del coeficiente de gasto usamos la fórmula de Hegly para un $b=B$, obtenida del libro de Fundamentos de Hidráulica General de Sotelo pág. 246, tabla 7.1

$$\mu = \left[0.6075 + \frac{0.0041}{h} \right] * \left[1 + 0.55 * \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right] \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

μ : coeficiente de gasto.

h: carga hidráulica en metros.

w: altura de las paredes del canal en metros.

Se procede a realizar iteraciones para estimar un valor aproximado de la carga hidráulica h para luego aproximar el coeficiente de gasto y la altura de las paredes.

El factor C depende únicamente del coeficiente de gasto y uniendo las constantes para reflejar un solo factor de dependencia, se obtiene $C=2.95\mu$, por lo cual se aproxima un valor de C cercano a 2. Se usa un ancho del vertedor de 4 metros y se fija el caudal en $7.24\text{m}^3/\text{s}$ para realizar las aproximaciones.

Las iteraciones para aproximar los valores se exponen a continuación:

| Iteración | b (m) | C | h (m) | μ | w (m) |
|------------------|------------------|----------|------------------|-------------------------|------------------|
| 1 | 4 | 2.05 | 0.9203 | 0.6949 | 0.9334 |
| 2 | 4 | 2.04 | 0.9233 | 0.6915 | 0.9754 |
| 3 | 4 | 2.03 | 0.9264 | 0.6881 | 1.0204 |
| 4 | 4 | 2.02 | 0.9294 | 0.6847 | 1.0684 |

Tabla VII.- Resultados de iteraciones

Se adopta de manera conservadora una carga hidráulica de 0.93m en base a las dos iteraciones finales. Se obtiene también valores representativos de la altura de las paredes, se procede a continuación a verificar el caudal para comprobar las aproximaciones usando la ecuación para vertedores de pared delgada:

$$Q = Cbh^{\frac{3}{2}}$$

Trabajando estas aproximaciones desde un valor w asignado en base a criterios de diseño, se llega a un factor C apropiado.

Usando $b=4\text{m}$ y $h=0.93\text{m}$, los datos de la verificación se muestran a continuación:

| w (m) | μ | C | Q (m³/s) |
|------------------|-------------------------|----------|--------------------------------|
| 0.85 | 0.7038 | 20761 | 7448 |
| 0.9 | 0.6988 | 20615 | 7396 |
| 0.95 | 0.6943 | 20481 | 7347 |
| 1 | 0.6901 | 20357 | 7302 |

Tabla VIII.- Resultados de verificación

Con una altura de pared de 1m, se obtuvo un valor de caudal cercano al valor de diseño, por lo que se podría

adoptar un vertedero de pared delgada con 1m de paramento y 4m de ancho. Pero debido a las condiciones del terreno, se hace difícil garantizar la adecuada ventilación de la lámina vertiente, pudiéndose generar problemas en la estabilidad de las paredes del canal y desgaste de las superficies del mismo, se opta por analizar un tipo diferente de vertedor que se ajuste mejor a las condiciones del flujo y de la topografía del terreno.

Aliviadero de pared gruesa

Se procede entonces con el diseño de un vertedor de pared gruesa, donde la cresta no es una arista afilada, sino una de gran espesor.

Los vertedores de pared gruesa toman en consideración la relación e/h (espesor versus gradiente hidráulico), debido a que si se cumple $e/h < 0.67$, la lámina vertiente se separaría de la cresta de manera similar a un vertedor de pared delgada; por lo tanto, la relación e/h debe ser mayor que 0.67 para que la lámina vertiente se adhiera a la cresta del vertedor.

Se continúa con el diseño de un vertedor rectangular, ahora de pared gruesa. Para esto se usa el método propuesto por Bazin, que modifica la ecuación de gasto previamente mencionada con un coeficiente de reducción ε_1 , como se muestra a continuación:

$$Q = \varepsilon_1 C b h^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ecuación (8)}$$

En este caso el coeficiente C es el de un vertedor de pared delgada, sin contracciones laterales, con descarga libre, mientras que el coeficiente de reducción ε_1 depende de la relación e/h según la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_1 = 0.7 + \frac{0.185}{e/h} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Pero sólo es válida para una relación $e/h \leq 3$.

Para el procedimiento se necesitan los mismos coeficientes del vertedero de pared delgada, por lo que se adoptan para comprobar una relación $e/h > 0.67$ y se verifica también las dimensiones del vertedor de pared

gruesa buscando un valor de caudal cercano al caudal de diseño.

Se realizan pruebas con los dos valores de C más apropiados al caudal de diseño, respecto al procedimiento anterior.

Prueba 1, C=2.04

| e (m) | h (m) | e/h | ε_1 | Q (m³/s) |
|------------------|------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 0.5 | 0.93 | 0.5376 | 1.0441 | 7.641 |
| 0.55 | 0.93 | 0.5914 | 1.0128 | 7.412 |
| 0.6 | 0.93 | 0.6452 | 0.9867 | 7.221 |
| 0.65 | 0.93 | 0.6989 | 0.9647 | 7.060 |
| 0.7 | 0.93 | 0.7527 | 0.9458 | 6.922 |
| 0.75 | 0.93 | 0.8065 | 0.9294 | 6.802 |

Tabla IX.- Resultados de prueba 1

Prueba 2, C=2.05

| e (m) | h (m) | e/h | ε_1 | Q (m³/s) |
|--------------|--------------|------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 0.5 | 0.93 | 0.5263 | 1.0515 | 7.733 |
| 0.55 | 0.93 | 0.5789 | 1.0195 | 7.498 |
| 0.6 | 0.93 | 0.6316 | 0.9929 | 7.302 |
| 0.65 | 0.93 | 0.6842 | 0.9704 | 7.136 |
| 0.7 | 0.93 | 0.7368 | 0.9511 | 6.994 |
| 0.75 | 0.93 | 0.7894 | 0.9343 | 6.871 |

Tabla X.- Resultados de prueba 2

Debido a que $e/h > 0.67$, es condición necesaria para que el vertedero sea de pared gruesa, se analiza los caudales más cercanos al de diseño que cumplan esta condición. Se puede observar en la segunda prueba que la fila con espesor de 0.65m cumple la condición de relación y nos da un caudal cercano al de diseño. Por lo tanto, se podría adoptar un vertedor de pared gruesa de espesor 0.65 m y las siguientes dimensiones:

| | |
|----------------------|------------------------|
| Caudal | 7.24 m ³ /s |
| Paramento w | 1 m |
| Carga hidráulica h | 0.93 m |
| Longitud de cresta b | 4 m |
| Longitud de canal | 564 m |

Tabla XI.- Resultados para aliviadero de pared gruesa

Pero el caudal, a pesar de ser un valor cercano, es menor al caudal de diseño ($Q=7.24\text{m}^3/\text{s}$) por lo que un vertedor de pared gruesa con estas dimensiones puede tener un desempeño insatisfactorio.

Cimacio

El perfil Creager tiene una sección en forma de S, esta forma provoca que la lámina de agua se adhiera al perfil reduciendo las probabilidades de que el aire acceda por la cara inferior de la lámina de agua. De esta manera, se alcanza mayor eficiencia de descarga.

Esta sección en forma de S consta de dos partes:

La primera parte es una cresta vertedora que está definida por una curva circular compuesta. Cuando esta cresta es redondeada, el coeficiente de gasto aumenta de manera significativa respecto al coeficiente usado en el cálculo de un perfil de pared gruesa. Este aumento se debe a la disminución en valor de la contracción del chorro sobre el vertedor, pues sobre las partículas actúa una aceleración centrífuga debido a la curvatura de las líneas de corriente.

La segunda parte es la sección aguas abajo que está definida por la siguiente ecuación:

$$\frac{y}{H_0} = -K \left(\frac{x}{H_0} \right)^n \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde los valores de las constantes K y n están regidos por la inclinación del paramento aguas arriba y de la velocidad de llegada.

El cálculo de la curva se muestra a continuación:

| PROPIEDADES DEL VERTEDOR | |
|--|---------|
| Longitud de Cresta (L) | 4m |
| Tirante de Agua (H ₀) | 0.93m |
| Paramento (P) | 1m |
| Pérdida por velocidad (H _a) (5%) | 0.0465m |

Tabla XII.- Propiedades del vertedor

| DATOS OBTENIDOS DE ÁBACOS | |
|----------------------------------|-------|
| X _c | 0.22 |
| Y _c | 0.08 |
| K | 0.51 |
| n | 1.828 |
| R1 | 0.554 |
| R2 | 0.179 |

Tabla XIII.- Datos obtenidos de ábacos

Los ábacos utilizados se encuentran en anexos.

| Aguas abajo del Origen | |
|-------------------------------|-----------------------|
| X (metros) | Y (metros) |
| 0 | 0 |
| 0,05 | -0,0023 |
| 0,1 | -0,0081 |
| 0,15 | -0,0169 |
| 0,2 | -0,0286 |
| 0,25 | -0,0429 |
| 0,3 | -0,0599 |
| 0,35 | -0,0795 |
| 0,4 | -0,1014 |
| 0,45 | -0,1258 |
| 0,5 | -0,1525 |
| 0,55 | -0,1816 |
| 0,6 | -0,2128 |
| 0,65 | -0,2464 |
| 0,7 | -0,2822 |
| 0,75 | -0,3201 |
| 0,8 | -0,3602 |
| 0,85 | -0,4024 |
| 0,9 | -0,4467 |
| 0,95 | -0,4931 |
| 1 | -0,5416 |
| 1,05 | -0,5921 |
| 1,1 | -0,6447 |
| 1,15 | -0,6992 |
| 1,2 | -0,7558 |
| 1,25 | -0,8144 |
| 1,3 | -0,8749 |
| 1,35 | -0,9374 |
| 1,4 | -1,0018 |
| 1,45 | -1,0682 |

Tabla XIV.- Resultados del cálculo de la curva

La descarga sobre la cresta del cimacio se define con la siguiente fórmula:

$$Q = CLH_e^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

Q: Caudal

C: Coeficiente de descarga

L: Longitud efectiva de la cresta (ancho de la cresta)

H_e : Carga total sobre la cresta, incluyendo las pérdidas por la velocidad de llegada.

El coeficiente C varía de acuerdo a 5 factores: profundidad de llegada, forma de la cresta, pendiente de la llegada, interferencia con el canal de descarga y tirante del caudal aguas abajo.

El caudal que necesitamos evacuar es de 7.24 m³/s, con el cual se procede a reajustar en base a los ábacos de las gráficas incluidas en los anexos, dimensiones como la pérdida de carga por fricción, el coeficiente de descarga y carga de diseño para el vertedero.

Los resultados que se muestran en la siguiente tabla representan las mejores condiciones para el correcto desempeño hidráulico de la sección de control.

| PARÁMETRO | DIMENSIÓN |
|--------------------|--------------------------|
| Caudal | 7.24 m ³ /seg |
| Paramento | 1.00 m |
| Carga de diseño | 0.93 m |
| Longitud de cresta | 4.00 m |
| Longitud de canal | 564 m |

Tabla XV.- Resultados del aliviadero de cimacio

De acuerdo al Bureau of Reclamation, la curva inversa al pie del talud que encausa el agua hacia la rápida debe tener una forma tal que impida la erosión del hormigón producto de la fuerza centrífuga que ejercería la lámina de agua cuando el vertedor esté trabajando, para lo cual recomienda la siguiente fórmula:

$$R = \frac{2qv}{p} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

R: radio de curvatura mínimo medido en pies.

q: descarga en pies cúbicos por segundo por pie de ancho.

v: Velocidad en pies por segundo.

p: Presión dinámica normal ejercida sobre el piso, en libra por pie cuadrado.

Para la obtención del radio mínimo, se utilizan los siguientes datos en las unidades requeridas por la ecuación:

q: 77.89 pies³/seg/pie de ancho

v: 6.384 pies/seg

p: 100 lbs/pie².

$$R = \frac{2 \times (77.89) \times (6.384)}{(100)}$$

Se obtiene un valor de radio mínimo igual a 9.94 pies (3.03 m).

Una vez determinadas las dimensiones adecuadas para el vertedor, se procede a detallar el mismo.

3.2.3.3 Canal de descarga (rápida)

Se le denomina rápida, al canal que conduce el volumen descargado por la sección de control hasta la estructura terminal o estanque amortiguador, entrando el agua a esta sección en régimen supercrítico generalmente, evitando un resalto hidráulico cerca de la estructura de control, lo que puede generar erosión.

Para un mejor desempeño hidráulico, se opta por mantener el ancho del canal de descarga igual al ancho establecido del aliviadero (4m.), evitando de esta manera contracciones o ensanchamientos del canal, que generarían alteraciones en la condición de flujo.

Se usa la ecuación de Manning para el diseño de la rápida.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/seg).

n: coeficiente de rugosidad, para hormigón es de 0.025.

A: área del canal (m²).

R_h : radio hidráulico.

S: pendiente de la línea de energía.

Se procede a realizar una tabla para encontrar las dimensiones óptimas de la rápida. Se mantiene el ancho de 4 m y se evita que las velocidades de flujo superen los 5m/s para evitar erosión en el revestimiento.

El régimen de flujo debe ser supercrítico, lo cual se comprueba con el número de Froude:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gd}} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

F: número de Froude.

v: velocidad de flujo.

g: gravedad.

d: tirante.

Debido a la gran longitud de nuestro vertedero, se opta por una pendiente suave de 0.05% para evitar costos por excavación excesiva.

| b (m) | h (m) | n | S | R (m) | A (m²) | Q (m³/s) | Q (ft/s) | V (m/s) | F |
|------------------------|------------------------|----------|----------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------|
| 4 | 0.5 | 0.025 | 0.0005 | 0.4 | 2 | 0.9711 | 34.269 | 0.4855 | 0.219 |
| 4 | 0.6 | 0.025 | 0.0005 | 0.4615 | 2.4 | 1.2820 | 45.239 | 0.5341 | 0.220 |
| 4 | 0.7 | 0.025 | 0.0005 | 0.5185 | 2.8 | 1.6164 | 57.038 | 0.5773 | 0.220 |
| 4 | 0.8 | 0.025 | 0.0005 | 0.5715 | 3.2 | 1.9709 | 64.549 | 0.6159 | 0.219 |

Tabla XVI.- Cálculos para dimensiones de la rápida

Podemos observar que desde el primer intento la velocidad de flujo, obtenida de la relación entre caudal y área, salió menor que el valor estimado para evitar erosión.

Todas las iteraciones dan un número de Froude menor a la unidad, lo que indica que en el aliviadero el flujo será laminar. Se adoptan los valores de la primera iteración para la geometría de la rápida.

3.2.3.4 Estructura terminal o disipador de energía

La estructura terminal o disipador de energía, tiene como función disipar la energía del flujo antes de descargar al cauce natural. Se adopta un estanque de resalto hidráulico como la opción más viable de disipador de energía debido a las características del vertedor.

Diferentes factores definen el resalto hidráulico en un estanque amortiguador, como el factor cinético $\frac{v^2}{gd^2}$ de la descarga en el estanque, el tirante crítico o el número de Froude.

Se realiza un análisis para determinar el número de Froude con el que llega el flujo al estanque.

Proceso para determinar el número de Froude:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gd}}$$

Donde:

F: número de Froude.

v: velocidad de flujo.

g: gravedad.

d: tirante.

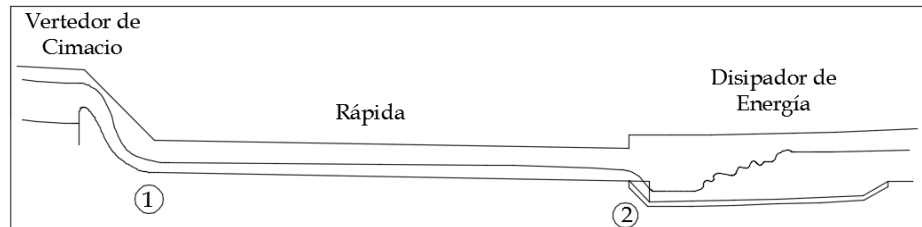


Figura 16.- Perfil del vertedero

Datos del punto 1:

V: 0.4855 m/seg.

g: 9.8 m/seg².

d (h): 0.5 m.

$$F = \frac{0.4855}{\sqrt{(9.8)(0.5)}} = 0.219 \quad \text{FLUJO LAMINAR}$$

Se aplica el principio de continuidad de Bernoulli entre el punto 1 y 2.

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} + \Delta f - \Delta z \quad \text{Ecuación (15)}$$

Cálculo de Δf

$L=564$ metros.

$$\Delta f = S * L \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$S = \left(\frac{(V * n)}{1.486 * R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$S = \left(\frac{(0.4855 * 0.025)}{1.486 * (0.4)^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00023$$

$$\Delta f = 0.00023 * 564$$

$$\Delta f = 0.1297 \text{ metros}$$

Cálculo de Δz

$m=0.05\%$

$$\Delta z = m * L \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$\Delta z = 0.0005 * 564$$

$$\Delta z = 0.282 \text{ metros}$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + (\Delta z - \Delta f) * 2g} \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$V_2 = \sqrt{0.4855^2 + (0.282 - 0.1297) * 2(9.8)}$$

$$V_2 = 1.795 \text{ m/s}$$

Datos del punto 2:

V: 1.795 m/seg.

g: 9.8 m/seg².

d (h): 0.5 m.

$$F = \frac{1.795}{\sqrt{(9.8)(0.5)}} = 0.811$$

Una vez definido el número de Froude en 0.811, se concluye que el flujo se mantiene laminar por lo tanto no ocurrirá un salto hidráulico.

Se determinan a continuación las dimensiones del Tanque amortiguador.

Datos:

d1: 0.50 metros

F: 0.811

Se utiliza la recta $\frac{T.A}{d_2} = 1.1$ que representa el tirante de agua real/ tirante 2=+10%.

Se establece como tirante de agua real a d_2 , y se determina una relación de:

$$\frac{d2}{d1} = 4.40 \quad \text{Ecuación (20)}$$

Lo que simboliza una relación asumida de 4 más el 10%, por lo tanto:

$$d2 = 4.40 * d1$$

$$d2 = 2.20 \text{ metros}$$

Para la longitud del estanque de amortiguación se asume una relación de 5 más el 10%, por lo tanto:

$$\frac{LI}{d2} = 5.50 \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$LI = 5.50 * d2$$

$$LI = 12.10 \text{ metros}$$

Se calcula a continuación el borde libre para esta parte del aliviadero, en base a la siguiente ecuación empírica:

$$\text{borde libre} = 0.1(v_1 + d_2) \quad \text{Ecuación (22)}$$

Donde:

v1: Velocidad del flujo a la entrada del estanque amortiguador = 1.795 m/seg.

d2: Tirante conjugado del resalto hidráulico = 2.20 m.

$$\text{borde libre} = 0.1(1.795 + 2.20)$$

$$\text{borde libre} = 0.3995 \text{ metros}$$

Se concluye que el tanque amortiguador tendrá el mismo ancho que el aliviadero, 4m, una longitud de 12.10m y un borde libre de 0.5m.

3.3 Diseño de estructura de Toma

Se denomina obra de toma al conjunto de estructuras que se implementan en una obra hidráulica para extraer agua con el fin para el cual fue proyectado su aprovechamiento. Se plantea un diseño de toma que consista en una tubería de 70cm de diámetro, 2m por debajo de la cota del aliviadero y que pase por debajo de este, tomando su mismo valor longitud de 564m.

Para calcular el valor de pérdida de carga, se usa la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L * V^2}{D * 2g} \quad \text{Ecuación (23)}$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga, en metros.

f : factor de fricción.

L: Longitud de la tubería, en metros.

V: Velocidad del fluido, en metros sobre segundo.

D: Diámetro de la tubería, en metros.

g: Aceleración de la gravedad.

El factor de fricción para flujo turbulento se obtiene con la ecuación de Haaland:

$$f = \left[1.8 \left[\log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon}{3.7 * D} \right)^{1.11} \right) \right] \right]^{-2} \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

ϵ : Rugosidad, para tubos de pvc es 0.0015mm.

Re: Número de Reynolds.

D: diámetro de tubería en milímetros.

El número de Reynolds se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

V: velocidad del flujo.

D: diámetro de la tubería.

ν : viscosidad. Para agua a 25 grados, el valor de viscosidad es

$$0,9 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Se usa la ecuación de Bernoulli para el cálculo de la velocidad, de la ecuación simplificada, queda:

$$V_2 = \sqrt{2gh_1} \quad \text{Ecuación (26)}$$

$$V_2 = \sqrt{2 * 9.8 * 2}$$

$$V_2 = 6.26 \text{ m/s}$$

Se procede con el cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{6.26 * 0.7}{0.9 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 4868888.89$$

El número de $Re > 2000$, confirma el flujo turbulento.

Se obtiene ahora el factor de fricción:

$$f = \left[1.8 \left[\log \left(\frac{6.9}{4868888.89} + \left(\frac{0.0015}{3.7 * 700} \right)^{1.11} \right) \right] \right]^{-2}$$

$$f = 0.00950$$

Una vez obtenidos los datos necesarios, se calcula la pérdida por carga:

$$h_f = f \frac{L * V^2}{D * 2g} \quad \text{Ecuación (27)}$$

$$h_f = (0.00950) \frac{564 * 6.26^2}{0.7 * 2 * 9.8}$$

$$h_f = 15.304m$$

Una vez obtenida la pérdida de carga, se procede a calcular las pérdidas por entrada y salida, aplicando las siguientes ecuaciones.

$$h_x = K_e \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (28)}$$

$$h_s = \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (29)}$$

Donde:

h_x : pérdida por entrada

h_s : pérdida por salida

K_e : Factor de entrada, para aristas rectas es de 0.5.

Realizando los cálculos se obtiene:

$$h_x = 0.5 \frac{6.26^2}{2 * 9.8} = 0.9997m$$

$$h_s = \frac{6.26^2}{2 * 9.8} = 1.9994m$$

$$\text{Pérdida Total} = h_f + h_x + h_s \quad \text{Ecuación (30)}$$

$$\text{Pérdida Total} = 15.304 + 0.9997 + 1.9994$$

$$\text{Pérdida Total} = 18.303m.$$

La pérdida de 18.303 m representa solo el 3.24% en la longitud total de 564m, por lo que se considera una pérdida mínima y se concluye que la obra de toma es óptima para nuestro proyecto.

CAPÍTULO 4

4. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA DISEÑO.

4.1 Análisis de alternativas

En el presente proyecto se han propuesto 3 alternativas que se describen a continuación y se calcula el volumen usando los perfiles mostrados en la siguiente figura:

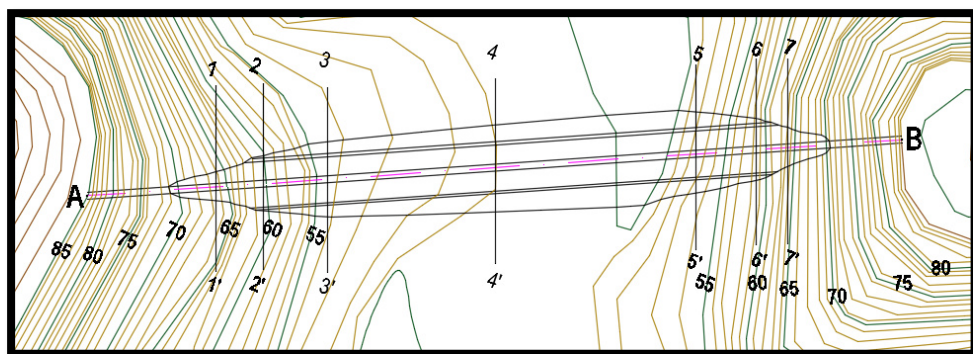


Figura 17.- Localización de los perfiles

4.1.1 Alternativa 1: Presa Homogénea.

Consiste en la construcción de un cuerpo de presa utilizando un solo tipo de material, es decir el material que más se encuentra disponible en el área de proyecto. Esta solución requiere la construcción de un sistema de dren filtro que debe ubicarse en el paramento aguas debajo de la presa, de tal manera que las aguas que se infiltraran a través del cuerpo del terraplén sean captadas y drenadas a través de este sistema de dren filtro.

Las pendientes de los taludes de esta presa son de 2.5:1, tanto en el paramento aguas abajo como en el paramento aguas arriba. La presa está diseñada con 20 metros de altura y una corona de 8 metros.

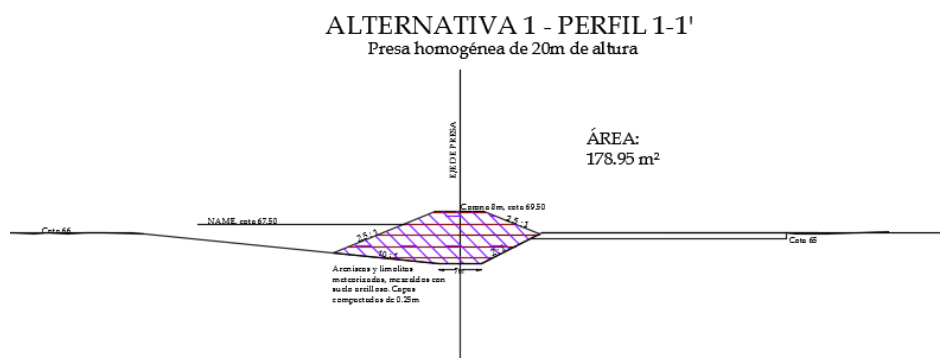


Figura 18.- Perfil 1-1'

ALTERNATIVA 1 - PERFIL 2-2'
Presa homogénea de 20m de altura

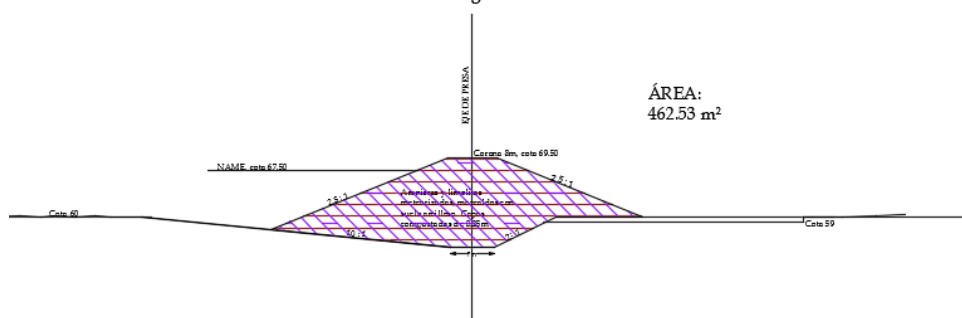


Figura 19.- Perfil 2-2'

ALTERNATIVA 1 - PERFIL 3-3'
Presa homogénea de 20m de altura

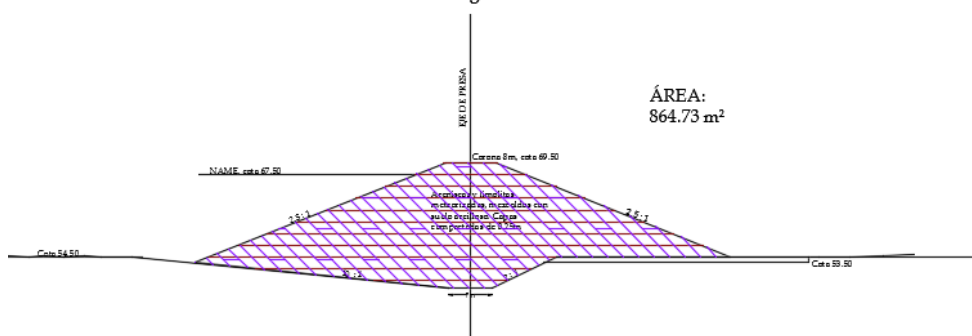


Figura 20.- Perfil 3-3'

ALTERNATIVA 1 - PERFIL 4-4'
Presa homogénea de 20m de altura

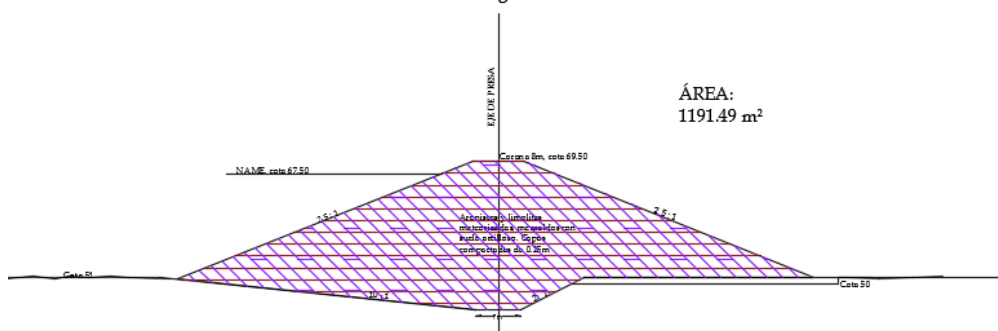


Figura 21.- Perfil 4-4'

ALTERNATIVA 1 - PERFIL 5-5'
Presa homogénea de 20m de altura

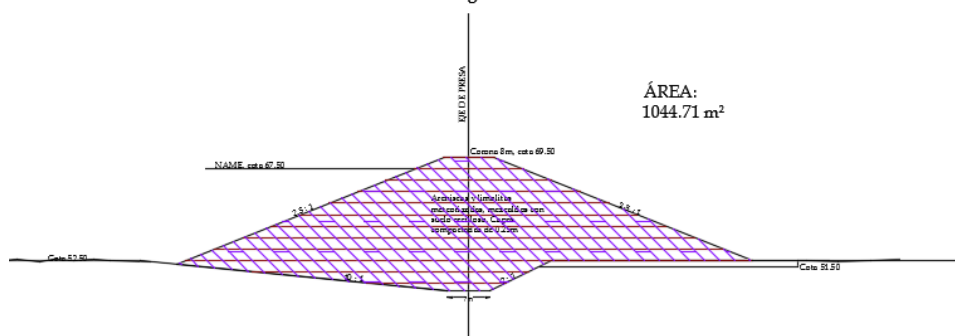


Figura 22.- Perfil 5-5'

ALTERNATIVA 1 - PERFIL 6-6'
Presa homogénea de 20m de altura

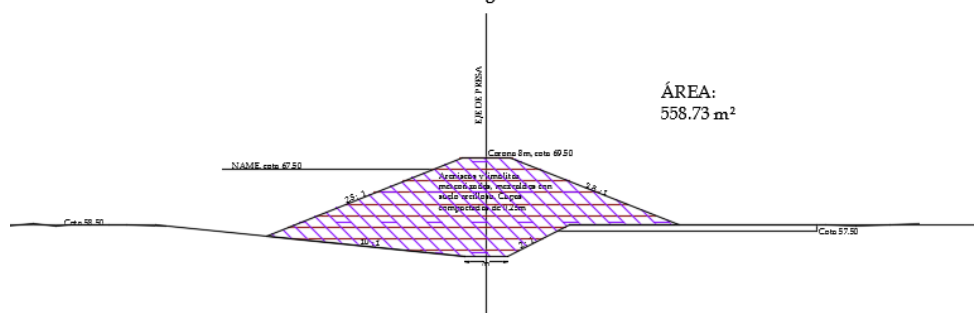


Figura 23.- Perfil 6-6'

ALTERNATIVA 1 - PERFIL 7-7'
Presa homogénea de 20m de altura

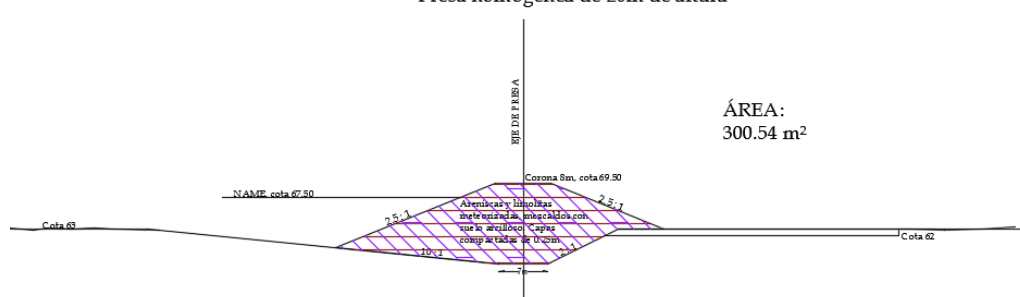


Figura 24.- Perfil 7-7'

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 178.95 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 462.53 | 320.74 | 57.4476 | 18425.74 |
| 3 | 864.73 | 663.63 | 77.4933 | 69852.62 |
| 4 | 1191.49 | 1028.11 | 205.0535 | 280670.18 |
| 5 | 1044.71 | 1118.1 | 243.1564 | 552543.35 |
| 6 | 558.73 | 801.72 | 74.0366 | 611899.97 |
| 7 | 300.54 | 429.635 | 37.7204 | 628105.97 |

Tabla XVII.- Cálculo del volumen de espaldón – Alternativa 1

4.1.2 Alternativa 2: Presa Zonada con núcleo impermeable.

Esta alternativa consiste en la construcción de una presa zonada con núcleo impermeable de arcilla. Este núcleo impermeable debe ser rodeado por espaldones de suelos limo-arenosos arcillosos que son los que más se encuentran en el lugar, y de esta manera conformar una estructura resistente al deslizamiento y también con una menor posibilidad de asentamientos en el cuerpo de la presa.

Para construir esta alternativa, hace falta elegir préstamo de suelo limo-arcilloso con los cuales se puede construir el núcleo de presa.

Como queda indicado, los espaldones son materiales comunes en el lugar, por lo que es factible construir con este tipo de materiales.

Las características geométricas para este tipo de presa son similares a la alternativa descrita anteriormente, dejando la altura en 20 m. y la corona en 8 m; sin embargo, las pendientes de los taludes son de 2:1 para los espaldones, de 1:10 para el núcleo impermeable localizado en el centro del eje de la presa y de 1:1 en la parte del dentellón.

Esta alternativa de presa cuenta con una berma de 4 m ubicada en la cota 57.75, en ambos taludes.

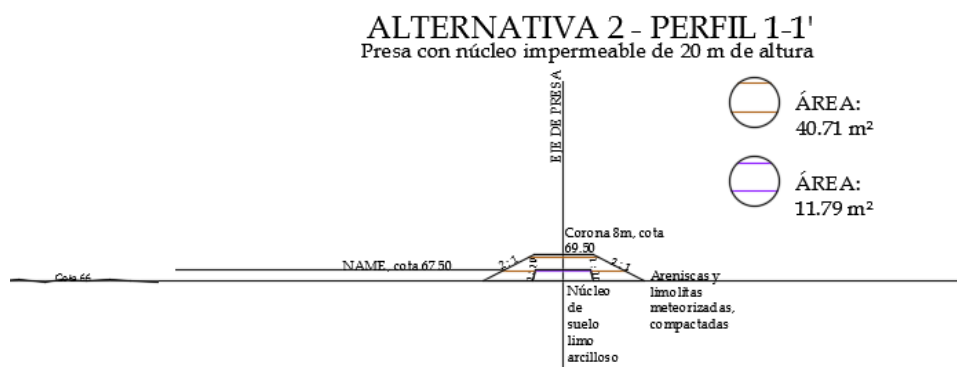


Figura 25.- Perfil 1-1'

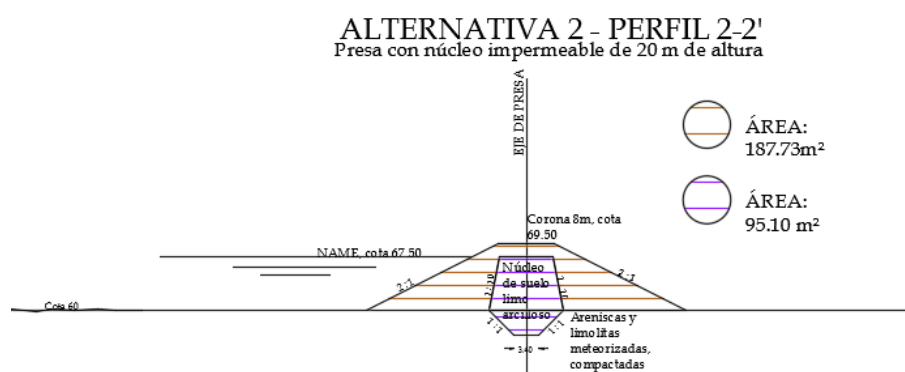


Figura 26.- Perfil 2-2'

ALTERNATIVA 2 - PERFIL 3-3'

Presas con núcleo impermeable de 20 m de altura

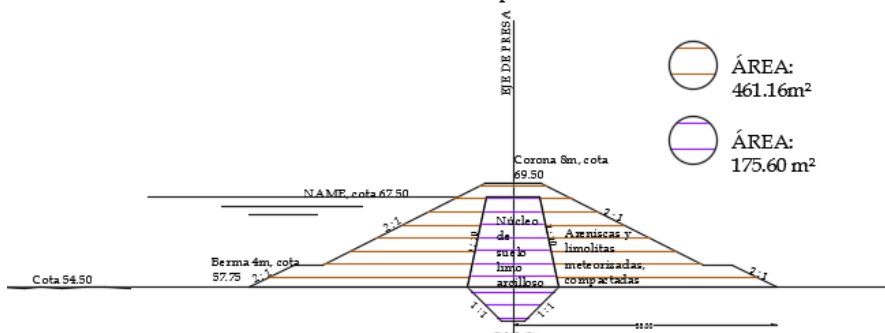


Figura 27.- Perfil 3-3'

ALTERNATIVA 2 - PERFIL 4-4'

Presas con núcleo impermeable de 20 m de altura

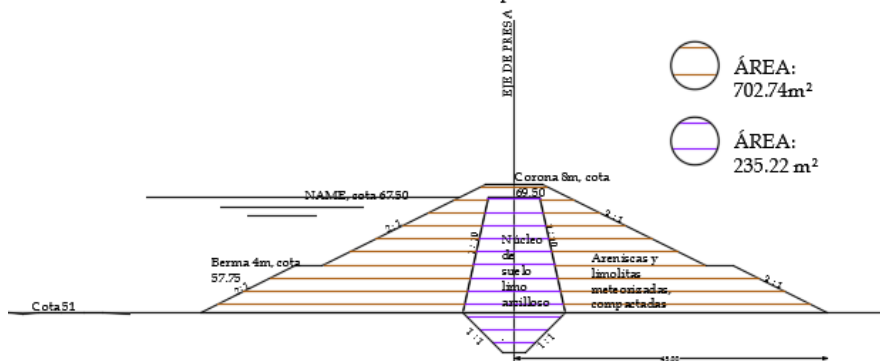


Figura 28.- Perfil 4-4'

ALTERNATIVA 2 - PERFIL 5-5'

Presas con núcleo impermeable de 20 m de altura

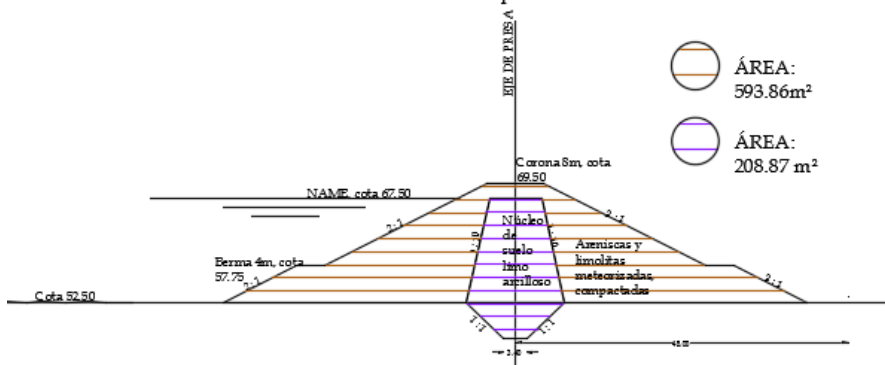


Figura 29.- Perfil 5-5'

ALTERNATIVA 2 - PERFIL 6-6'
 Presa con núcleo impermeable de 20 m de altura

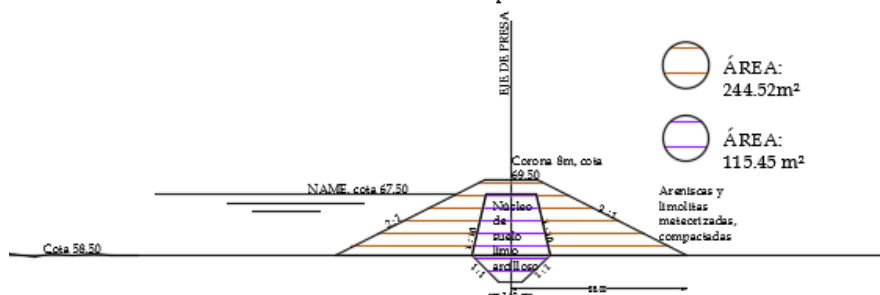


Figura 30.- Perfil 6-6'

ALTERNATIVA 2 - PERFIL 7-7'
 Presa con núcleo impermeable de 20 m de altura

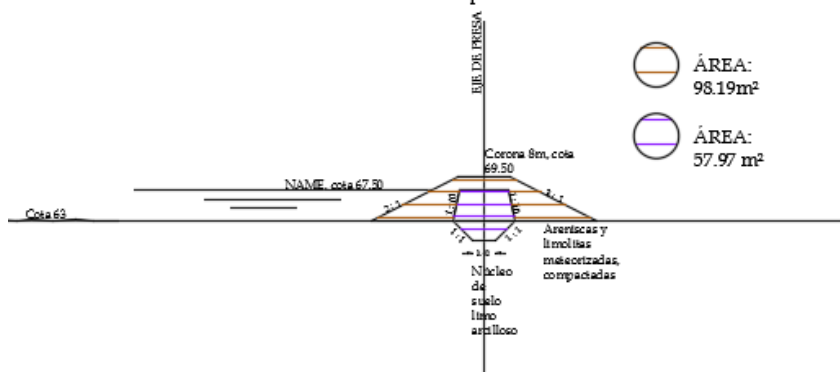


Figura 31.- Perfil 7-7'

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 40.71 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 187.73 | 114.22 | 57.4476 | 6561.66 |
| 3 | 461.16 | 324.445 | 77.4933 | 31703.98 |
| 4 | 702.74 | 581.95 | 205.0535 | 151034.86 |
| 5 | 593.86 | 648.3 | 243.1564 | 308673.16 |
| 6 | 244.52 | 419.19 | 74.0366 | 339708.56 |
| 7 | 98.19 | 171.355 | 37.7204 | 346172.14 |

Tabla XVIII.- Cálculo del volumen de espaldón – Alternativa 2

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 11.79 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 95.1 | 53.445 | 57.4476 | 3070.29 |
| 3 | 175.6 | 135.35 | 77.4933 | 13559.01 |
| 4 | 235.22 | 205.41 | 205.0535 | 55679.04 |
| 5 | 208.87 | 222.045 | 243.1564 | 109670.71 |
| 6 | 115.45 | 162.16 | 74.0366 | 121676.48 |
| 7 | 57.97 | 86.71 | 37.7204 | 124947.22 |

Tabla XIX.- Cálculo del volumen de Núcleo impermeable – Alternativa 2

4.1.3 Alternativa 3: Presa de enrocado.

Esta alternativa consiste en la construcción de un cuerpo de presa dotado con un delantal impermeable de suelo arcilloso, el cual debe ser debidamente protegido debido a las cargas hidrostáticas que van a generar erosión al interior de la presa, para esta razón se deben utilizar filtros y drenes que evitan y controlan este eventual proceso erosivo. Esta presa tiene las siguientes dimensiones geométricas: altura de 20 metros, corona de 8 metros, pendientes en los taludes de 2.5:1 en todas sus capas, con excepción de la cortina impermeable que cambia su pendiente a 2:1 después del filtro y a 1:1 en la parte del dentellón.

Esta alternativa de presa cuenta también con una berma de 4 metros ubicada en la cota 57, en ambos taludes.

ALTERNATIVA 3 - PERFIL 1-1'
 Presa con enrocado de 20 m de altura

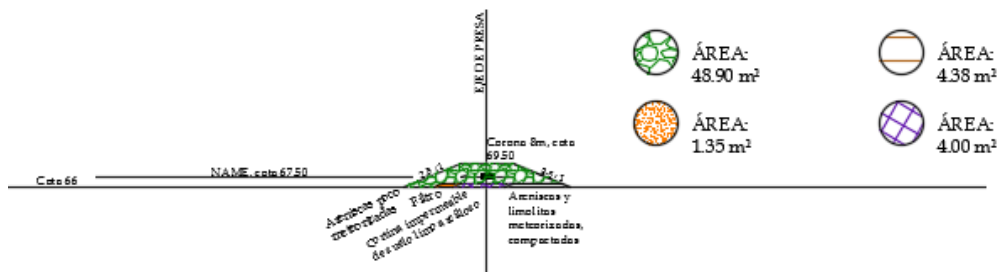


Figura 32.- Perfil 1-1'

ALTERNATIVA 3 - PERFIL 2-2'
 Presa con enrocado de 20 m de altura

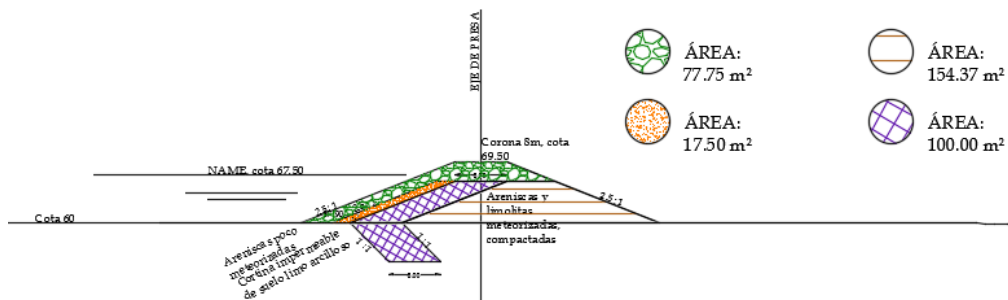


Figura 33.- Perfil 2-2'

ALTERNATIVA 3 - PERFIL 3-3'
 Presa con enrocado de 20 m de altura

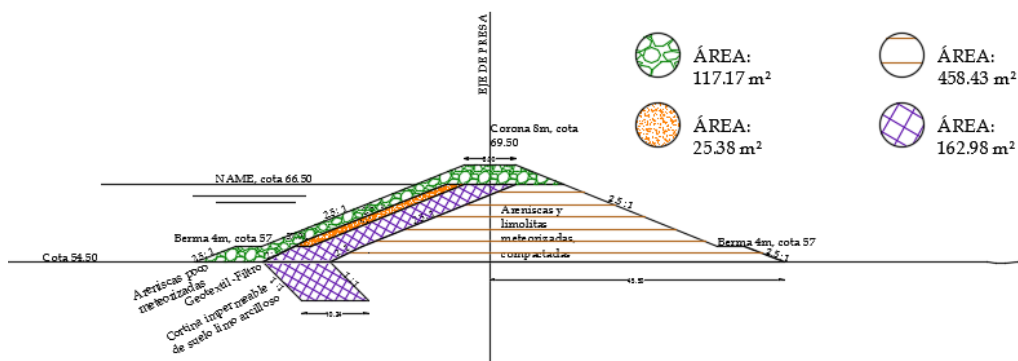


Figura 34.- Perfil 3-3'

ALTERNATIVA 3 - PERFIL 4-4'
Presa con enrocado de 20 m de altura

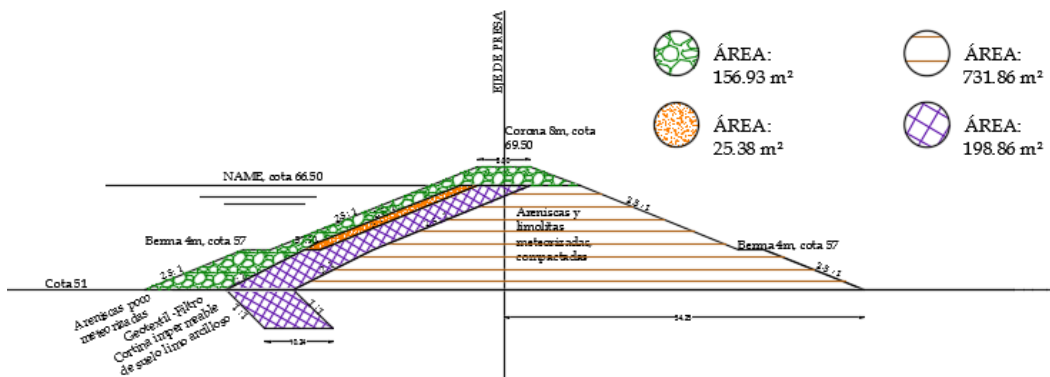


Figura 35.- Perfil 4-4'

ALTERNATIVA 3 - PERFIL 5-5'
Presa con enrocado de 20 m de altura

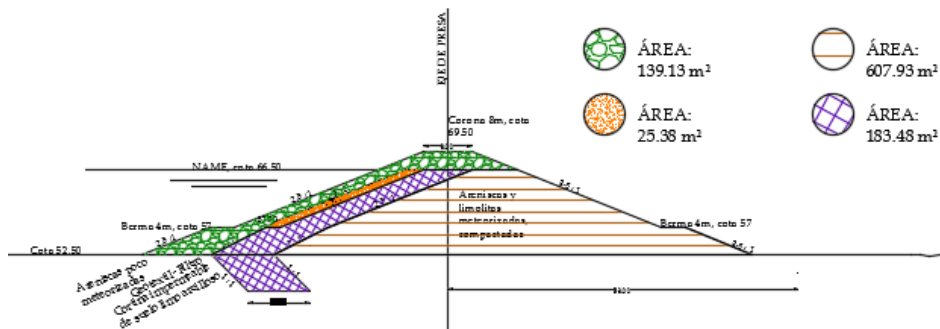


Figura 36.- Perfil 5-5'

ALTERNATIVA 3 - PERFIL 6-6'
Presa con enrocado de 20 m de altura

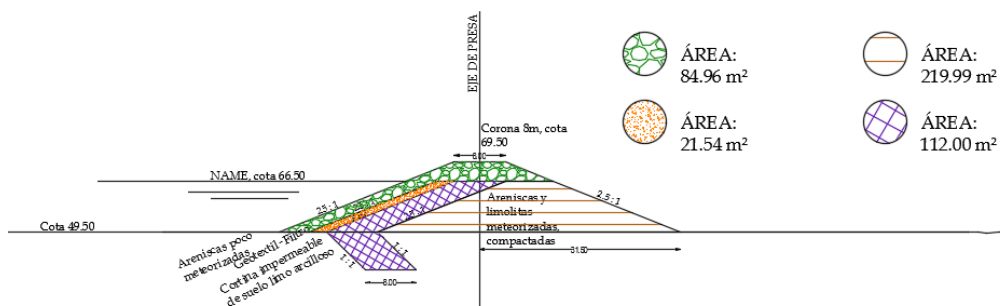


Figura 37.- Perfil 6-6'

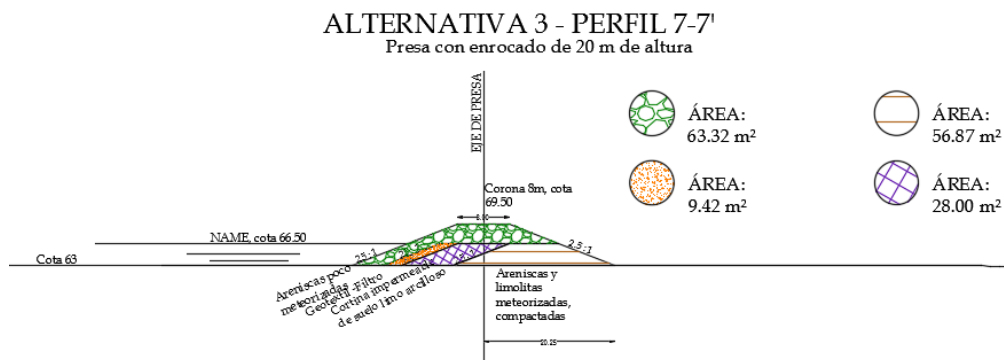


Figura 38.- Perfil 7-7'

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 4.38 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 154.37 | 79.375 | 57.4476 | 4559.90 |
| 3 | 458.43 | 306.4 | 77.4933 | 28303.85 |
| 4 | 731.86 | 595.145 | 205.0535 | 150340.42 |
| 5 | 607.93 | 669.895 | 243.1564 | 313229.67 |
| 6 | 219.99 | 413.96 | 74.0366 | 343877.86 |
| 7 | 56.87 | 138.43 | 37.7204 | 349099.50 |

Tabla XX.- Cálculo del volumen de espaldón – Alternativa 3

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 4.00 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 100.00 | 52 | 57.4476 | 2987.28 |
| 3 | 162.98 | 131.49 | 77.4933 | 13176.87 |
| 4 | 198.86 | 180.92 | 205.0535 | 50275.15 |
| 5 | 183.48 | 191.17 | 243.1564 | 96759.36 |
| 6 | 112.00 | 147.74 | 74.0366 | 107697.52 |
| 7 | 28.00 | 70 | 37.7204 | 110337.95 |

Tabla XXI.- Cálculo del volumen de Cortina impermeable – Alternativa 3

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 1.35 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 17.50 | 9.425 | 57.4476 | 541.44 |
| 3 | 25.38 | 21.44 | 77.4933 | 2202.90 |
| 4 | 25.38 | 25.38 | 205.0535 | 7407.16 |
| 5 | 25.38 | 25.38 | 243.1564 | 13578.47 |
| 6 | 21.54 | 23.46 | 74.0366 | 15315.37 |
| 7 | 9.42 | 15.48 | 37.7204 | 15899.28 |

Tabla XXII.- Cálculo del volumen del Filtro – Alternativa 3

| PERFIL | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | DISTANCIA | VOLUMEN (m ³) |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------|
| 1 | 48.9 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 77.75 | 63.325 | 57.4476 | 3637.87 |
| 3 | 117.17 | 97.46 | 77.4933 | 11190.37 |
| 4 | 156.93 | 137.05 | 205.0535 | 39292.95 |
| 5 | 139.13 | 148.03 | 243.1564 | 75287.39 |
| 6 | 84.96 | 112.045 | 74.0366 | 83582.82 |
| 7 | 63.32 | 74.14 | 37.7204 | 86379.41 |

Tabla XXIII.- Cálculo del volumen de enrocado – Alternativa 3

4.2 Criterios para la selección del tipo de presa.

Con el fin de discernir adecuadamente la mejor alternativa, se resuelve calificar cada alternativa de presa en base a los siguientes criterios propuestos:

1. CONTROL DE FILTRACIONES.-

Este criterio busca evaluar las alternativas en base al control de filtraciones que proveen, otorgando mayor cantidad de puntos a la alternativa que controle de manera más eficiente las filtraciones.

Puntaje máximo: 20 puntos.

2. COSTO DEL PROYECTO.-

Este criterio busca optimizar el costo de la obra, por lo que se otorgará mayor cantidad de puntos a la alternativa más económica.

Puntaje máximo: *18 puntos.*

3. CERCANÍA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.-

Este criterio busca optimizar el costo de la obra, por lo que se otorgará mayor cantidad de puntos a la alternativa con mayor porcentaje de materiales localizados en las cercanías del sitio de presa.

Puntaje máximo: *18 puntos.*

4. FACILIDADES EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO.-

Este criterio busca minimizar el riesgo y dificultades en el proceso constructivo, otorgando mayor cantidad de puntos a la alternativa con mayor facilidad de construcción.

Puntaje máximo: *17 puntos.*

5. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.-

Este criterio busca minimizar el tiempo de construcción lo que a su vez reduce el costo en mano de obra, por lo que se otorgará mayor cantidad de puntos a la alternativa más rápida de construir.

Puntaje máximo: *15 puntos.*

6. AFECTACIÓN AMBIENTAL.-

Este criterio busca minimizar el impacto ambiental de la obra, otorgando mayor cantidad de puntos a la alternativa más sustentable ambientalmente.

Puntaje máximo: *12 puntos*.

| CRITERIO | VALORACIÓN | | | | | | TOTAL |
|---------------|------------|----|----|----|----|---|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Alternativa 1 | 11 | 17 | 17 | 16 | 14 | 8 | 83 |
| Alternativa 2 | 20 | 16 | 12 | 15 | 14 | 7 | 84 |
| Alternativa 3 | 20 | 10 | 12 | 10 | 10 | 6 | 68 |

Tabla XXIV.- Valoración de alternativas

Como se puede observar en la tabla, la alternativa con mayor puntaje es la número dos. Esto indica que satisface de mejor manera los criterios para la selección del tipo de presa en comparación a las otras alternativas en términos generales.

La presa con núcleo impermeable es óptima frente al control de infiltraciones, lo cual es determinante en el proceso de selección.

La presa homogénea satisface de mejor manera la mayoría de criterios pero falla en el control de filtraciones, lo que la hace menos recomendable en el presente estudio debido al gran volumen de embalse.

CAPITULO 5

5. ESTUDIO DE IMPACTO Y MANEJO AMBIENTAL.

5.1 Impactos Ambientales.

La construcción de una presa involucra la realización de varias actividades que podrían resumirse de la siguiente forma:

- a) Trabajos de desbroce para el replanteo de las obras: cuerpo de presa, aliviadero, obra de toma y vaso.

- b) Desbroce y limpia del área de presa. Debido a que el aliviadero y la obra de toma están cercanos al cuerpo de la presa, se debe desbrozar y eliminar la capa de suelo orgánico en toda esta área.

- c) Desbroce del área de vaso. Este trabajo consiste en la eliminación de todos los vegetales en la superficie que se va a generar la inundación (el agua).

- d) Excavación en el área de cimentación de la presa y sus empotramientos. Los materiales excavados deben ser amontonados en un área desbrozada previamente elegida.

- e) Excavación en el canal aliviadero, lo que incluye un volumen aproximado de 11280 m³. Este material excavado debe ser igualmente depositado en el área destinada para acumular materiales sueltos.

5.1.1 Descripción del medio Biótico.

El terreno en el cual se implantará la presa y sus obras adicionales, presenta en la actualidad especies vegetales donde predominan los árboles caducifolios, los cuales pierden sus hojas en época seca, también se encuentran árboles de la familia Moraceae Bignosea y varias especies de ceibas. Entre las especies

vegetales de menor tamaño, la zona presenta musgos, líquenes, laureles, algarrobos, cactus, guayacanes, entre otras.

Es importante destacar que en el área de proyecto prácticamente no existen árboles maderables, únicamente se tienen arbustos y pocos árboles que no tienen valor económico.

El área tiene un porcentaje bastante elevado de pastizales que se muestran secos en la época no lluviosa.

5.1.2 Especies animales.

En la zona del proyecto se encuentran pocas especies animales, siendo las aves la especie con mayor representación en la zona. Se encuentran colibríes como el colibrí abejorro y aves como las cucuves, entre las especies más particulares de la zona, debido a su poca presencia en lugares sin abundante vegetación.

En los recorridos efectuados prácticamente no se constató la existencia de mamíferos, únicamente aves, mariposas y otras clases de insectos.

5.2 Manejo de Impactos Ambientales

La mayor afectación que se va a tener es la eliminación de vegetales, diferentes plantas, arbustos, árboles que serán eliminados en las áreas de implantación de las obras. Una solución compensatoria de este impacto será auspiciar a la reforestación.

Un aspecto fundamental para el medio biótico son suelos superficiales ricos en nutrientes. Estos materiales deberán ser almacenados por separado con la finalidad de transportarlos a lugares carentes de suelo y así favorecer la reforestación.

La presencia de agua embalsada, si bien inicialmente se elimina la vegetación, constituye una solución para favorecer la revegetación. Dado que en áreas muy cercanas al proyecto se observa la existencia de abundante caña de guadúa, esta gramínea puede ser cultivada rodeando la lámina del embalse de tal manera de disponerse de un recurso renovable, que puede generar inclusive rentas económicas y puede constituirse además en un excelente controlador de los procesos erosivos de los materiales que desciendan de las partes altas.

5.3 Impacto Socioeconómico

Como se ha podido constatar en numerosos lugares en donde han sido construidos proyectos de presa, la existencia de agua embalsada en un lago favorece numerosas actividades económicas de beneficio social que pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) Agua para potabilización.
- b) Agua para incorporar riego y por tanto, producción agrícola.
- c) Agua para favorecer la reforestación.
- d) En el embalse pueden sembrarse especies de peces en concordancia con ese medio natural.

Dado que en el sector existen 5312 habitantes aproximadamente, serán estos los directamente favorecidos por la presencia del agua, por lo que además podrán mejorar sus ingresos como agricultores.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

1. Las características topográficas son convenientes para emplazar el cuerpo de presa y las obras adicionales, como lo son la toma y el aliviadero.
2. Se investigó las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio de presa obteniéndose los datos del terreno que se necesitan para los análisis de estabilidad de la obra. Las condiciones geológicas y geotécnicas encontradas, permiten realizar el diseño de una presa de tierra, de tres diferentes tipos.
3. Se determinan tres alternativas de presa, presa homogénea, presa zonada con núcleo impermeable y presa con enrocado. Se obtuvo

los volúmenes de los terraplenes para cada alternativa así como los respectivos análisis de estabilidad.

4. Se efectuaron los diseños de cada alternativa de presa a nivel de pre factibilidad, especificándose la geometría de la sección de la presa, las pendientes de los taludes y los materiales integrantes del cuerpo de presa.
5. Se analizaron los correspondientes análisis de estabilidad de los tres tipos de presa prediseñados, determinándose que son estables en condiciones críticas.
6. Se estableció un análisis para elegir la alternativa más conveniente, para lo cual se planteó previamente criterios de selección.
7. Se efectuó un análisis de impacto ambiental y se estudiaron las acciones para la mitigación de los impactos negativos.
8. Se demuestra mediante el diseño de la obra de toma, que la parroquia San Pablo de Pueblo Nuevo, podrá tener un suministro de agua para riego o potabilización proveniente del embalse que se

propone construir, el cual estará en capacidad de dotar agua a la comunidad en épocas de sequía.

6.2 Recomendaciones.

1. Las investigaciones realizadas en la presente etapa, deben ser profundizadas tanto en información básica, como en los análisis del comportamiento de los diferentes tipos de presa.
2. Dado que se ha propuesto elegir la alternativa de una presa zonada, dotada de un núcleo impermeable de arcilla, con el correspondiente dentellón en el depósito aluvial, además con espaldones de suelos limo-arenosos; se deben realizar la suficiente cantidad de calicatas en los préstamos de materiales de construcción. Así mismo, se deben describir las diferentes capas de suelo y de roca que se encuentren y finalmente tomar muestras de los materiales.
3. Debe analizarse ensayos del laboratorio con las muestras para determinar las propiedades de resistencia al portante y al cortante, además determinar la permeabilidad de los suelos compactados, tanto en el núcleo como en los espaldones y de los drenes.

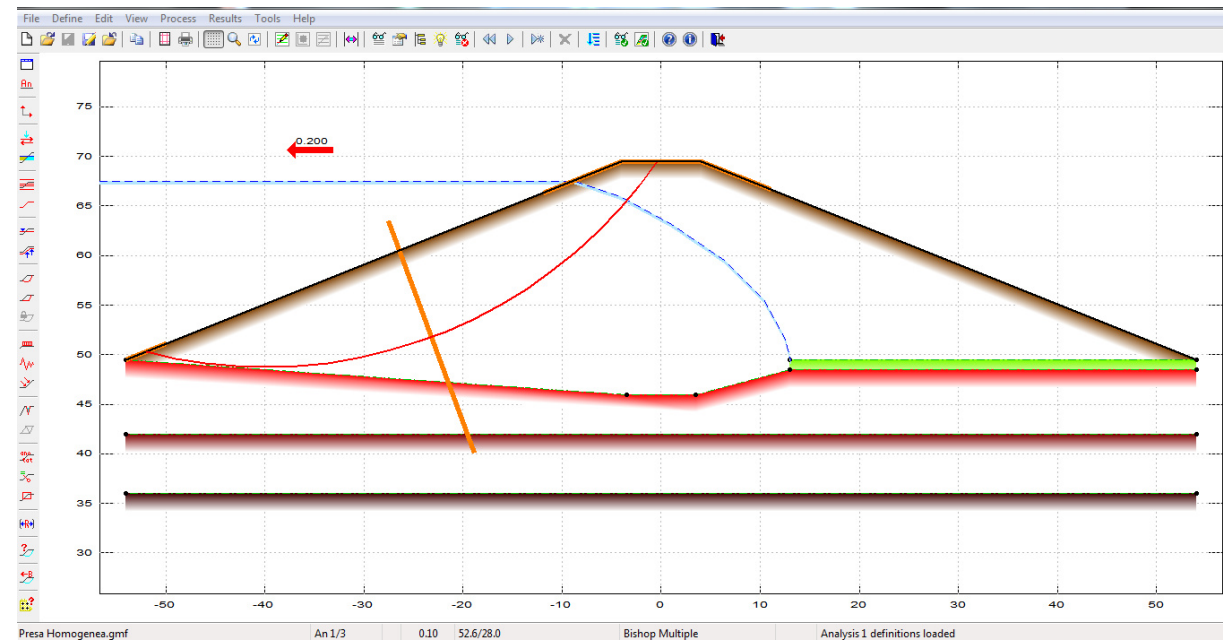
4. Deben realizarse perforaciones y sondajes geofísicos en los empotramientos y en la cimentación de la presa.
5. La información topográfica debe tener mayor precisión efectuando un levantamiento en el terreno con la suficiente información como para obtener planos con curvas de nivel cada metro y por otra parte perfiles longitudinales y transversales detallados.
6. Mediante los parámetros obtenidos, deben realizarse cálculos del comportamiento de la presa a las deformaciones (asentamientos), lo cual también debe ser evaluado en la cimentación.
7. Al efectuarse los diseños definitivos, deben realizarse análisis dinámicos, teniendo en cuenta las normas sísmicas actualmente vigente en el Ecuador.
8. Finalmente, también debe realizarse las especificaciones técnicas y el presupuesto de obras, teniéndose en cuenta adicionalmente el manejo ambiental.

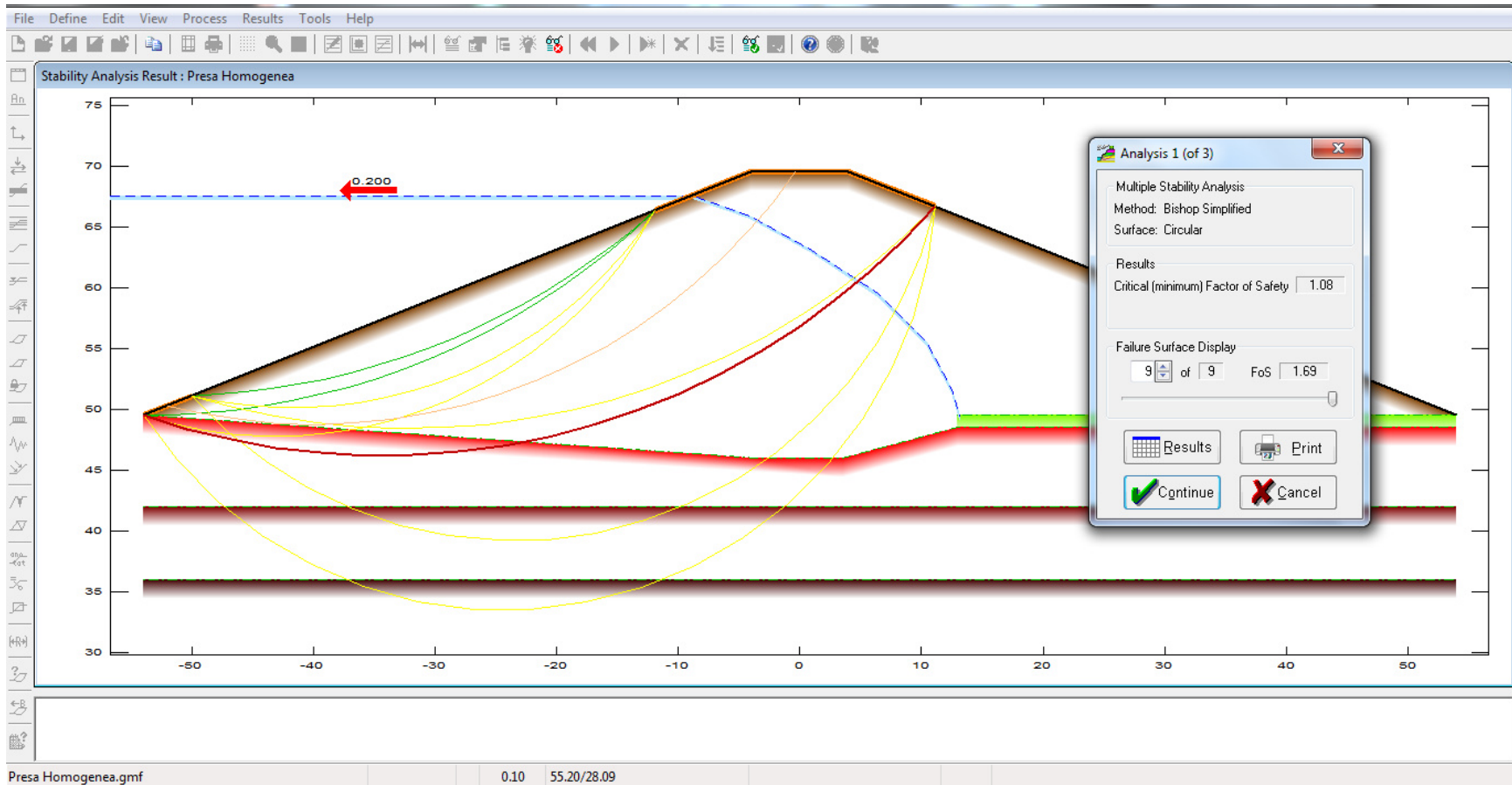
ANEXOS

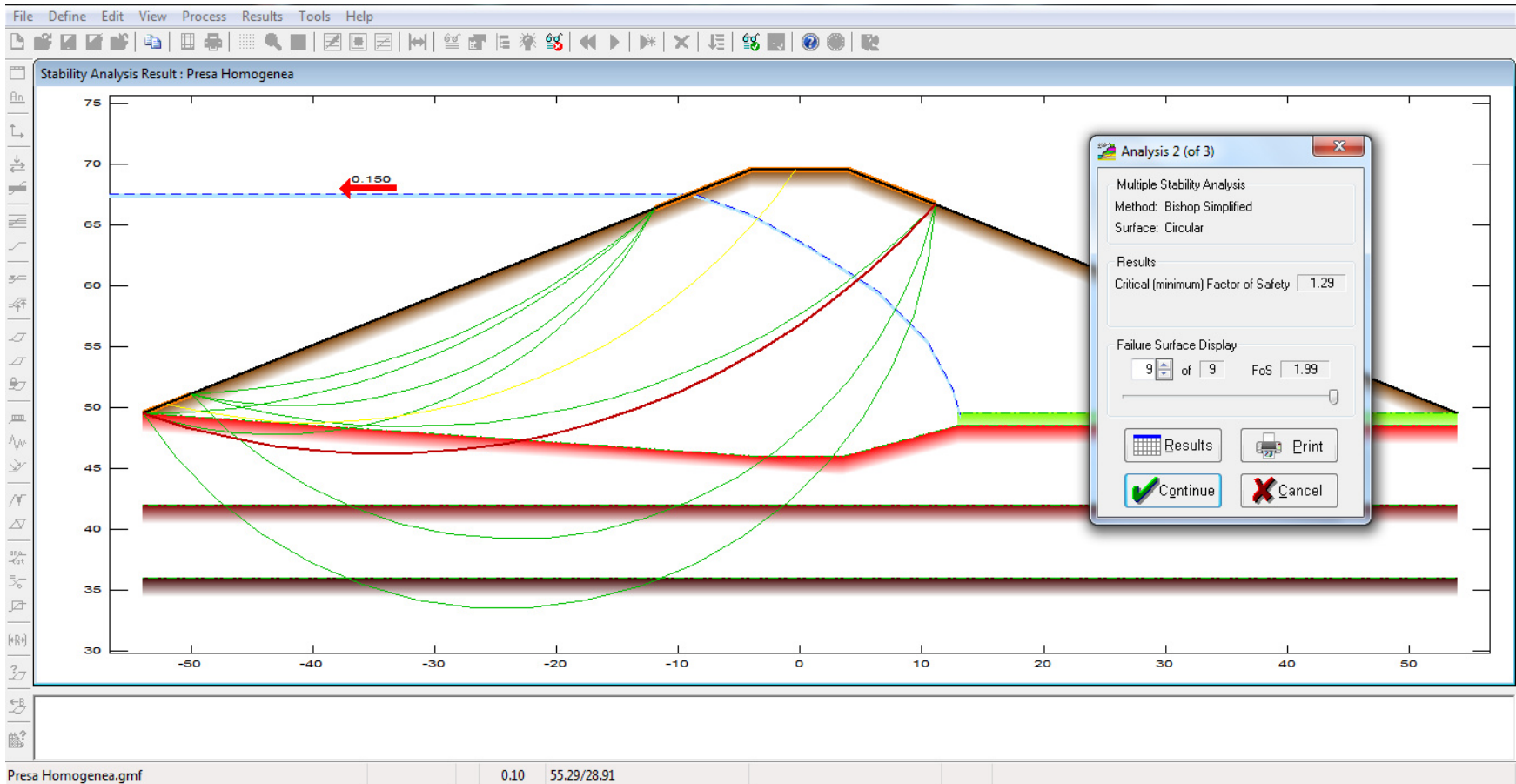
ANEXO A

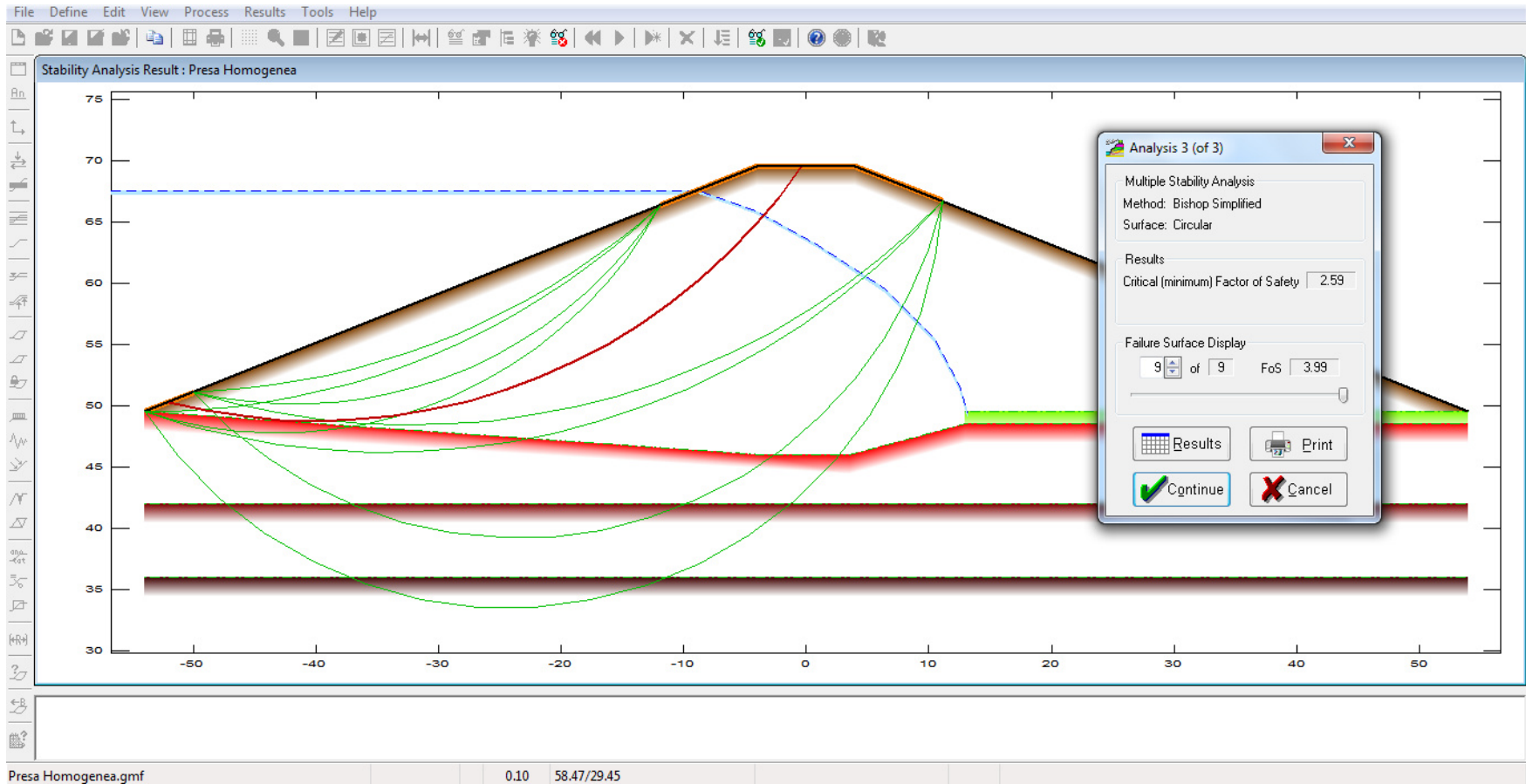
Resultado del Software Galena.

➤ PRESA HOMOGÉNEA:









Project:

File: F:\galena\Presa Homogenea.gmf
09:05:37

Processed: 18 Aug 2015

DATA: Analysis 1 - Presa Homogenea

Material Properties (6 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00  28.0   16.70   Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    2.00  40.0   22.00   Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0   15.20   Auto
Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0   14.80   Auto
Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    27.50  15.4   16.72   Auto
Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    28.75  16.1   17.48   Auto

```

Water Properties

```

-----
Unit weight of water: 9.810          Unit weight of water/medium above ground: 9.810

```

Material Profiles (5 profiles)

```

-----
Profile: 1 (4 points)  Material beneath: 1 - Espaldones
  -54.00  49.50          -4.00  69.50          4.00  69.50          54.00  49.50

```

Profile: 2 (2 points) Material beneath: 2 - Filtro
 13.00 49.50 54.00 49.50
 Profile: 3 (5 points) Material beneath: 3 - Cimiento
 -54.00 49.50 -3.50 46.00 3.50 46.00 13.00 48.50 54.00 48.50
 Profile: 4 (2 points) Material beneath: 5 - Cimiento2
 -54.00 42.00 54.00 42.00
 Profile: 5 (2 points) Material beneath: 6 - Cimiento3
 -54.00 36.00 54.00 36.00

Slope Surface (4 points)

 -54.00 49.50 -4.00 69.50 4.00 69.50 54.00 49.50

Phreatic Surface (9 points)

 -75.00 67.50 -9.00 67.50 -9.00 67.60 -4.10 65.90 1.00 63.10
 6.40 59.50 10.40 55.50 12.50 51.60 13.10 49.40

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

Intersects: XL: -52.00 YL: 50.30 XR: -0.40 YR: 69.50
 Centre: XC: -39.91 YC: 96.75 Radius: R: 48.00

Earthquake Force

Pseudo-static earthquake (seismic) coefficient: 0.200

Variable Restraints

Parameter descriptor: XL XR R
 Range of variation: 4.00 23.00 25.00
 Trial positions within range: 2 2 2

 RESULTS: Analysis 1 - Presa Homogenea

Bishop Simplified Method of Analysis - Circular Failure Surface

 Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 1.12

There were: 9 successful analyses from a total of 9 trial circles

Critical (minimum) Factor of Safety: 1.08

Circle and Results Summary (Lowest 9 Factor of Safety circles)

| Circle | X-Left | Y-Left | X-Right | Y-Right | X-Centre | Y-Centre | Radius | FoS |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1 | -54.00 | 49.50 | 11.10 | 66.66 | -34.26 | 106.69 | 60.50 | 1.083 |
| 2 | -52.00 | 50.30 | -0.40 | 69.50 | -39.91 | 96.75 | 48.00 | 1.116 |
| 3 | -50.00 | 51.10 | 11.10 | 66.66 | -32.19 | 108.92 | 60.50 | 1.201 |
| 4 | -54.00 | 49.50 | -11.90 | 66.34 | -43.10 | 83.28 | 35.50 | 1.246 |
| 5 | -50.00 | 51.10 | 11.10 | 66.66 | -23.48 | 74.70 | 35.50 | 1.248 |
| 6 | -50.00 | 51.10 | -11.90 | 66.34 | -41.71 | 85.62 | 35.50 | 1.318 |
| 7 | -54.00 | 49.50 | 11.10 | 66.66 | -24.32 | 68.98 | 35.50 | 1.345 |
| 8 | -54.00 | 49.50 | -11.90 | 66.34 | -53.78 | 110.00 | 60.50 | 1.488 |
| 9 | -50.00 | 51.10 | -11.90 | 66.34 | -52.09 | 111.56 | 60.50 | 1.686 |

Critical Failure Circle

 Intersects: XL: -54.00 YL: 49.50 XR: 11.10 YR: 66.66
 Centre: XC: -34.26 YC: 106.69 Radius: R: 60.50

Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -54.00 | 49.50 | -50.41 | 48.39 | -46.76 | 47.50 | -43.06 | 46.83 | -39.33 | 46.40 |
| -35.58 | 46.20 | -31.82 | 46.24 | -28.08 | 46.51 | -24.35 | 47.01 | -20.67 | 47.74 |
| -17.03 | 48.70 | -13.47 | 49.88 | -9.98 | 51.28 | -6.59 | 52.89 | -3.30 | 54.71 |
| -0.14 | 56.73 | 2.90 | 58.95 | 5.79 | 61.35 | 8.53 | 63.92 | 11.10 | 66.66 |

Slice Geometry and Properties (41 slices)

| Slice | X-S | ----- Base ----- | | | | | | PoreWater | Normal | Test | | |
|-------|--------|------------------|-------|-------|--------|------|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Weight | Force | Stress | Factor |
| 1 | -54.00 | 1.14 | -17.3 | 1.79 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 18.51 | 336.85 | 191.42 | 1.13 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|-------|------|------|---|-------|------|--------|--------|--------|------|
| 2 | -52.21 | 3.43 | -17.3 | 1.79 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 55.53 | 347.11 | 205.64 | 1.13 |
| 3 | -50.41 | 5.73 | -13.7 | 1.83 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 92.81 | 356.35 | 216.93 | 1.09 |
| 4 | -48.59 | 7.87 | -13.7 | 1.83 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 127.75 | 364.55 | 229.37 | 1.09 |
| 5 | -46.76 | 10.05 | -10.1 | 1.85 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 163.39 | 371.70 | 238.72 | 1.06 |
| 6 | -44.91 | 12.03 | -10.1 | 1.85 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 195.89 | 377.79 | 249.34 | 1.06 |
| 7 | -43.06 | 14.04 | -6.6 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 228.95 | 382.83 | 256.76 | 1.03 |
| 8 | -41.20 | 15.83 | -6.6 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 258.68 | 386.80 | 265.55 | 1.03 |
| 9 | -39.33 | 17.61 | -3.0 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 288.33 | 389.70 | 271.04 | 1.01 |
| 10 | -37.46 | 19.21 | -3.0 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 315.03 | 391.52 | 277.98 | 1.01 |
| 11 | -35.58 | 20.72 | 0.5 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 340.55 | 392.28 | 281.54 | 1.00 |
| 12 | -33.70 | 22.10 | 0.5 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 363.98 | 391.95 | 286.63 | 1.00 |
| 13 | -31.82 | 23.31 | 4.1 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 384.76 | 390.56 | 288.25 | 0.99 |
| 14 | -29.95 | 24.46 | 4.1 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 404.76 | 388.09 | 291.50 | 0.99 |
| 15 | -28.08 | 25.34 | 7.6 | 1.86 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 420.33 | 384.55 | 291.19 | 0.98 |
| 16 | -26.21 | 26.26 | 7.6 | 1.86 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 436.78 | 379.94 | 292.60 | 0.98 |
| 17 | -24.35 | 23.75 | 11.2 | 1.64 | 1.67 | 3 | 25.00 | 14.0 | 396.10 | 332.64 | 290.40 | 0.97 |
| 18 | -22.72 | 30.51 | 11.2 | 2.05 | 2.09 | 1 | 15.00 | 28.0 | 509.53 | 409.17 | 286.84 | 0.93 |
| 19 | -20.67 | 27.65 | 14.8 | 1.82 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 461.68 | 359.77 | 281.13 | 0.92 |
| 20 | -18.85 | 28.10 | 14.8 | 1.82 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 469.19 | 350.94 | 277.94 | 0.92 |
| 21 | -17.03 | 27.91 | 18.3 | 1.78 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 466.12 | 341.09 | 270.39 | 0.91 |
| 22 | -15.25 | 28.13 | 18.3 | 1.78 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 469.78 | 330.21 | 265.32 | 0.91 |
| 23 | -13.47 | 27.60 | 21.9 | 1.74 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 460.96 | 318.31 | 255.93 | 0.90 |
| 24 | -11.72 | 27.60 | 21.9 | 1.74 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 460.88 | 305.41 | 249.05 | 0.90 |
| 25 | -9.98 | 15.49 | 25.4 | 0.98 | 1.09 | 1 | 15.00 | 28.0 | 258.69 | 170.37 | 239.73 | 0.90 |
| 26 | -9.00 | 18.95 | 25.4 | 1.21 | 1.34 | 1 | 15.00 | 28.0 | 316.39 | 201.23 | 235.88 | 0.90 |
| 27 | -7.79 | 18.84 | 25.4 | 1.21 | 1.34 | 1 | 15.00 | 28.0 | 314.55 | 188.23 | 232.80 | 0.90 |
| 28 | -6.59 | 19.26 | 29.0 | 1.24 | 1.42 | 1 | 15.00 | 28.0 | 321.57 | 185.75 | 225.08 | 0.90 |
| 29 | -5.34 | 19.02 | 29.0 | 1.24 | 1.42 | 1 | 15.00 | 28.0 | 317.57 | 170.11 | 220.20 | 0.90 |
| 30 | -4.10 | 11.97 | 29.0 | 0.80 | 0.91 | 1 | 15.00 | 28.0 | 199.95 | 100.12 | 214.47 | 0.90 |
| 31 | -3.30 | 22.61 | 32.6 | 1.58 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 377.62 | 180.77 | 197.81 | 0.90 |
| 32 | -1.72 | 21.01 | 32.6 | 1.58 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 350.89 | 146.12 | 180.56 | 0.90 |
| 33 | -0.14 | 14.03 | 36.1 | 1.14 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 234.26 | 86.38 | 160.62 | 0.91 |
| 34 | 1.00 | 21.35 | 36.1 | 1.90 | 2.35 | 1 | 15.00 | 28.0 | 356.61 | 97.11 | 141.70 | 0.91 |
| 35 | 2.90 | 11.11 | 39.7 | 1.10 | 1.43 | 1 | 15.00 | 28.0 | 185.57 | 28.92 | 117.47 | 0.92 |
| 36 | 4.00 | 7.55 | 39.7 | 0.83 | 1.07 | 1 | 15.00 | 28.0 | 126.10 | 6.52 | 101.93 | 0.92 |
| 37 | 4.83 | 7.74 | 39.7 | 0.96 | 1.25 | 1 | 15.00 | 28.0 | 129.19 | 0.00 | 87.10 | 0.92 |
| 38 | 5.79 | 8.92 | 43.2 | 1.37 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 148.98 | 0.00 | 65.57 | 0.94 |
| 39 | 7.16 | 6.41 | 43.2 | 1.37 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 107.06 | 0.00 | 44.61 | 0.94 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|--------|--------------|-------|-------|---|-------------|----------|-------|------|-------|------|
| 40 | 8.53 | 3.63 | 46.8 | 1.29 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 60.68 | 0.00 | 21.30 | 0.96 |
| 41 | 9.81 | 1.21 | 46.8 | 1.29 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 20.22 | 0.00 | 0.64 | 0.96 |
| | | ----- | | | ----- | | | | ----- | | | |
| | X-S Area: | 699.46 | Path Length: | 71.38 | | | X-S Weight: | 11616.17 | | | | |

DATA: Analysis 2 - Presa Homogenea

Material Properties (6 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00  28.0    16.70    Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
     2.00  40.0    22.00    Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0    15.20    Auto
Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0    14.80    Auto
Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    27.50  15.4    16.72    Auto
Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    28.75  16.1    17.48    Auto

```

Water Properties

```

-----
Unit weight of water: 9.810          Unit weight of water/medium above ground: 9.810

```

Material Profiles (5 profiles)

```

-----
Profile: 1 (4 points)  Material beneath: 1 - Espaldones
  -54.00   49.50       -4.00   69.50       4.00   69.50       54.00   49.50

```

Profile: 2 (2 points) Material beneath: 2 - Filtro
 13.00 49.50 54.00 49.50
 Profile: 3 (5 points) Material beneath: 3 - Cimiento
 -54.00 49.50 -3.50 46.00 3.50 46.00 13.00 48.50 54.00 48.50
 Profile: 4 (2 points) Material beneath: 5 - Cimiento2
 -54.00 42.00 54.00 42.00
 Profile: 5 (2 points) Material beneath: 6 - Cimiento3
 -54.00 36.00 54.00 36.00

Slope Surface (4 points)

 -54.00 49.50 -4.00 69.50 4.00 69.50 54.00 49.50

Phreatic Surface (9 points)

 -75.00 67.50 -9.00 67.50 -9.00 67.60 -4.10 65.90 1.00 63.10
 6.40 59.50 10.40 55.50 12.50 51.60 13.10 49.40

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

Intersects: XL: -52.00 YL: 50.30 XR: -0.40 YR: 69.50
 Centre: XC: -39.91 YC: 96.75 Radius: R: 48.00

Earthquake Force

Pseudo-static earthquake (seismic) coefficient: 0.150

Variable Restraints

Parameter descriptor: XL XR R
 Range of variation: 4.00 23.00 25.00
 Trial positions within range: 2 2 2

 RESULTS: Analysis 2 - Presa Homogenea

Bishop Simplified Method of Analysis - Circular Failure Surface

 Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 1.31

There were: 9 successful analyses from a total of 9 trial circles

Critical (minimum) Factor of Safety: 1.29

Circle and Results Summary (Lowest 9 Factor of Safety circles)

| Circle | X-Left | Y-Left | X-Right | Y-Right | X-Centre | Y-Centre | Radius | FoS |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1 | -54.00 | 49.50 | 11.10 | 66.66 | -34.26 | 106.69 | 60.50 | 1.295 |
| 2 | -52.00 | 50.30 | -0.40 | 69.50 | -39.91 | 96.75 | 48.00 | 1.314 |
| 3 | -50.00 | 51.10 | 11.10 | 66.66 | -32.19 | 108.92 | 60.50 | 1.434 |
| 4 | -54.00 | 49.50 | -11.90 | 66.34 | -43.10 | 83.28 | 35.50 | 1.472 |
| 5 | -50.00 | 51.10 | 11.10 | 66.66 | -23.48 | 74.70 | 35.50 | 1.478 |
| 6 | -50.00 | 51.10 | -11.90 | 66.34 | -41.71 | 85.62 | 35.50 | 1.558 |
| 7 | -54.00 | 49.50 | 11.10 | 66.66 | -24.32 | 68.98 | 35.50 | 1.585 |
| 8 | -54.00 | 49.50 | -11.90 | 66.34 | -53.78 | 110.00 | 60.50 | 1.757 |
| 9 | -50.00 | 51.10 | -11.90 | 66.34 | -52.09 | 111.56 | 60.50 | 1.987 |

Critical Failure Circle

 Intersects: XL: -54.00 YL: 49.50 XR: 11.10 YR: 66.66
 Centre: XC: -34.26 YC: 106.69 Radius: R: 60.50

Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -54.00 | 49.50 | -50.41 | 48.39 | -46.76 | 47.50 | -43.06 | 46.83 | -39.33 | 46.40 |
| -35.58 | 46.20 | -31.82 | 46.24 | -28.08 | 46.51 | -24.35 | 47.01 | -20.67 | 47.74 |
| -17.03 | 48.70 | -13.47 | 49.88 | -9.98 | 51.28 | -6.59 | 52.89 | -3.30 | 54.71 |
| -0.14 | 56.73 | 2.90 | 58.95 | 5.79 | 61.35 | 8.53 | 63.92 | 11.10 | 66.66 |

Slice Geometry and Properties (41 slices)

| Slice | X-S | Base | | | | | | | PoreWater | Normal | Test | |
|-------|--------|------|-------|-------|--------|------|----------|------|-----------|--------|--------|------|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Force | Stress | Factor | |
| 1 | -54.00 | 1.14 | -17.3 | 1.79 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 18.51 | 336.85 | 190.02 | 1.11 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|-------|------|------|---|-------|------|--------|--------|--------|------|
| 2 | -52.21 | 3.43 | -17.3 | 1.79 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 55.53 | 347.11 | 204.14 | 1.11 |
| 3 | -50.41 | 5.73 | -13.7 | 1.83 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 92.81 | 356.35 | 215.70 | 1.08 |
| 4 | -48.59 | 7.87 | -13.7 | 1.83 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 127.75 | 364.55 | 228.06 | 1.08 |
| 5 | -46.76 | 10.05 | -10.1 | 1.85 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 163.39 | 371.70 | 237.74 | 1.05 |
| 6 | -44.91 | 12.03 | -10.1 | 1.85 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 195.89 | 377.79 | 248.31 | 1.05 |
| 7 | -43.06 | 14.04 | -6.6 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 228.95 | 382.83 | 256.08 | 1.03 |
| 8 | -41.20 | 15.83 | -6.6 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 258.68 | 386.80 | 264.84 | 1.03 |
| 9 | -39.33 | 17.61 | -3.0 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 288.33 | 389.70 | 270.71 | 1.01 |
| 10 | -37.46 | 19.21 | -3.0 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 315.03 | 391.52 | 277.64 | 1.01 |
| 11 | -35.58 | 20.72 | 0.5 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 340.55 | 392.28 | 281.60 | 1.00 |
| 12 | -33.70 | 22.10 | 0.5 | 1.88 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 363.98 | 391.95 | 286.69 | 1.00 |
| 13 | -31.82 | 23.31 | 4.1 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 384.76 | 390.56 | 288.73 | 0.99 |
| 14 | -29.95 | 24.46 | 4.1 | 1.87 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 404.76 | 388.09 | 291.99 | 0.99 |
| 15 | -28.08 | 25.34 | 7.6 | 1.86 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 420.33 | 384.55 | 292.11 | 0.98 |
| 16 | -26.21 | 26.26 | 7.6 | 1.86 | 1.88 | 3 | 25.00 | 14.0 | 436.78 | 379.94 | 293.54 | 0.98 |
| 17 | -24.35 | 23.75 | 11.2 | 1.64 | 1.67 | 3 | 25.00 | 14.0 | 396.10 | 332.64 | 291.77 | 0.98 |
| 18 | -22.72 | 30.51 | 11.2 | 2.05 | 2.09 | 1 | 15.00 | 28.0 | 509.53 | 409.17 | 288.60 | 0.94 |
| 19 | -20.67 | 27.65 | 14.8 | 1.82 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 461.68 | 359.77 | 283.38 | 0.93 |
| 20 | -18.85 | 28.10 | 14.8 | 1.82 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 469.19 | 350.94 | 280.22 | 0.93 |
| 21 | -17.03 | 27.91 | 18.3 | 1.78 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 466.12 | 341.09 | 273.12 | 0.93 |
| 22 | -15.25 | 28.13 | 18.3 | 1.78 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 469.78 | 330.21 | 268.08 | 0.93 |
| 23 | -13.47 | 27.60 | 21.9 | 1.74 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 460.96 | 318.31 | 259.11 | 0.93 |
| 24 | -11.72 | 27.60 | 21.9 | 1.74 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 460.88 | 305.41 | 252.22 | 0.93 |
| 25 | -9.98 | 15.49 | 25.4 | 0.98 | 1.09 | 1 | 15.00 | 28.0 | 258.69 | 170.37 | 243.28 | 0.93 |
| 26 | -9.00 | 18.95 | 25.4 | 1.21 | 1.34 | 1 | 15.00 | 28.0 | 316.39 | 201.23 | 239.50 | 0.93 |
| 27 | -7.79 | 18.84 | 25.4 | 1.21 | 1.34 | 1 | 15.00 | 28.0 | 314.55 | 188.23 | 236.63 | 0.93 |
| 28 | -6.59 | 19.26 | 29.0 | 1.24 | 1.42 | 1 | 15.00 | 28.0 | 321.57 | 185.75 | 229.52 | 0.93 |
| 29 | -5.34 | 19.02 | 29.0 | 1.24 | 1.42 | 1 | 15.00 | 28.0 | 317.57 | 170.11 | 224.87 | 0.93 |
| 30 | -4.10 | 11.97 | 29.0 | 0.80 | 0.91 | 1 | 15.00 | 28.0 | 199.95 | 100.12 | 219.28 | 0.93 |
| 31 | -3.30 | 22.61 | 32.6 | 1.58 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 377.62 | 180.77 | 203.08 | 0.94 |
| 32 | -1.72 | 21.01 | 32.6 | 1.58 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 350.89 | 146.12 | 185.87 | 0.94 |
| 33 | -0.14 | 14.03 | 36.1 | 1.14 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 234.26 | 86.38 | 166.36 | 0.95 |
| 34 | 1.00 | 21.35 | 36.1 | 1.90 | 2.35 | 1 | 15.00 | 28.0 | 356.61 | 97.11 | 147.49 | 0.95 |
| 35 | 2.90 | 11.11 | 39.7 | 1.10 | 1.43 | 1 | 15.00 | 28.0 | 185.57 | 28.92 | 123.70 | 0.97 |
| 36 | 4.00 | 7.55 | 39.7 | 0.83 | 1.07 | 1 | 15.00 | 28.0 | 126.10 | 6.52 | 108.08 | 0.97 |
| 37 | 4.83 | 7.74 | 39.7 | 0.96 | 1.25 | 1 | 15.00 | 28.0 | 129.19 | 0.00 | 92.82 | 0.97 |
| 38 | 5.79 | 8.92 | 43.2 | 1.37 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 148.98 | 0.00 | 70.67 | 0.99 |
| 39 | 7.16 | 6.41 | 43.2 | 1.37 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 107.06 | 0.00 | 48.58 | 0.99 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|--------|--------------|-------|-------|---|-------------|----------|-------|------|-------|------|
| 40 | 8.53 | 3.63 | 46.8 | 1.29 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 60.68 | 0.00 | 24.25 | 1.02 |
| 41 | 9.81 | 1.21 | 46.8 | 1.29 | 1.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 20.22 | 0.00 | 2.36 | 1.02 |
| | | ----- | | | ----- | | | | ----- | | | |
| | X-S Area: | 699.46 | Path Length: | 71.38 | | | X-S Weight: | 11616.17 | | | | |

DATA: Analysis 3 - Presa Homogenea

Material Properties (6 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00  28.0    16.70    Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
     2.00  40.0    22.00    Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0    15.20    Auto
Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0    14.80    Auto
Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    27.50  15.4    16.72    Auto
Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    28.75  16.1    17.48    Auto

```

Water Properties

```

-----
Unit weight of water: 9.810          Unit weight of water/medium above ground: 9.810

```

Material Profiles (5 profiles)

```

-----
Profile: 1 (4 points)  Material beneath: 1 - Espaldones
  -54.00   49.50        -4.00   69.50        4.00   69.50        54.00   49.50

```

Profile: 2 (2 points) Material beneath: 2 - Filtro
 13.00 49.50 54.00 49.50
 Profile: 3 (5 points) Material beneath: 3 - Cimiento
 -54.00 49.50 -3.50 46.00 3.50 46.00 13.00 48.50 54.00 48.50
 Profile: 4 (2 points) Material beneath: 5 - Cimiento2
 -54.00 42.00 54.00 42.00
 Profile: 5 (2 points) Material beneath: 6 - Cimiento3
 -54.00 36.00 54.00 36.00

Slope Surface (4 points)

 -54.00 49.50 -4.00 69.50 4.00 69.50 54.00 49.50

Phreatic Surface (9 points)

 -75.00 67.50 -9.00 67.50 -9.00 67.60 -4.10 65.90 1.00 63.10
 6.40 59.50 10.40 55.50 12.50 51.60 13.10 49.40

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

Intersects: XL: -52.00 YL: 50.30 XR: -0.40 YR: 69.50
 Centre: XC: -39.91 YC: 96.75 Radius: R: 48.00

Variable Restraints

Parameter descriptor: XL XR R
 Range of variation: 4.00 23.00 25.00
 Trial positions within range: 2 2 2

 RESULTS: Analysis 3 - Presa Homogenea

Bishop Simplified Method of Analysis - Circular Failure Surface

 Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques
 Factor of Safety for initial failure circle approximation: 2.59

There were: 9 successful analyses from a total of 9 trial circles

Critical (minimum) Factor of Safety: 2.59

Circle and Results Summary (Lowest 9 Factor of Safety circles)

| Circle | X-Left | Y-Left | X-Right | Y-Right | X-Centre | Y-Centre | Radius | FoS |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1 | -52.00 | 50.30 | -0.40 | 69.50 | -39.91 | 96.75 | 48.00 | 2.593 |
| 2 | -54.00 | 49.50 | 11.10 | 66.66 | -34.26 | 106.69 | 60.50 | 2.814 |
| 3 | -54.00 | 49.50 | -11.90 | 66.34 | -43.10 | 83.28 | 35.50 | 2.983 |
| 4 | -50.00 | 51.10 | 11.10 | 66.66 | -23.48 | 74.70 | 35.50 | 3.126 |
| 5 | -50.00 | 51.10 | 11.10 | 66.66 | -32.19 | 108.92 | 60.50 | 3.133 |
| 6 | -50.00 | 51.10 | -11.90 | 66.34 | -41.71 | 85.62 | 35.50 | 3.159 |
| 7 | -54.00 | 49.50 | 11.10 | 66.66 | -24.32 | 68.98 | 35.50 | 3.281 |
| 8 | -54.00 | 49.50 | -11.90 | 66.34 | -53.78 | 110.00 | 60.50 | 3.546 |
| 9 | -50.00 | 51.10 | -11.90 | 66.34 | -52.09 | 111.56 | 60.50 | 3.987 |

Critical Failure Circle

Intersects: XL: -52.00 YL: 50.30 XR: -0.40 YR: 69.50
 Centre: XC: -39.91 YC: 96.75 Radius: R: 48.00

Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -52.00 | 50.30 | -48.99 | 49.62 | -45.94 | 49.13 | -42.87 | 48.84 | -39.79 | 48.75 |
| -36.70 | 48.86 | -33.63 | 49.17 | -30.59 | 49.67 | -27.58 | 50.36 | -24.63 | 51.25 |
| -21.74 | 52.33 | -18.92 | 53.59 | -16.19 | 55.03 | -13.56 | 56.64 | -11.03 | 58.41 |
| -8.63 | 60.35 | -6.36 | 62.43 | -4.22 | 64.66 | -2.23 | 67.02 | -0.40 | 69.50 |

Slice Geometry and Properties (40 slices)

| Slice | X-S | Base | | | | | | | PoreWater | Normal | Test |
|-------|--------|------|-------|-------|--------|------|----------|------|-----------|--------|--------|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Force | Stress | Factor |
| 1 | -52.00 | 0.71 | -12.7 | 1.50 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 11.84 | 262.89 | 1.08 |
| 2 | -50.50 | 2.13 | -12.7 | 1.50 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 35.52 | 268.04 | 1.08 |
| 3 | -48.99 | 3.52 | -9.1 | 1.52 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 58.79 | 272.45 | 1.05 |
| 4 | -47.47 | 4.82 | -9.1 | 1.52 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 80.47 | 276.13 | 1.05 |
| 5 | -45.94 | 6.10 | -5.4 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 101.79 | 279.06 | 1.02 |
| 6 | -44.41 | 7.26 | -5.4 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 121.26 | 281.24 | 1.02 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|------|------|------|---|-------|------|--------|--------|--------|------|
| 7 | -42.87 | 8.39 | -1.7 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 140.05 | 282.68 | 221.10 | 1.01 |
| 8 | -41.33 | 9.41 | -1.7 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 157.10 | 283.37 | 226.14 | 1.01 |
| 9 | -39.79 | 10.35 | 2.0 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 172.84 | 283.31 | 229.36 | 0.99 |
| 10 | -38.25 | 11.22 | 2.0 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 187.35 | 282.50 | 232.69 | 0.99 |
| 11 | -36.70 | 11.96 | 5.7 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 199.68 | 280.94 | 234.13 | 0.98 |
| 12 | -35.17 | 12.67 | 5.7 | 1.54 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 211.51 | 278.63 | 235.75 | 0.98 |
| 13 | -33.63 | 13.18 | 9.4 | 1.52 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 220.14 | 275.58 | 235.42 | 0.98 |
| 14 | -32.11 | 13.73 | 9.4 | 1.52 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 229.24 | 271.78 | 235.35 | 0.98 |
| 15 | -30.59 | 14.01 | 13.0 | 1.50 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 234.01 | 267.25 | 233.28 | 0.98 |
| 16 | -29.09 | 14.39 | 13.0 | 1.50 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 240.36 | 261.98 | 231.52 | 0.98 |
| 17 | -27.58 | 14.44 | 16.7 | 1.48 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 241.22 | 255.98 | 227.74 | 0.98 |
| 18 | -26.11 | 14.66 | 16.7 | 1.48 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 244.84 | 249.26 | 224.34 | 0.98 |
| 19 | -24.63 | 14.48 | 20.4 | 1.45 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 241.88 | 241.83 | 218.88 | 0.99 |
| 20 | -23.18 | 14.54 | 20.4 | 1.45 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 242.85 | 233.69 | 213.86 | 0.99 |
| 21 | -21.74 | 14.15 | 24.1 | 1.41 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 236.23 | 224.85 | 206.77 | 1.00 |
| 22 | -20.33 | 14.05 | 24.1 | 1.41 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 234.66 | 215.32 | 200.17 | 1.00 |
| 23 | -18.92 | 13.46 | 27.8 | 1.36 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 224.72 | 205.12 | 191.51 | 1.02 |
| 24 | -17.55 | 13.22 | 27.8 | 1.36 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 220.77 | 194.23 | 183.38 | 1.02 |
| 25 | -16.19 | 12.45 | 31.5 | 1.32 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 207.88 | 182.70 | 173.19 | 1.04 |
| 26 | -14.87 | 12.08 | 31.5 | 1.32 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 201.76 | 170.52 | 163.59 | 1.04 |
| 27 | -13.56 | 11.16 | 35.1 | 1.26 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 186.43 | 157.70 | 151.94 | 1.07 |
| 28 | -12.30 | 10.68 | 35.1 | 1.26 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 178.35 | 144.26 | 140.92 | 1.07 |
| 29 | -11.03 | 8.21 | 38.8 | 1.02 | 1.31 | 1 | 15.00 | 28.0 | 137.08 | 111.19 | 128.86 | 1.10 |
| 30 | -10.02 | 7.79 | 38.8 | 1.02 | 1.31 | 1 | 15.00 | 28.0 | 130.08 | 100.70 | 118.39 | 1.10 |
| 31 | -9.00 | 2.72 | 38.8 | 0.37 | 0.47 | 1 | 15.00 | 28.0 | 45.44 | 34.09 | 111.93 | 1.10 |
| 32 | -8.63 | 7.97 | 42.5 | 1.14 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 133.08 | 96.97 | 103.99 | 1.14 |
| 33 | -7.49 | 7.30 | 42.5 | 1.14 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 121.92 | 75.22 | 93.50 | 1.14 |
| 34 | -6.36 | 6.18 | 46.2 | 1.07 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 103.13 | 53.11 | 80.66 | 1.19 |
| 35 | -5.29 | 5.44 | 46.2 | 1.07 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 90.89 | 30.66 | 68.65 | 1.19 |
| 36 | -4.22 | 1.03 | 49.9 | 0.22 | 0.34 | 1 | 15.00 | 28.0 | 17.21 | 3.75 | 59.30 | 1.25 |
| 37 | -4.00 | 2.27 | 49.9 | 0.53 | 0.83 | 1 | 15.00 | 28.0 | 37.93 | 3.75 | 52.63 | 1.25 |
| 38 | -3.47 | 3.97 | 49.9 | 1.23 | 1.92 | 1 | 15.00 | 28.0 | 66.29 | 0.00 | 37.66 | 1.25 |
| 39 | -2.23 | 1.71 | 53.6 | 0.92 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 28.49 | 0.00 | 18.20 | 1.32 |
| 40 | -1.32 | 0.57 | 53.6 | 0.92 | 1.54 | 1 | 15.00 | 28.0 | 9.50 | 0.00 | 1.98 | 1.32 |

X-S Area:

358.36

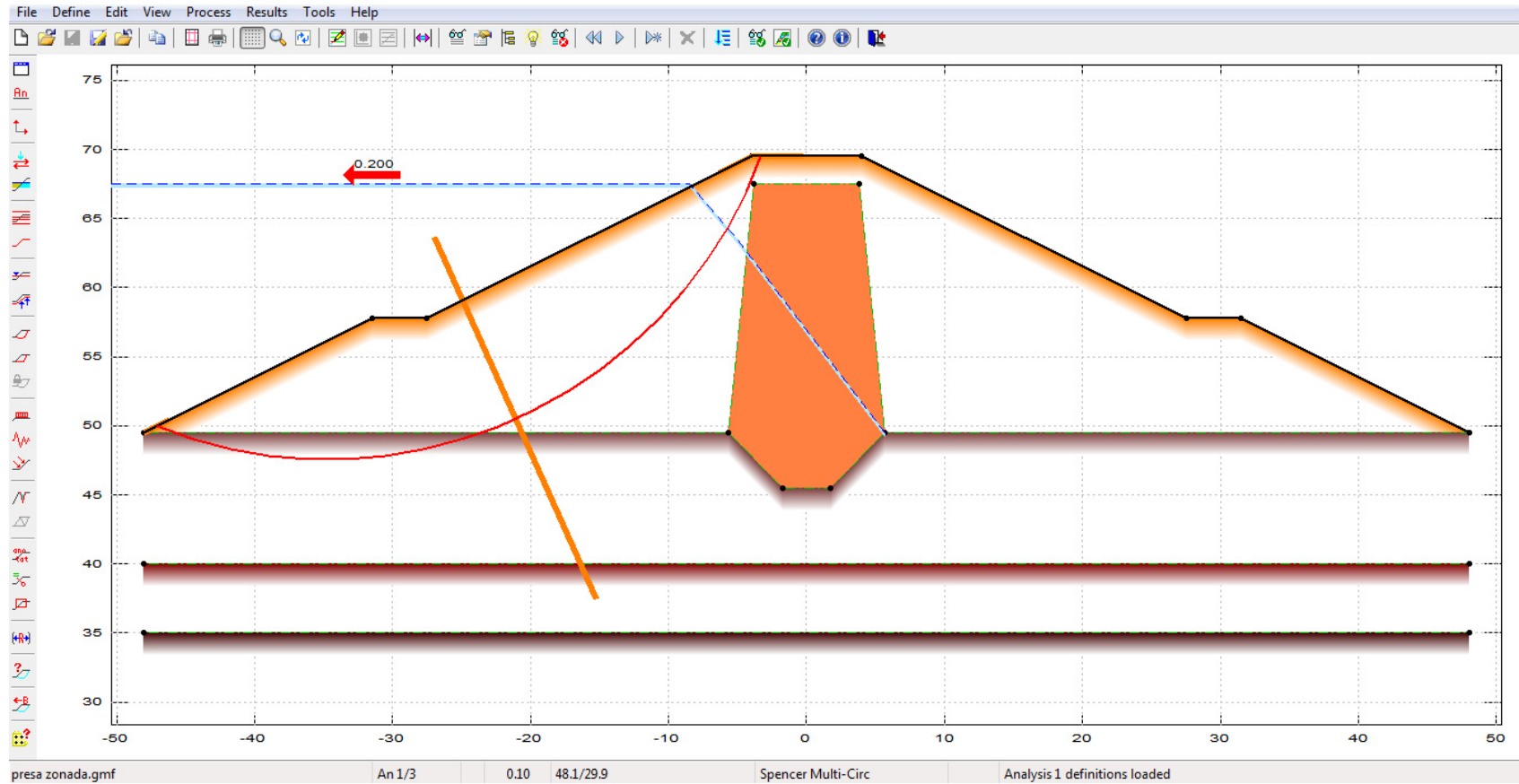
Path Length:

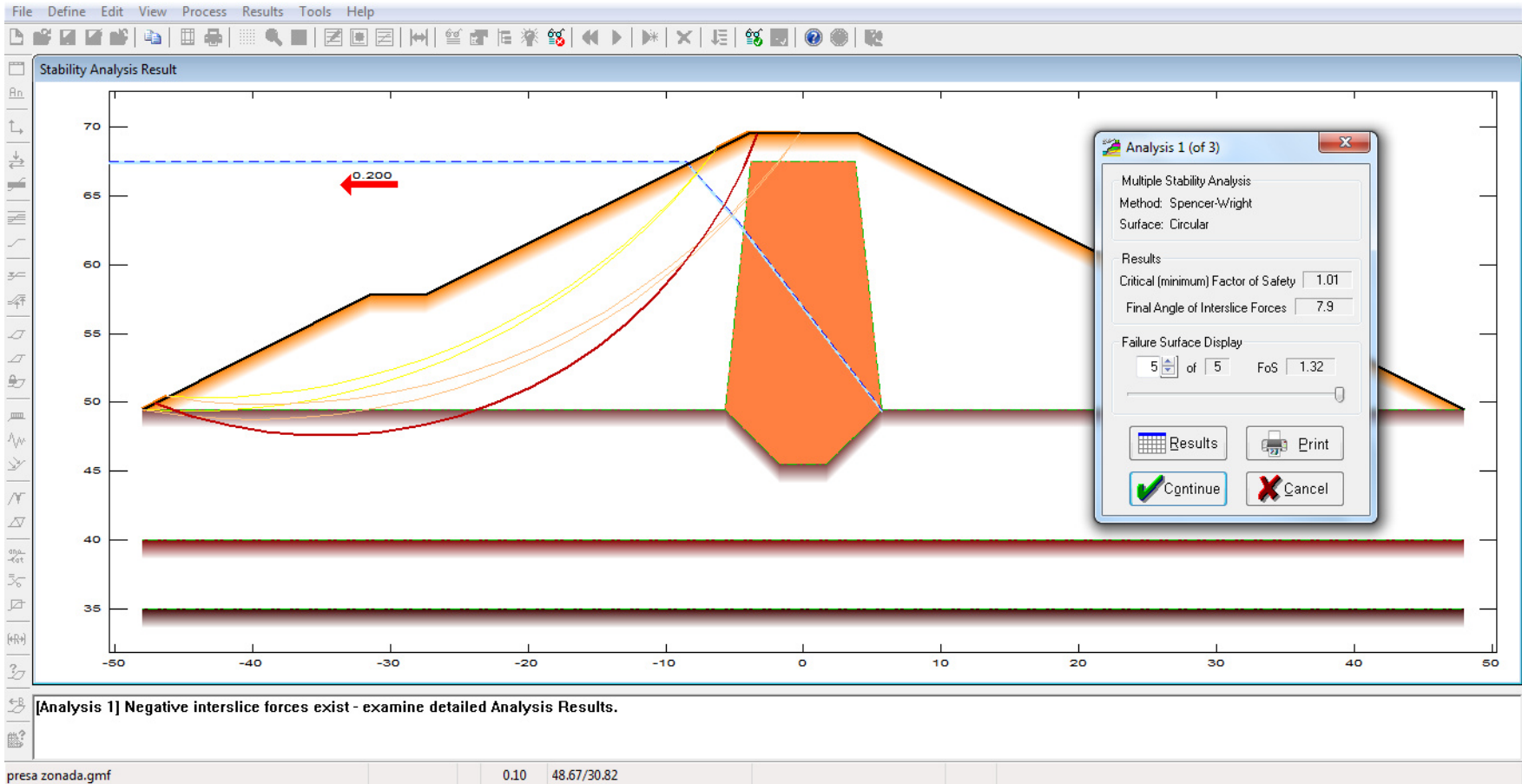
58.62

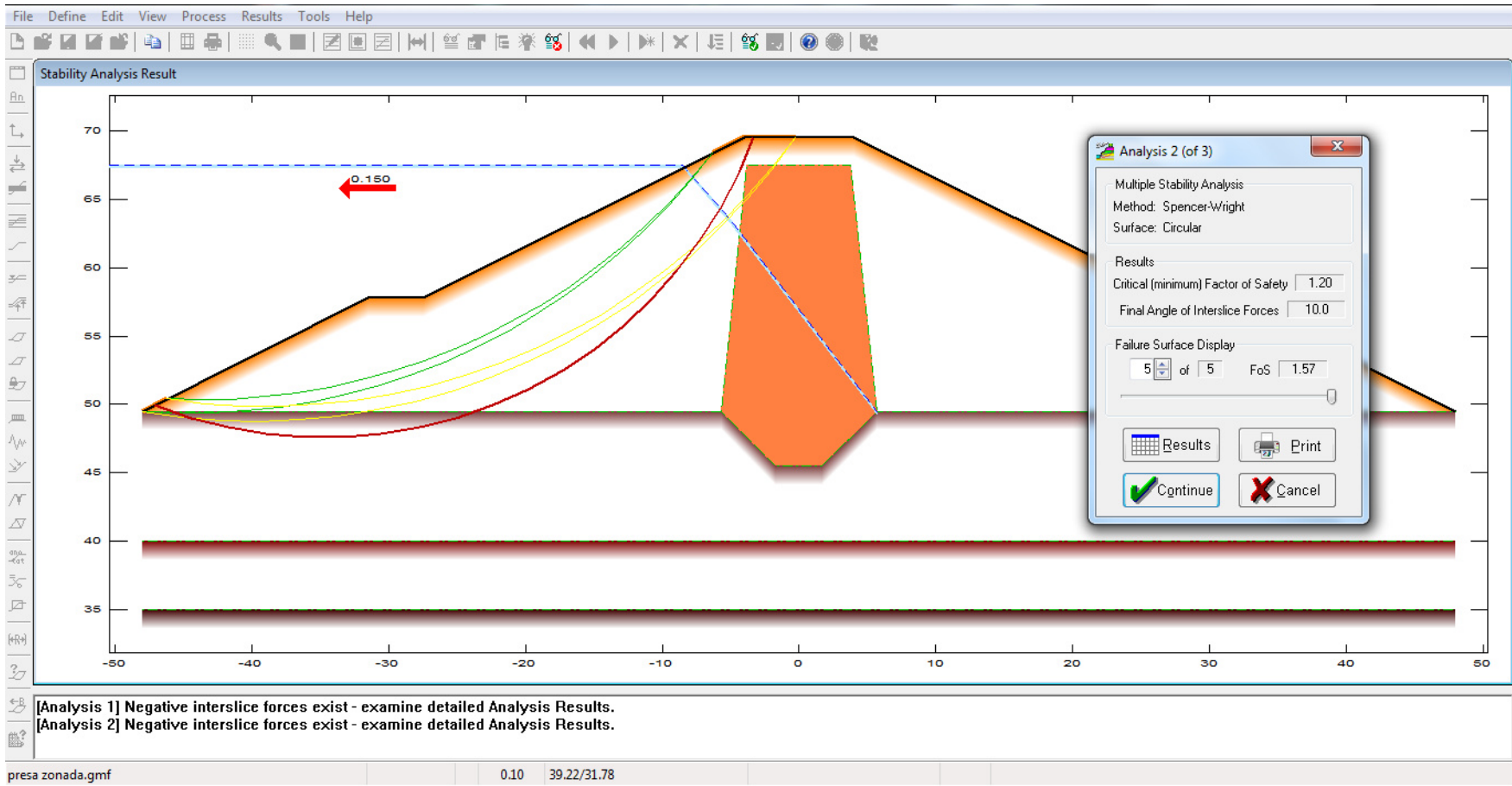
X-S Weight:

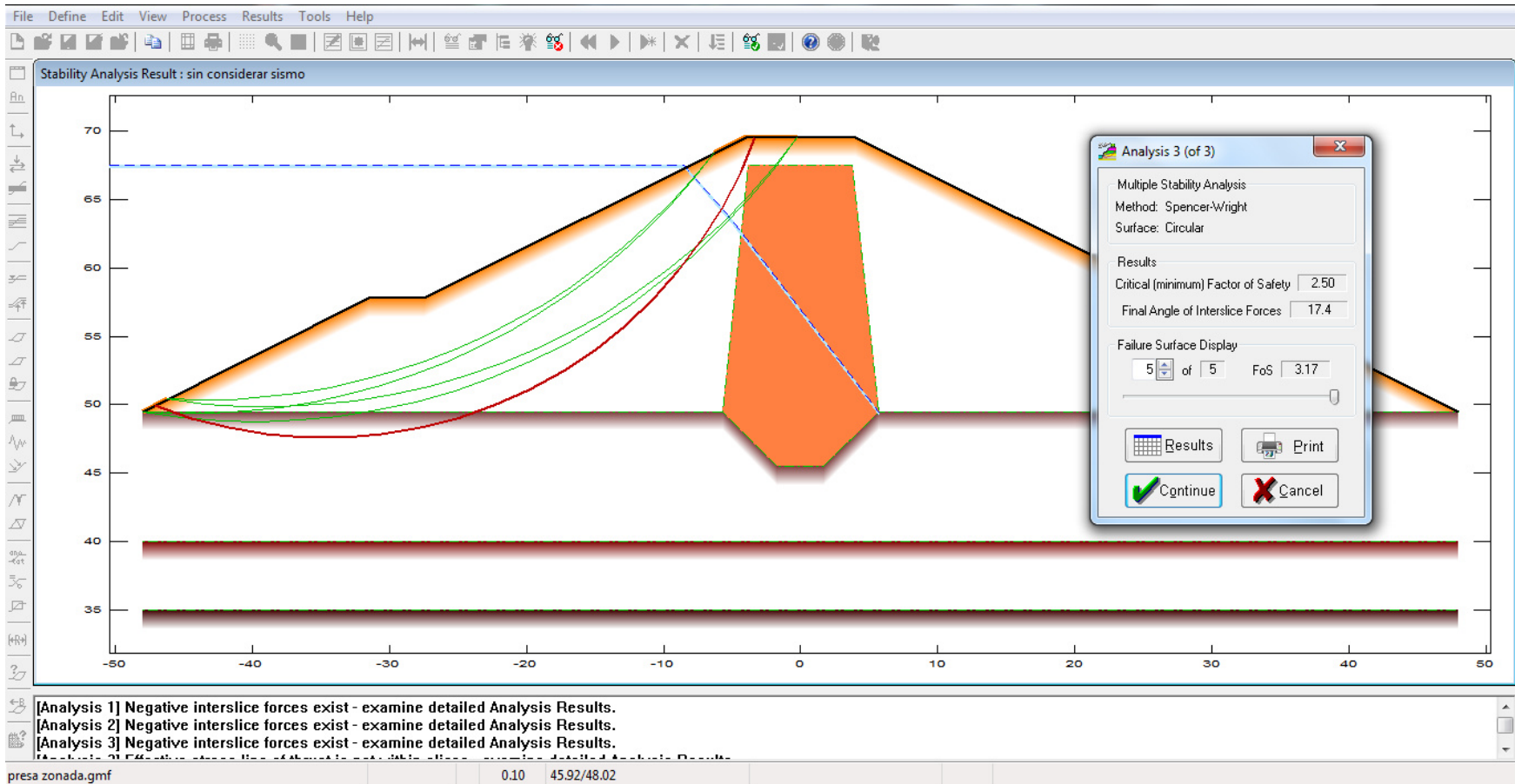
5984.59

➤ PRESA ZONADA CON NÚCLEO IMPERMEABLE









Project: Presa zonada
 File: F:\galena\presa zonada.gmf

Processed: 18 Aug 2015 09:12:17

DATA: Analysis 1

Material Properties (6 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00   28.0   16.70   Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00   14.0   14.80   Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
     2.00   40.0   22.00   Auto
Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00   14.0   15.20   Auto
Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    27.50   15.4   16.72   Auto
Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    28.75   16.1   17.48   Auto
    
```

Water Properties

```

-----
Unit weight of water: 9.810          Unit weight of water/medium above ground: 9.810
    
```

Material Profiles (5 profiles)

```

-----
Profile: 1 (8 points)  Material beneath: 1 - Espaldones
  -48.00   49.50   -31.50   57.75   -27.50   57.75   -4.00   69.50   4.00   69.50
   27.50   57.75   31.50   57.75   48.00   49.50
Profile: 2 (7 points)  Material within: 2 - Nucleo
   -5.70   49.50   -3.80   67.50   3.80   67.50   5.70   49.50   1.70   45.50
    
```

```

-1.70    45.50    -5.70    49.50
Profile: 3 (6 points)  Material beneath: 4 - Cimiento
-48.00   49.50   -5.70    49.50   -1.70    45.50    1.70    45.50    5.70    49.50
 48.00   49.50
Profile: 4 (2 points)  Material beneath: 5 - Cimiento2
-48.00   40.00    48.00   40.00
Profile: 5 (2 points)  Material beneath: 6 - Cimiento3
-48.00   35.00    48.00   35.00
Slope Surface (8 points)
-----
-48.00   49.50   -31.50   57.75   -27.50   57.75   -4.00   69.50   4.00   69.50
 27.50   57.75    31.50   57.75    48.00   49.50
Phreatic Surface (4 points)
-----
-70.00   67.50   -8.50   67.50   -5.00   63.50   5.70   49.50

```

Failure Surface

```

-----
Initial circular surface for critical search defined by: XL,XR,R
Intersects: XL:   -47.10    YL:   49.95    XR:   -3.30    YR:   69.50
Centre: XC:   -34.73    YC:   81.08    Radius: R:   33.50

```

Earthquake Force

```

-----
Pseudo-static earthquake (seismic) coefficient: 0.200

```

Variable Restraints

```

-----
Parameter descriptor:      XL      XR      R
Range of variation:      1.80    6.00   28.70
Trial positions within range: 2      2      2

```

RESULTS: Analysis 1

Spencer-Wright Method of Analysis - Circular Failure Surface

Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 1.01

There were: 5 successful analyses from a total of 9 trial circles
 4 analyses terminated due to unacceptable geometry

Critical (minimum) Factor of Safety: 1.01

Final Angle of Interslice Forces: 7.9 degrees

Negative interslice forces exist on one or more slices - examine slice data and consult the GALENA Help utility

Circle and Results Summary (Lowest Factor of Safety circles)

| Circle | X-Left | Y-Left | X-Right | Y-Right | X-Centre | Y-Centre | Radius | FoS |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1 | -47.10 | 49.95 | -3.30 | 69.50 | -34.73 | 81.08 | 33.50 | 1.008 |
| 2 | -48.00 | 49.50 | -0.30 | 69.50 | -39.72 | 96.63 | 47.85 | 1.088 |
| 3 | -46.20 | 50.40 | -0.30 | 69.50 | -38.96 | 97.70 | 47.85 | 1.118 |
| 4 | -48.00 | 49.50 | -6.30 | 68.35 | -44.46 | 97.22 | 47.85 | 1.293 |
| 5 | -46.20 | 50.40 | -6.30 | 68.35 | -43.71 | 98.19 | 47.85 | 1.325 |

Critical Failure Circle

Intersects: XL: -47.10 YL: 49.95 XR: -3.30 YR: 69.50
 Centre: XC: -34.73 YC: 81.08 Radius: R: 33.50

Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -47.10 | 49.95 | -44.44 | 49.02 | -41.72 | 48.32 | -38.95 | 47.85 | -36.14 | 47.61 |
| -33.33 | 47.61 | -30.53 | 47.85 | -27.76 | 48.32 | -25.03 | 49.02 | -22.38 | 49.95 |
| -19.81 | 51.09 | -17.34 | 52.45 | -15.00 | 54.01 | -12.80 | 55.76 | -10.75 | 57.69 |
| -8.88 | 59.78 | -7.18 | 62.03 | -5.68 | 64.41 | -4.38 | 66.90 | -3.30 | 69.50 |

Slice Geometry and Properties (38 slices)

| Slice | X-Left | X-S | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Weight | PoreWater Force | --- Left Hand Side | l/h | 1'/h |
|-------|--------|------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|--------|--------|-----------------|--------------------|------|------|
| 1 | -47.10 | 0.70 | -19.3 | 1.29 | 1.36 | 1 | 15.00 | 28.0 | 11.77 | 237.92 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 2 | -45.81 | 2.29 | -19.3 | 1.37 | 1.45 | 4 | 25.00 | 14.0 | 37.75 | 259.15 | 34.53 | 0.29 | 0.33 | |
| 3 | -44.44 | 3.77 | -14.4 | 1.36 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 61.69 | 257.35 | 83.33 | 0.27 | 0.33 | |
| 4 | -43.08 | 5.18 | -14.4 | 1.36 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 84.45 | 262.19 | 126.25 | 0.26 | 0.33 | |
| 5 | -41.72 | 6.63 | -9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 108.06 | 266.24 | 169.49 | 0.25 | 0.33 | |
| 6 | -40.33 | 7.92 | -9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 129.08 | 269.49 | 205.98 | 0.25 | 0.33 | |
| 7 | -38.95 | 9.23 | -4.8 | 1.40 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 150.54 | 271.93 | 241.87 | 0.24 | 0.33 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------|--------|--------------|-------|------|---|-------------|---------|--------|--------|--------|-------|------|
| 8 | -37.55 | 10.38 | -4.8 | 1.40 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 169.45 | 273.55 | 269.32 | 0.23 | 0.33 |
| 9 | -36.14 | 11.48 | 0.0 | 1.41 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 187.80 | 274.37 | 295.51 | 0.23 | 0.33 |
| 10 | -34.74 | 12.47 | 0.0 | 1.41 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 204.33 | 274.38 | 312.12 | 0.22 | 0.33 |
| 11 | -33.33 | 8.62 | 4.8 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 141.40 | 178.95 | 327.04 | 0.22 | 0.33 |
| 12 | -32.42 | 8.97 | 4.8 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 147.34 | 178.26 | 330.35 | 0.21 | 0.33 |
| 13 | -31.50 | 9.66 | 4.8 | 0.97 | 0.97 | 4 | 25.00 | 14.0 | 158.80 | 188.29 | 332.85 | 0.21 | 0.33 |
| 14 | -30.53 | 13.57 | 9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 223.37 | 269.51 | 335.17 | 0.21 | 0.33 |
| 15 | -29.14 | 13.24 | 9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 218.42 | 266.26 | 331.10 | 0.21 | 0.33 |
| 16 | -27.76 | 2.40 | 14.4 | 0.26 | 0.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 39.65 | 49.54 | 327.92 | 0.22 | 0.34 |
| 17 | -27.50 | 11.75 | 14.4 | 1.23 | 1.27 | 4 | 25.00 | 14.0 | 194.38 | 237.02 | 326.17 | 0.22 | 0.34 |
| 18 | -26.27 | 12.12 | 14.4 | 1.23 | 1.27 | 4 | 25.00 | 14.0 | 201.14 | 233.05 | 317.16 | 0.20 | 0.33 |
| 19 | -25.03 | 13.86 | 19.2 | 1.38 | 1.46 | 4 | 25.00 | 14.0 | 230.91 | 260.83 | 306.75 | 0.19 | 0.33 |
| 20 | -23.66 | 13.14 | 19.2 | 1.28 | 1.36 | 1 | 15.00 | 28.0 | 219.41 | 236.32 | 286.98 | 0.17 | 0.33 |
| 21 | -22.38 | 13.36 | 24.1 | 1.28 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 223.05 | 238.23 | 274.39 | 0.14 | 0.34 |
| 22 | -21.09 | 13.44 | 24.1 | 1.28 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 224.53 | 230.31 | 254.00 | 0.11 | 0.34 |
| 23 | -19.81 | 12.90 | 28.9 | 1.23 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 215.39 | 221.68 | 233.34 | 0.08 | 0.34 |
| 24 | -18.58 | 12.82 | 28.9 | 1.23 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 214.09 | 212.31 | 206.95 | 0.04 | 0.34 |
| 25 | -17.34 | 12.03 | 33.7 | 1.17 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 200.92 | 202.25 | 180.84 | 0.00 | 0.34 |
| 26 | -16.17 | 11.80 | 33.7 | 1.17 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 197.12 | 191.49 | 150.87 | -0.07 | 0.34 |
| 27 | -15.00 | 10.82 | 38.5 | 1.10 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 180.63 | 180.07 | 121.82 | -0.16 | 0.34 |
| 28 | -13.90 | 10.46 | 38.5 | 1.10 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 174.65 | 167.99 | 90.97 | -0.31 | 0.34 |
| 29 | -12.80 | 9.33 | 43.3 | 1.02 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 155.74 | 155.30 | 61.75 | -0.56 | 0.35 |
| 30 | -11.78 | 8.86 | 43.3 | 1.02 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 148.00 | 141.99 | 32.81 | -1.25 | 0.36 |
| 31 | -10.75 | 7.65 | 48.1 | 0.94 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 127.70 | 128.12 | 6.24 | -7.21 | 0.49 |
| 32 | -9.82 | 7.10 | 48.1 | 0.94 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 118.64 | 113.67 | -18.08 | 2.63 | 0.28 |
| 33 | -8.88 | 3.73 | 52.9 | 0.53 | 0.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 62.30 | 63.34 | -39.33 | 1.21 | 0.30 |
| 34 | -8.35 | 7.43 | 52.9 | 1.17 | 1.94 | 1 | 15.00 | 28.0 | 124.00 | 102.62 | -50.50 | 0.92 | 0.31 |
| 35 | -7.18 | 7.40 | 57.7 | 1.45 | 2.72 | 1 | 15.00 | 28.0 | 123.60 | 52.92 | -62.88 | 0.65 | 0.32 |
| 36 | -5.73 | 4.52 | 62.4 | 1.34 | 2.90 | 1 | 15.00 | 28.0 | 75.53 | 0.00 | -49.28 | 0.58 | 0.30 |
| 37 | -4.38 | 0.78 | 67.4 | 0.38 | 0.99 | 1 | 15.00 | 28.0 | 13.04 | 0.00 | -24.45 | 0.60 | 0.60 |
| 38 | -4.00 | 0.59 | 67.4 | 0.70 | 1.82 | 1 | 15.00 | 28.0 | 9.81 | 0.00 | -20.08 | 0.47 | 0.47 |
| RHS | -3.30 | ----- | | ----- | | | | | ----- | | -1.05 | 0.00 | 0.00 |
| | X-S Area: | 332.39 | Path Length: | 53.44 | | | X-S Weight: | 5508.46 | | | | | |

DATA: Analysis 2

Material Properties (6 materials)

Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
 Cohesion Phi UnitWeight Ru
 15.00 28.0 16.70 Auto
 Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
 Cohesion Phi UnitWeight Ru
 25.00 14.0 14.80 Auto
 Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
 Cohesion Phi UnitWeight Ru
 2.00 40.0 22.00 Auto
 Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
 Cohesion Phi UnitWeight Ru
 25.00 14.0 15.20 Auto
 Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
 Cohesion Phi UnitWeight Ru
 27.50 15.4 16.72 Auto
 Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
 Cohesion Phi UnitWeight Ru
 28.75 16.1 17.48 Auto

Water Properties

 Unit weight of water: 9.810 Unit weight of water/medium above ground: 9.810

Material Profiles (5 profiles)

 Profile: 1 (8 points) Material beneath: 1 - Espaldones
 -48.00 49.50 -31.50 57.75 -27.50 57.75 -4.00 69.50 4.00 69.50
 27.50 57.75 31.50 57.75 48.00 49.50
 Profile: 2 (7 points) Material within: 2 - Nucleo
 -5.70 49.50 -3.80 67.50 3.80 67.50 5.70 49.50 1.70 45.50
 -1.70 45.50 -5.70 49.50
 Profile: 3 (6 points) Material beneath: 4 - Cimiento
 -48.00 49.50 -5.70 49.50 -1.70 45.50 1.70 45.50 5.70 49.50
 48.00 49.50
 Profile: 4 (2 points) Material beneath: 5 - Cimiento2
 -48.00 40.00 48.00 40.00
 Profile: 5 (2 points) Material beneath: 6 - Cimiento3
 -48.00 35.00 48.00 35.00

Slope Surface (8 points)

-48.00 49.50 -31.50 57.75 -27.50 57.75 -4.00 69.50 4.00 69.50
27.50 57.75 31.50 57.75 48.00 49.50

Phreatic Surface (4 points)

-70.00 67.50 -8.50 67.50 -5.00 63.50 5.70 49.50

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL,XR,R

Intersects: XL: -47.10 YL: 49.95 XR: -3.30 YR: 69.50
Centre: XC: -34.73 YC: 81.08 Radius: R: 33.50

Earthquake Force

Pseudo-static earthquake (seismic) coefficient: 0.150

Variable Restraints

Parameter descriptor: XL XR R
Range of variation: 1.80 6.00 28.70
Trial positions within range: 2 2 2

RESULTS: Analysis 2

Spencer-Wright Method of Analysis - Circular Failure Surface

Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 1.20

There were: 5 successful analyses from a total of 9 trial circles
4 analyses terminated due to unacceptable geometry

Critical (minimum) Factor of Safety: 1.20

Final Angle of Interslice Forces: 10.0 degrees

Negative interslice forces exist on one or more slices - examine slice data and consult the GALENA Help utility

Circle and Results Summary (Lowest 5 Factor of Safety circles)

| Circle | X-Left | Y-Left | X-Right | Y-Right | X-Centre | Y-Centre | Radius | FoS |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1 | -47.10 | 49.95 | -3.30 | 69.50 | -34.73 | 81.08 | 33.50 | 1.199 |
| 2 | -48.00 | 49.50 | -0.30 | 69.50 | -39.72 | 96.63 | 47.85 | 1.282 |
| 3 | -46.20 | 50.40 | -0.30 | 69.50 | -38.96 | 97.70 | 47.85 | 1.318 |
| 4 | -48.00 | 49.50 | -6.30 | 68.35 | -44.46 | 97.22 | 47.85 | 1.529 |
| 5 | -46.20 | 50.40 | -6.30 | 68.35 | -43.71 | 98.19 | 47.85 | 1.567 |

Critical Failure Circle

Intersects: XL: -47.10 YL: 49.95 XR: -3.30 YR: 69.50
 Centre: XC: -34.73 YC: 81.08 Radius: R: 33.50

Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -47.10 | 49.95 | -44.44 | 49.02 | -41.72 | 48.32 | -38.95 | 47.85 | -36.14 | 47.61 |
| -33.33 | 47.61 | -30.53 | 47.85 | -27.76 | 48.32 | -25.03 | 49.02 | -22.38 | 49.95 |
| -19.81 | 51.09 | -17.34 | 52.45 | -15.00 | 54.01 | -12.80 | 55.76 | -10.75 | 57.69 |
| -8.88 | 59.78 | -7.18 | 62.03 | -5.68 | 64.41 | -4.38 | 66.90 | -3.30 | 69.50 |

Slice Geometry and Properties (38 slices)

| Slice | X-S | | Base | | | | | | Phi | Weight | PoreWater Force | --- Left Hand Side --- | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------|----------|------------|--------|--------|--------------------|------------------------|------|--|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Side Force | | | | l/h | l'/h | |
| 1 | -47.10 | 0.70 | -19.3 | 1.29 | 1.36 | 1 | 15.00 | 28.0 | 11.77 | 237.92 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 2 | -45.81 | 2.29 | -19.3 | 1.37 | 1.45 | 4 | 25.00 | 14.0 | 37.75 | 259.15 | 29.48 | 0.31 | 0.33 | |
| 3 | -44.44 | 3.77 | -14.4 | 1.36 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 61.69 | 257.35 | 72.71 | 0.29 | 0.33 | |
| 4 | -43.08 | 5.18 | -14.4 | 1.36 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 84.45 | 262.19 | 111.52 | 0.28 | 0.33 | |
| 5 | -41.72 | 6.63 | -9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 108.06 | 266.24 | 151.43 | 0.27 | 0.33 | |
| 6 | -40.33 | 7.92 | -9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 129.08 | 269.49 | 185.75 | 0.27 | 0.33 | |
| 7 | -38.95 | 9.23 | -4.8 | 1.40 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 150.54 | 271.93 | 220.21 | 0.26 | 0.33 | |
| 8 | -37.55 | 10.38 | -4.8 | 1.40 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 169.45 | 273.55 | 247.24 | 0.26 | 0.33 | |
| 9 | -36.14 | 11.48 | 0.0 | 1.41 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 187.80 | 274.37 | 273.66 | 0.25 | 0.33 | |
| 10 | -34.74 | 12.47 | 0.0 | 1.41 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 204.33 | 274.38 | 291.35 | 0.25 | 0.33 | |
| 11 | -33.33 | 8.62 | 4.8 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 141.40 | 178.95 | 307.91 | 0.24 | 0.33 | |
| 12 | -32.42 | 8.97 | 4.8 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 147.34 | 178.26 | 312.68 | 0.24 | 0.33 | |
| 13 | -31.50 | 9.66 | 4.8 | 0.97 | 0.97 | 4 | 25.00 | 14.0 | 158.80 | 188.29 | 316.84 | 0.23 | 0.33 | |
| 14 | -30.53 | 13.57 | 9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 223.37 | 269.51 | 321.00 | 0.24 | 0.33 | |
| 15 | -29.14 | 13.24 | 9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 218.42 | 266.26 | 319.52 | 0.25 | 0.33 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|-------|--------------|-------|------|---|-------------|---------|--------|--------|--------|-------|------|
| 16 | -27.76 | 2.40 | 14.4 | 0.26 | 0.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 39.65 | 49.54 | 318.74 | 0.26 | 0.33 |
| 17 | -27.50 | 11.75 | 14.4 | 1.23 | 1.27 | 4 | 25.00 | 14.0 | 194.38 | 237.02 | 317.41 | 0.26 | 0.34 |
| 18 | -26.27 | 12.12 | 14.4 | 1.23 | 1.27 | 4 | 25.00 | 14.0 | 201.14 | 233.05 | 310.52 | 0.24 | 0.33 |
| 19 | -25.03 | 13.86 | 19.2 | 1.38 | 1.46 | 4 | 25.00 | 14.0 | 230.91 | 260.83 | 302.45 | 0.23 | 0.33 |
| 20 | -23.66 | 13.14 | 19.2 | 1.28 | 1.36 | 1 | 15.00 | 28.0 | 219.41 | 236.32 | 285.44 | 0.22 | 0.33 |
| 21 | -22.38 | 13.36 | 24.1 | 1.28 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 223.05 | 238.23 | 275.14 | 0.20 | 0.33 |
| 22 | -21.09 | 13.44 | 24.1 | 1.28 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 224.53 | 230.31 | 257.25 | 0.18 | 0.33 |
| 23 | -19.81 | 12.90 | 28.9 | 1.23 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 215.39 | 221.68 | 239.13 | 0.16 | 0.34 |
| 24 | -18.58 | 12.82 | 28.9 | 1.23 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 214.09 | 212.31 | 215.23 | 0.13 | 0.34 |
| 25 | -17.34 | 12.03 | 33.7 | 1.17 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 200.92 | 202.25 | 191.58 | 0.10 | 0.34 |
| 26 | -16.17 | 11.80 | 33.7 | 1.17 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 197.12 | 191.49 | 163.88 | 0.06 | 0.34 |
| 27 | -15.00 | 10.82 | 38.5 | 1.10 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 180.63 | 180.07 | 137.00 | 0.01 | 0.34 |
| 28 | -13.90 | 10.46 | 38.5 | 1.10 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 174.65 | 167.99 | 108.00 | -0.07 | 0.34 |
| 29 | -12.80 | 9.33 | 43.3 | 1.02 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 155.74 | 155.30 | 80.49 | -0.19 | 0.34 |
| 30 | -11.78 | 8.86 | 43.3 | 1.02 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 148.00 | 141.99 | 52.83 | -0.41 | 0.35 |
| 31 | -10.75 | 7.65 | 48.1 | 0.94 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 127.70 | 128.12 | 27.35 | -0.97 | 0.36 |
| 32 | -9.82 | 7.10 | 48.1 | 0.94 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 118.64 | 113.67 | 3.63 | -8.31 | 0.55 |
| 33 | -8.88 | 3.73 | 52.9 | 0.53 | 0.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 62.30 | 63.34 | -17.22 | 1.84 | 0.28 |
| 34 | -8.35 | 7.43 | 52.9 | 1.17 | 1.94 | 1 | 15.00 | 28.0 | 124.00 | 102.62 | -28.45 | 1.12 | 0.30 |
| 35 | -7.18 | 7.40 | 57.7 | 1.45 | 2.72 | 1 | 15.00 | 28.0 | 123.60 | 52.92 | -42.34 | 0.68 | 0.32 |
| 36 | -5.73 | 4.52 | 62.4 | 1.34 | 2.90 | 1 | 15.00 | 28.0 | 75.53 | 0.00 | -35.25 | 0.60 | 0.29 |
| 37 | -4.38 | 0.78 | 67.4 | 0.38 | 0.99 | 1 | 15.00 | 28.0 | 13.04 | 0.00 | -18.61 | 0.62 | 0.62 |
| 38 | -4.00 | 0.59 | 67.4 | 0.70 | 1.82 | 1 | 15.00 | 28.0 | 9.81 | 0.00 | -16.38 | 0.46 | 0.46 |
| RHS | -3.30 | ----- | | ----- | | | | | ----- | | -0.85 | 0.00 | 0.00 |
| X-S Area: | 332.39 | | Path Length: | 53.44 | | | X-S Weight: | 5508.66 | | | | | |

DATA: Analysis 3 - sin considerar sismo

Material Properties (6 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00  28.0    16.70    Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0    14.80    Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru

```

| | | | |
|--|------|------------|------|
| 2.00 | 40.0 | 22.00 | Auto |
| Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru |
| 25.00 | 14.0 | 15.20 | Auto |
| Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2 | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru |
| 27.50 | 15.4 | 16.72 | Auto |
| Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3 | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru |
| 28.75 | 16.1 | 17.48 | Auto |

Water Properties

Unit weight of water: 9.810 Unit weight of water/medium above ground: 9.810

Material Profiles (5 profiles)

Profile: 1 (8 points) Material beneath: 1 - Espaldones
-48.00 49.50 -31.50 57.75 -27.50 57.75 -4.00 69.50 4.00 69.50
27.50 57.75 31.50 57.75 48.00 49.50
Profile: 2 (7 points) Material within: 2 - Nucleo
-5.70 49.50 -3.80 67.50 3.80 67.50 5.70 49.50 1.70 45.50
-1.70 45.50 -5.70 49.50
Profile: 3 (6 points) Material beneath: 4 - Cimiento
-48.00 49.50 -5.70 49.50 -1.70 45.50 1.70 45.50 5.70 49.50
48.00 49.50
Profile: 4 (2 points) Material beneath: 5 - Cimiento2
-48.00 40.00 48.00 40.00
Profile: 5 (2 points) Material beneath: 6 - Cimiento3
-48.00 35.00 48.00 35.00

Slope Surface (8 points)

-48.00 49.50 -31.50 57.75 -27.50 57.75 -4.00 69.50 4.00 69.50
27.50 57.75 31.50 57.75 48.00 49.50

Phreatic Surface (4 points)

-70.00 67.50 -8.50 67.50 -5.00 63.50 5.70 49.50

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

Intersects: XL: -47.10 YL: 49.95 XR: -3.30 YR: 69.50
Centre: XC: -34.73 YC: 81.08 Radius: R: 33.50

Variable Restraints

Parameter descriptor: XL XR R
Range of variation: 1.80 6.00 28.70
Trial positions within range: 2 2 2

RESULTS: Analysis 3 - sin considerar sismo

Spencer-Wright Method of Analysis - Circular Failure Surface

Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 2.50

There were: 5 successful analyses from a total of 9 trial circles
4 analyses terminated due to unacceptable geometry

Critical (minimum) Factor of Safety: 2.50

Final Angle of Interslice Forces: 17.4 degrees

Negative interslice forces exist on one or more slices - examine slice data and consult the GALENA Help utility
Effective stress line of thrust is not within one or more slices - examine slice data and consult the GALENA Help utility

Circle and Results Summary (Lowest 5 Factor of Safety circles)

Circle X-Left Y-Left X-Right Y-Right X-Centre Y-Centre Radius FoS
1 -47.10 49.95 -3.30 69.50 -34.73 81.08 33.50 2.495
2 -48.00 49.50 -0.30 69.50 -39.72 96.63 47.85 2.525
3 -46.20 50.40 -0.30 69.50 -38.96 97.70 47.85 2.586
4 -48.00 49.50 -6.30 68.35 -44.46 97.22 47.85 3.089
5 -46.20 50.40 -6.30 68.35 -43.71 98.19 47.85 3.166

Critical Failure Circle

 Intersects: XL: -47.10 YL: 49.95 XR: -3.30 YR: 69.50
 Centre: XC: -34.73 YC: 81.08 Radius: R: 33.50

Generated failure surface: (20 points)

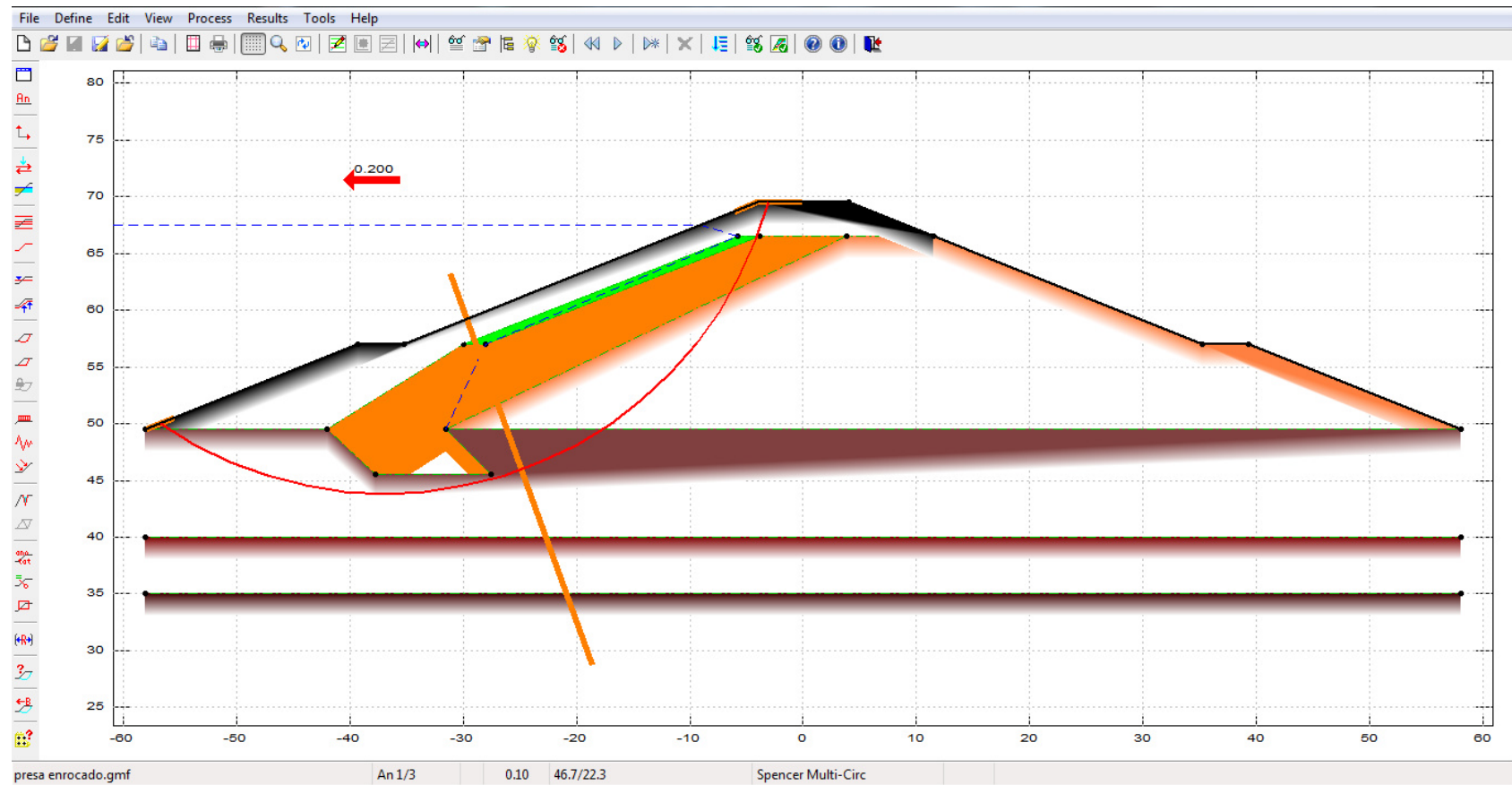
| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -47.10 | 49.95 | -44.44 | 49.02 | -41.72 | 48.32 | -38.95 | 47.85 | -36.14 | 47.61 |
| -33.33 | 47.61 | -30.53 | 47.85 | -27.76 | 48.32 | -25.03 | 49.02 | -22.38 | 49.95 |
| -19.81 | 51.09 | -17.34 | 52.45 | -15.00 | 54.01 | -12.80 | 55.76 | -10.75 | 57.69 |
| -8.88 | 59.78 | -7.18 | 62.03 | -5.68 | 64.41 | -4.38 | 66.90 | -3.30 | 69.50 |

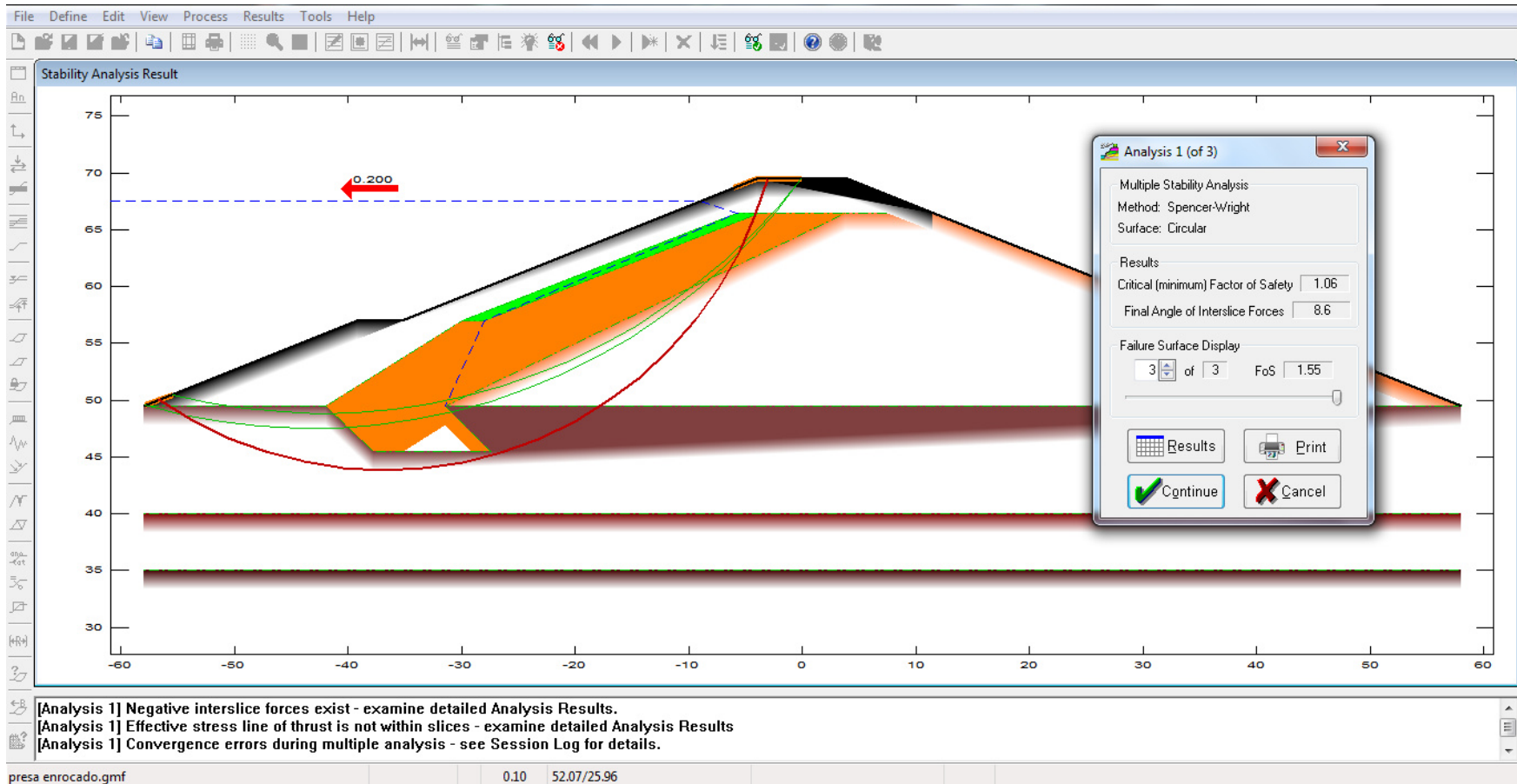
Slice Geometry and Properties (38 slices)

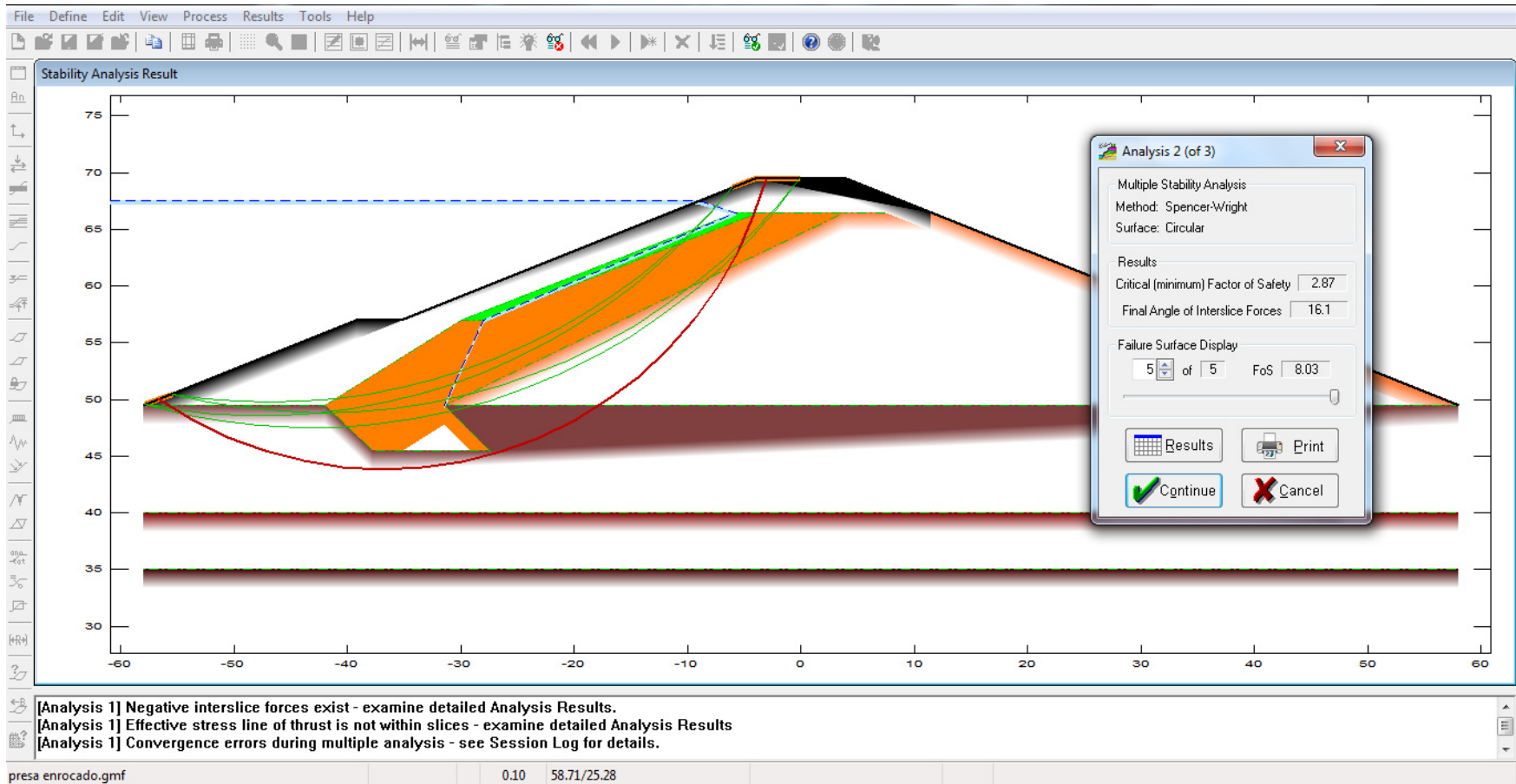
| Slice | X-S | | Base | | | | | | Weight | PoreWater Force | --- Left Hand Side --- | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------|----------|------|--------|--------------------|------------------------|------|------|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | | | Side Force | l/h | l'/h |
| 1 | -47.10 | 0.70 | -19.3 | 1.29 | 1.36 | 1 | 15.00 | 28.0 | 11.77 | 237.92 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -45.81 | 2.29 | -19.3 | 1.37 | 1.45 | 4 | 25.00 | 14.0 | 37.75 | 259.15 | 15.97 | 0.39 | 0.33 |
| 3 | -44.44 | 3.77 | -14.4 | 1.36 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 61.69 | 257.35 | 44.25 | 0.34 | 0.33 |
| 4 | -43.08 | 5.18 | -14.4 | 1.36 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 84.45 | 262.19 | 72.65 | 0.33 | 0.33 |
| 5 | -41.72 | 6.63 | -9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 108.06 | 266.24 | 104.96 | 0.33 | 0.33 |
| 6 | -40.33 | 7.92 | -9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 129.08 | 269.49 | 135.15 | 0.32 | 0.33 |
| 7 | -38.95 | 9.23 | -4.8 | 1.40 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 150.54 | 271.93 | 167.97 | 0.32 | 0.33 |
| 8 | -37.55 | 10.38 | -4.8 | 1.40 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 169.45 | 273.55 | 196.25 | 0.31 | 0.33 |
| 9 | -36.14 | 11.48 | 0.0 | 1.41 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 187.80 | 274.37 | 226.10 | 0.31 | 0.33 |
| 10 | -34.74 | 12.47 | 0.0 | 1.41 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 204.33 | 274.38 | 249.48 | 0.31 | 0.33 |
| 11 | -33.33 | 8.62 | 4.8 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 141.40 | 178.95 | 273.60 | 0.31 | 0.33 |
| 12 | -32.42 | 8.97 | 4.8 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 147.34 | 178.26 | 284.19 | 0.30 | 0.33 |
| 13 | -31.50 | 9.66 | 4.8 | 0.97 | 0.97 | 4 | 25.00 | 14.0 | 158.80 | 188.29 | 294.82 | 0.30 | 0.33 |
| 14 | -30.53 | 13.57 | 9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 223.37 | 269.51 | 306.12 | 0.32 | 0.33 |
| 15 | -29.14 | 13.24 | 9.6 | 1.39 | 1.41 | 4 | 25.00 | 14.0 | 218.42 | 266.26 | 314.20 | 0.34 | 0.33 |
| 16 | -27.76 | 2.40 | 14.4 | 0.26 | 0.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 39.65 | 49.54 | 322.40 | 0.36 | 0.33 |
| 17 | -27.50 | 11.75 | 14.4 | 1.23 | 1.27 | 4 | 25.00 | 14.0 | 194.38 | 237.02 | 322.59 | 0.36 | 0.33 |
| 18 | -26.27 | 12.12 | 14.4 | 1.23 | 1.27 | 4 | 25.00 | 14.0 | 201.14 | 233.05 | 323.30 | 0.36 | 0.33 |
| 19 | -25.03 | 13.86 | 19.2 | 1.38 | 1.46 | 4 | 25.00 | 14.0 | 230.91 | 260.83 | 323.53 | 0.35 | 0.33 |
| 20 | -23.66 | 13.14 | 19.2 | 1.28 | 1.36 | 1 | 15.00 | 28.0 | 219.41 | 236.32 | 315.81 | 0.35 | 0.33 |
| 21 | -22.38 | 13.36 | 24.1 | 1.28 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 223.05 | 238.23 | 312.35 | 0.34 | 0.33 |
| 22 | -21.09 | 13.44 | 24.1 | 1.28 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 224.53 | 230.31 | 301.40 | 0.33 | 0.33 |
| 23 | -19.81 | 12.90 | 28.9 | 1.23 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 215.39 | 221.68 | 290.32 | 0.33 | 0.33 |
| 24 | -18.58 | 12.82 | 28.9 | 1.23 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 214.09 | 212.31 | 272.85 | 0.32 | 0.33 |
| 25 | -17.34 | 12.03 | 33.7 | 1.17 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 200.92 | 202.25 | 255.53 | 0.32 | 0.33 |

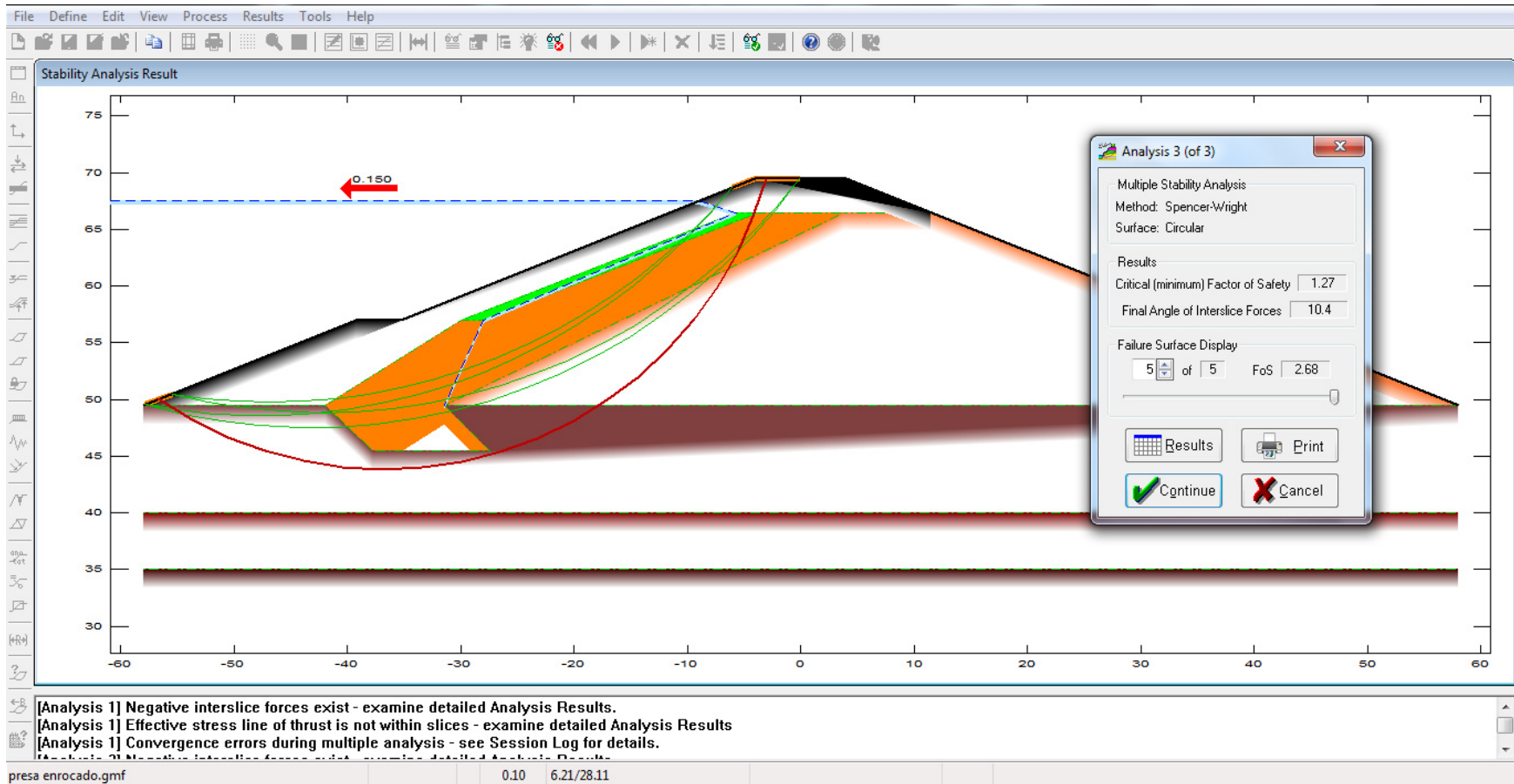
| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|-------|--------------|-------|------|---|-------------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 26 | -16.17 | 11.80 | 33.7 | 1.17 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 197.12 | 191.49 | 233.15 | 0.31 | 0.33 |
| 27 | -15.00 | 10.82 | 38.5 | 1.10 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 180.63 | 180.07 | 211.35 | 0.31 | 0.33 |
| 28 | -13.90 | 10.46 | 38.5 | 1.10 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 174.65 | 167.99 | 186.09 | 0.30 | 0.33 |
| 29 | -12.80 | 9.33 | 43.3 | 1.02 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 155.74 | 155.30 | 161.95 | 0.30 | 0.33 |
| 30 | -11.78 | 8.86 | 43.3 | 1.02 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 148.00 | 141.99 | 136.11 | 0.29 | 0.33 |
| 31 | -10.75 | 7.65 | 48.1 | 0.94 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 127.70 | 128.12 | 111.98 | 0.29 | 0.33 |
| 32 | -9.82 | 7.10 | 48.1 | 0.94 | 1.41 | 1 | 15.00 | 28.0 | 118.64 | 113.67 | 87.95 | 0.29 | 0.33 |
| 33 | -8.88 | 3.73 | 52.9 | 0.53 | 0.88 | 1 | 15.00 | 28.0 | 62.30 | 63.34 | 66.24 | 0.29 | 0.33 |
| 34 | -8.35 | 7.43 | 52.9 | 1.17 | 1.94 | 1 | 15.00 | 28.0 | 124.00 | 102.62 | 53.51 | 0.30 | 0.33 |
| 35 | -7.18 | 7.40 | 57.7 | 1.45 | 2.72 | 1 | 15.00 | 28.0 | 123.60 | 52.92 | 32.06 | 0.31 | 0.33 |
| 36 | -5.73 | 4.52 | 62.4 | 1.34 | 2.90 | 1 | 15.00 | 28.0 | 75.53 | 0.00 | 14.60 | 0.23 | 0.35 |
| 37 | -4.38 | 0.78 | 67.4 | 0.38 | 0.99 | 1 | 15.00 | 28.0 | 13.04 | 0.00 | 1.87 | -0.69 | -0.69 |
| 38 | -4.00 | 0.59 | 67.4 | 0.70 | 1.82 | 1 | 15.00 | 28.0 | 9.81 | 0.00 | -3.43 | 0.43 | 0.43 |
| RHS | -3.30 | ----- | | ----- | | | | | ----- | | -0.11 | 0.00 | 0.00 |
| X-S Area: | 332.39 | | Path Length: | 53.44 | | | X-S Weight: | 5508.46 | | | | | |

➤ PRESA CON ENROCADO









Project: Presa con enrocado
 File: F:\galena\presa enrocado.gmf

Processed: 18 Aug 2015 09:15:19

DATA: Analysis 1

Material Properties (7 materials)

| | | | | | | | | |
|---|-----|------------|----|-------|------|-------|------|--|
| Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 15.00 | 28.0 | 16.70 | Auto | |
| Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 25.00 | 14.0 | 14.80 | Auto | |
| Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 6.00 | 40.0 | 22.00 | Auto | |
| Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 25.00 | 14.0 | 15.20 | Auto | |
| Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2 | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 27.50 | 15.4 | 16.72 | Auto | |
| Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3 | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 28.75 | 16.1 | 17.48 | Auto | |
| Material: 7 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Enrocado | | | | | | | | |
| Cohesion | Phi | UnitWeight | Ru | | | | | |
| | | | | 5.00 | 40.0 | 20.00 | Auto | |

Water Properties

Unit weight of water: 9.810 Unit weight of water/medium above ground: 9.810

Material Profiles (7 profiles)

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Profile: 1 (6 points) | Material beneath: 1 - Espaldones | | | | | | | | |
| -31.50 | 49.50 | 3.80 | 66.50 | 11.50 | 66.50 | 35.25 | 57.00 | 39.25 | 57.00 |

58.00 49.50
 Profile: 2 (9 points) Material within: 2 - Nucleo
 -42.00 49.50 -30.00 57.00 -28.00 57.00 -3.80 66.50 3.80 66.50
 -31.50 49.50 -27.50 45.50 -37.75 45.50 -42.00 49.50
 Profile: 3 (5 points) Material within: 3 - Filtro
 -30.00 57.00 -5.80 66.50 -3.80 66.50 -28.00 57.00 -30.00 57.00
 Profile: 4 (6 points) Material beneath: 7 - Enrocado
 -58.00 49.50 -39.25 57.00 -35.25 57.00 -4.00 69.50 4.00 69.50
 11.50 66.50
 Profile: 5 (6 points) Material beneath: 4 - Cimiento
 -58.00 49.50 -42.00 49.50 -37.75 45.50 -27.50 45.50 -31.50 49.50
 58.00 49.50
 Profile: 6 (2 points) Material beneath: 5 - Cimiento2
 -58.00 40.00 58.00 40.00
 Profile: 7 (2 points) Material beneath: 6 - Cimiento3
 -58.00 35.00 58.00 35.00

Slope Surface (8 points)

 -58.00 49.50 -39.25 57.00 -35.25 57.00 -4.00 69.50 4.00 69.50
 35.25 57.00 39.25 57.00 58.00 49.50

Phreatic Surface (5 points)

 -70.00 67.50 -9.00 67.50 -5.80 66.50 -28.00 57.00 -31.50 49.50

Failure Surface

 Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

Intersects: XL: -56.70 YL: 50.02 XR: -3.10 YR: 69.50
 Centre: XC: -36.83 YC: 78.83 Radius: R: 35.00

Earthquake Force

 Pseudo-static earthquake (seismic) coefficient: 0.200

Variable Restraints

 Parameter descriptor: XL XR R
 Range of variation: 2.40 6.00 36.70

Trial positions within range: 2 2 2

RESULTS: Analysis 1

Spencer-Wright Method of Analysis - Circular Failure Surface

Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 1.06

There were: 3 successful analyses from a total of 9 trial circles
 4 analyses terminated due to unacceptable geometry
 2 analyses that failed to produce a result

Critical (minimum) Factor of Safety: 1.06

Final Angle of Interslice Forces: 8.6 degrees

Negative interslice forces exist on one or more slices - examine slice data and consult the GALENA Help utility
Effective stress line of thrust is not within one or more slices - examine slice data and consult
the GALENA Help utility

Circle and Results Summary (Lowest Factor of Safety circles)

| Circle | X-Left | Y-Left | X-Right | Y-Right | X-Centre | Y-Centre | Radius | FoS |
|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1 | -56.70 | 50.02 | -3.10 | 69.50 | -36.83 | 78.83 | 35.00 | 1.056 |
| 2 | -57.90 | 49.54 | -0.10 | 69.50 | -43.27 | 100.85 | 53.35 | 1.441 |
| 3 | -55.50 | 50.50 | -0.10 | 69.50 | -42.27 | 102.18 | 53.35 | 1.553 |

Critical Failure Circle

Intersects: XL: -56.70 YL: 50.02 XR: -3.10 YR: 69.50
 Centre: XC: -36.83 YC: 78.83 Radius: R: 35.00

Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -56.70 | 50.02 | -53.72 | 48.18 | -50.56 | 46.64 | -47.27 | 45.43 | -43.88 | 44.55 |
| -40.41 | 44.02 | -36.91 | 43.83 | -33.41 | 44.00 | -29.94 | 44.52 | -26.54 | 45.38 |
| -23.24 | 46.58 | -20.08 | 48.10 | -17.09 | 49.93 | -14.30 | 52.05 | -11.73 | 54.44 |
| -9.42 | 57.08 | -7.38 | 59.93 | -5.63 | 62.97 | -4.20 | 66.17 | -3.10 | 69.50 |

Slice Geometry and Properties (44 slices)

| Slice | X-S | | | | | Base | | | | Weight | PoreWater Force | --- Left Hand Side ---- | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------|----------|------|------------|--------|-----------------|-------------------------|------|--|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Side Force | | | l/h | l'/h | |
| 1 | -56.70 | 0.36 | -31.7 | 0.84 | 0.99 | 7 | 5.00 | 40.0 | 7.20 | 172.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 2 | -55.86 | 1.50 | -31.7 | 1.07 | 1.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 28.32 | 226.37 | 34.18 | 0.38 | 0.33 | |
| 3 | -54.79 | 2.67 | -31.7 | 1.07 | 1.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 48.26 | 234.54 | 92.53 | 0.35 | 0.33 | |
| 4 | -53.72 | 5.89 | -26.0 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 104.86 | 338.98 | 156.25 | 0.35 | 0.33 | |
| 5 | -52.14 | 8.09 | -26.0 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 143.14 | 352.19 | 236.69 | 0.35 | 0.33 | |
| 6 | -50.56 | 10.64 | -20.2 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 187.77 | 364.00 | 324.01 | 0.34 | 0.33 | |
| 7 | -48.92 | 12.72 | -20.2 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 224.58 | 374.43 | 398.35 | 0.34 | 0.33 | |
| 8 | -47.27 | 15.14 | -14.5 | 1.70 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 267.93 | 383.42 | 476.64 | 0.33 | 0.33 | |
| 9 | -45.58 | 17.04 | -14.5 | 1.70 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 302.30 | 390.97 | 536.99 | 0.33 | 0.33 | |
| 10 | -43.88 | 10.20 | -8.7 | 0.94 | 0.95 | 4 | 25.00 | 14.0 | 181.31 | 214.60 | 598.90 | 0.33 | 0.33 | |
| 11 | -42.94 | 10.69 | -8.7 | 0.94 | 0.95 | 4 | 25.00 | 14.0 | 190.43 | 215.95 | 620.69 | 0.33 | 0.33 | |
| 12 | -42.00 | 19.17 | -8.7 | 1.59 | 1.61 | 4 | 25.00 | 14.0 | 338.06 | 368.09 | 642.41 | 0.33 | 0.33 | |
| 13 | -40.41 | 14.86 | -3.0 | 1.16 | 1.16 | 4 | 25.00 | 14.0 | 257.22 | 268.49 | 677.92 | 0.32 | 0.33 | |
| 14 | -39.25 | 19.62 | -3.0 | 1.50 | 1.50 | 4 | 25.00 | 14.0 | 333.23 | 347.49 | 687.49 | 0.33 | 0.33 | |
| 15 | -37.75 | 11.03 | -3.0 | 0.84 | 0.84 | 4 | 25.00 | 14.0 | 183.86 | 194.99 | 698.59 | 0.34 | 0.33 | |
| 16 | -36.91 | 21.79 | 2.7 | 1.66 | 1.66 | 4 | 25.00 | 14.0 | 356.45 | 385.28 | 704.39 | 0.35 | 0.33 | |
| 17 | -35.25 | 12.20 | 2.7 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 196.40 | 213.18 | 698.34 | 0.37 | 0.33 | |
| 18 | -34.33 | 12.50 | 2.7 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 199.82 | 212.78 | 694.79 | 0.37 | 0.33 | |
| 19 | -33.41 | 13.21 | 8.5 | 0.95 | 0.96 | 4 | 25.00 | 14.0 | 209.81 | 221.63 | 690.62 | 0.37 | 0.33 | |
| 20 | -32.45 | 13.44 | 8.5 | 0.95 | 0.96 | 4 | 25.00 | 14.0 | 212.06 | 220.28 | 677.35 | 0.37 | 0.33 | |
| 21 | -31.50 | 21.60 | 8.5 | 1.50 | 1.52 | 4 | 25.00 | 14.0 | 340.46 | 99.80 | 663.63 | 0.37 | 0.33 | |
| 22 | -30.00 | 14.67 | 13.9 | 1.00 | 1.03 | 4 | 25.00 | 14.0 | 285.40 | 92.51 | 687.42 | 0.35 | 0.33 | |
| 23 | -29.00 | 14.82 | 14.2 | 1.00 | 1.03 | 4 | 25.00 | 14.0 | 290.33 | 111.77 | 685.24 | 0.34 | 0.33 | |
| 24 | -28.00 | 7.46 | 14.2 | 0.50 | 0.52 | 4 | 25.00 | 14.0 | 147.01 | 60.88 | 676.63 | 0.33 | 0.33 | |
| 25 | -27.50 | 14.43 | 14.2 | 0.96 | 0.99 | 4 | 25.00 | 14.0 | 285.68 | 118.12 | 670.52 | 0.33 | 0.33 | |
| 26 | -26.54 | 24.94 | 20.0 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 498.79 | 211.50 | 657.31 | 0.33 | 0.33 | |
| 27 | -24.89 | 25.04 | 20.0 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 507.65 | 213.33 | 619.20 | 0.32 | 0.33 | |
| 28 | -23.24 | 23.95 | 25.7 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 492.70 | 213.51 | 574.37 | 0.32 | 0.33 | |
| 29 | -21.66 | 23.74 | 25.7 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 496.36 | 212.05 | 512.95 | 0.33 | 0.33 | |
| 30 | -20.08 | 16.97 | 31.5 | 1.14 | 1.34 | 4 | 25.00 | 14.0 | 360.12 | 160.11 | 444.80 | 0.35 | 0.33 | |
| 31 | -18.94 | 16.69 | 31.5 | 1.14 | 1.34 | 4 | 25.00 | 14.0 | 359.45 | 157.35 | 381.38 | 0.37 | 0.33 | |
| 32 | -17.80 | 10.16 | 31.5 | 0.71 | 0.83 | 3 | 6.00 | 40.0 | 220.45 | 95.73 | 314.32 | 0.42 | 0.33 | |
| 33 | -17.09 | 19.66 | 37.2 | 1.40 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 426.47 | 197.88 | 316.37 | 0.40 | 0.33 | |
| 34 | -15.70 | 18.96 | 37.2 | 1.40 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 411.03 | 189.93 | 302.12 | 0.37 | 0.33 | |
| 35 | -14.30 | 16.67 | 42.9 | 1.28 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 361.02 | 180.40 | 284.50 | 0.34 | 0.33 | |
| 36 | -13.02 | 15.79 | 42.9 | 1.28 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 341.76 | 169.30 | 253.30 | 0.32 | 0.33 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------|--------|--------------|-------|------|---|-------------|----------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 37 | -11.73 | 13.36 | 48.7 | 1.16 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 288.64 | 156.68 | 220.39 | 0.30 | 0.33 |
| 38 | -10.58 | 12.37 | 48.7 | 1.16 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 266.88 | 142.55 | 180.32 | 0.28 | 0.33 |
| 39 | -9.42 | 4.20 | 54.4 | 0.42 | 0.72 | 3 | 6.00 | 40.0 | 90.59 | 54.13 | 140.45 | 0.26 | 0.34 |
| 40 | -9.00 | 14.64 | 54.4 | 1.62 | 2.79 | 3 | 6.00 | 40.0 | 314.80 | 182.78 | 123.39 | 0.25 | 0.34 |
| 41 | -7.38 | 7.15 | 60.2 | 0.94 | 1.89 | 3 | 6.00 | 40.0 | 152.92 | 98.02 | 60.63 | 0.24 | 0.34 |
| 42 | -6.44 | 4.16 | 60.2 | 0.64 | 1.28 | 3 | 6.00 | 40.0 | 88.54 | 53.23 | 23.19 | 0.35 | 0.33 |
| 43 | -5.80 | 7.53 | 65.4 | 1.60 | 3.84 | 3 | 6.00 | 40.0 | 157.27 | 0.00 | 0.38 | 19.26 | -1.75 |
| 44 | -4.20 | 1.84 | 71.7 | 1.10 | 3.51 | 7 | 5.00 | 40.0 | 36.73 | 0.00 | 13.86 | 0.49 | 0.49 |
| RHS | -3.10 | ----- | | ----- | | | | | ----- | | -0.72 | 0.00 | 0.00 |
| | X-S Area: | 583.56 | Path Length: | 66.63 | | | X-S Weight: | 11194.08 | | | | | |

DATA: Analysis 2

Material Properties (7 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00  28.0   16.70   Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0   14.80   Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    6.00  40.0   22.00   Auto
Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0   15.20   Auto
Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    27.50  15.4   16.72   Auto
Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    28.75  16.1   17.48   Auto
Material: 7 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Enrocado
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    5.00  40.0   20.00   Auto

```

Water Properties

Unit weight of water: 9.810 Unit weight of water/medium above ground: 9.810

Material Profiles (7 profiles)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--|
| Profile: 1 (6 points) | Material beneath: 1 - Espaldones | | | | | | | | | |
| -31.50 | 49.50 | 3.80 | 66.50 | 11.50 | 66.50 | 35.25 | 57.00 | 39.25 | 57.00 | |
| 58.00 | 49.50 | | | | | | | | | |
| Profile: 2 (9 points) | Material within: 2 - Nucleo | | | | | | | | | |
| -42.00 | 49.50 | -30.00 | 57.00 | -28.00 | 57.00 | -3.80 | 66.50 | 3.80 | 66.50 | |
| -31.50 | 49.50 | -27.50 | 45.50 | -37.75 | 45.50 | -42.00 | 49.50 | | | |
| Profile: 3 (5 points) | Material within: 3 - Filtro | | | | | | | | | |
| -30.00 | 57.00 | -5.80 | 66.50 | -3.80 | 66.50 | -28.00 | 57.00 | -30.00 | 57.00 | |
| Profile: 4 (6 points) | Material beneath: 7 - Enrocado | | | | | | | | | |
| -58.00 | 49.50 | -39.25 | 57.00 | -35.25 | 57.00 | -4.00 | 69.50 | 4.00 | 69.50 | |
| 11.50 | 66.50 | | | | | | | | | |
| Profile: 5 (6 points) | Material beneath: 4 - Cimiento | | | | | | | | | |
| -58.00 | 49.50 | -42.00 | 49.50 | -37.75 | 45.50 | -27.50 | 45.50 | -31.50 | 49.50 | |
| 58.00 | 49.50 | | | | | | | | | |
| Profile: 6 (2 points) | Material beneath: 5 - Cimiento2 | | | | | | | | | |
| -58.00 | 40.00 | 58.00 | 40.00 | | | | | | | |
| Profile: 7 (2 points) | Material beneath: 6 - Cimiento3 | | | | | | | | | |
| -58.00 | 35.00 | 58.00 | 35.00 | | | | | | | |

Slope Surface (8 points)

| | | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|--|
| -58.00 | 49.50 | -39.25 | 57.00 | -35.25 | 57.00 | -4.00 | 69.50 | 4.00 | 69.50 | |
| 35.25 | 57.00 | 39.25 | 57.00 | 58.00 | 49.50 | | | | | |

Phreatic Surface (5 points)

| | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--|
| -70.00 | 67.50 | -9.00 | 67.50 | -5.80 | 66.50 | -28.00 | 57.00 | -31.50 | 49.50 | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--|

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-------|------------|-------|-----|-------|--|--|--|
| Intersects: XL: | -56.70 | YL: | 50.02 | XR: | -3.10 | YR: | 69.50 | | | |
| Centre: XC: | -36.83 | YC: | 78.83 | Radius: R: | | | 35.00 | | | |

Variable Restraints

```

-----
Parameter descriptor:          XL          XR          R
Range of variation:           2.40        6.00        36.70
Trial positions within range:  2          2          2
-----

```

RESULTS: Analysis 2

Spencer-Wright Method of Analysis - Circular Failure Surface

Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 2.87

There were: 5 successful analyses from a total of 9 trial circles
4 analyses terminated due to unacceptable geometry

Critical (minimum) Factor of Safety: 2.87

Final Angle of Interslice Forces: 16.1 degrees

Circle and Results Summary (Lowest 3 Factor of Safety circles)

```

-----
Circle  X-Left  Y-Left  X-Right  Y-Right  X-Centre  Y-Centre  Radius  FoS
1       -56.70  50.02   -3.10    69.50    -36.83    78.83    35.00   2.872
2       -57.90  49.54   -0.10    69.50    -43.27    100.85   53.35   3.794
3       -55.50  50.50   -0.10    69.50    -42.27    102.18   53.35   4.106
4       -57.90  49.54   -6.10    68.66    -47.81    101.93   53.35   6.431
5       -55.50  50.50   -6.10    68.66    -46.81    103.14   53.35   8.029
-----

```

Critical Failure Circle

```

-----
Intersects: XL:   -56.70  YL:   50.02  XR:   -3.10  YR:   69.50
Centre:  XC:   -36.83  YC:   78.83  Radius:  R:   35.00
-----

```

Generated failure surface: (20 points)

```

-56.70  50.02  -53.72  48.18  -50.56  46.64  -47.27  45.43  -43.88  44.55
-40.41  44.02  -36.91  43.83  -33.41  44.00  -29.94  44.52  -26.54  45.38
-23.24  46.58  -20.08  48.10  -17.09  49.93  -14.30  52.05  -11.73  54.44
-9.42   57.08  -7.38   59.93  -5.63   62.97  -4.20   66.17  -3.10   69.50
-----

```

Slice Geometry and Properties (44 slices)

| Slice | X-S | | | | | Base | | | | Weight | PoreWater Force | --- Left Hand Side ---- | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------|----------|------|------------|--------|--------------------|-------------------------|------|--|
| | X-Left | Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Side Force | | | l/h | l'/h | |
| 1 | -56.70 | 0.36 | -31.7 | 0.84 | 0.99 | 7 | 5.00 | 40.0 | 7.20 | 172.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 2 | -55.86 | 1.50 | -31.7 | 1.07 | 1.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 28.32 | 226.37 | 10.04 | 0.45 | 0.33 | |
| 3 | -54.79 | 2.67 | -31.7 | 1.07 | 1.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 48.26 | 234.54 | 41.54 | 0.36 | 0.33 | |
| 4 | -53.72 | 5.89 | -26.0 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 104.86 | 338.98 | 81.44 | 0.36 | 0.33 | |
| 5 | -52.14 | 8.09 | -26.0 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 143.14 | 352.19 | 139.31 | 0.36 | 0.33 | |
| 6 | -50.56 | 10.64 | -20.2 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 187.77 | 364.00 | 209.75 | 0.36 | 0.33 | |
| 7 | -48.92 | 12.72 | -20.2 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 224.58 | 374.43 | 277.28 | 0.36 | 0.33 | |
| 8 | -47.27 | 15.14 | -14.5 | 1.70 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 267.93 | 383.42 | 354.11 | 0.35 | 0.33 | |
| 9 | -45.58 | 17.04 | -14.5 | 1.70 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 302.30 | 390.97 | 421.68 | 0.35 | 0.33 | |
| 10 | -43.88 | 10.20 | -8.7 | 0.94 | 0.95 | 4 | 25.00 | 14.0 | 181.31 | 214.60 | 495.70 | 0.35 | 0.33 | |
| 11 | -42.94 | 10.69 | -8.7 | 0.94 | 0.95 | 4 | 25.00 | 14.0 | 190.43 | 215.95 | 527.40 | 0.35 | 0.33 | |
| 12 | -42.00 | 19.17 | -8.7 | 1.59 | 1.61 | 4 | 25.00 | 14.0 | 338.06 | 368.09 | 560.29 | 0.35 | 0.33 | |
| 13 | -40.41 | 14.86 | -3.0 | 1.16 | 1.16 | 4 | 25.00 | 14.0 | 257.22 | 268.49 | 617.31 | 0.35 | 0.33 | |
| 14 | -39.25 | 19.62 | -3.0 | 1.50 | 1.50 | 4 | 25.00 | 14.0 | 333.23 | 347.49 | 645.29 | 0.35 | 0.33 | |
| 15 | -37.75 | 11.03 | -3.0 | 0.84 | 0.84 | 4 | 25.00 | 14.0 | 183.86 | 194.99 | 680.91 | 0.37 | 0.33 | |
| 16 | -36.91 | 21.79 | 2.7 | 1.66 | 1.66 | 4 | 25.00 | 14.0 | 356.45 | 385.28 | 700.37 | 0.38 | 0.34 | |
| 17 | -35.25 | 12.20 | 2.7 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 196.40 | 213.18 | 721.38 | 0.40 | 0.33 | |
| 18 | -34.33 | 12.50 | 2.7 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 199.82 | 212.78 | 732.94 | 0.40 | 0.33 | |
| 19 | -33.41 | 13.21 | 8.5 | 0.95 | 0.96 | 4 | 25.00 | 14.0 | 209.81 | 221.63 | 744.51 | 0.40 | 0.33 | |
| 20 | -32.45 | 13.44 | 8.5 | 0.95 | 0.96 | 4 | 25.00 | 14.0 | 212.06 | 220.28 | 748.03 | 0.40 | 0.33 | |
| 21 | -31.50 | 21.60 | 8.5 | 1.50 | 1.52 | 4 | 25.00 | 14.0 | 340.46 | 99.80 | 751.55 | 0.40 | 0.33 | |
| 22 | -30.00 | 14.67 | 13.9 | 1.00 | 1.03 | 4 | 25.00 | 14.0 | 285.40 | 92.51 | 786.61 | 0.39 | 0.33 | |
| 23 | -29.00 | 14.82 | 14.2 | 1.00 | 1.03 | 4 | 25.00 | 14.0 | 290.33 | 111.77 | 798.15 | 0.38 | 0.33 | |
| 24 | -28.00 | 7.46 | 14.2 | 0.50 | 0.52 | 4 | 25.00 | 14.0 | 147.01 | 60.88 | 806.26 | 0.38 | 0.33 | |
| 25 | -27.50 | 14.43 | 14.2 | 0.96 | 0.99 | 4 | 25.00 | 14.0 | 285.68 | 118.12 | 809.34 | 0.37 | 0.33 | |
| 26 | -26.54 | 24.94 | 20.0 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 498.79 | 211.50 | 814.16 | 0.37 | 0.33 | |
| 27 | -24.89 | 25.04 | 20.0 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 507.65 | 213.33 | 805.70 | 0.36 | 0.33 | |
| 28 | -23.24 | 23.95 | 25.7 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 492.70 | 213.51 | 791.39 | 0.36 | 0.33 | |
| 29 | -21.66 | 23.74 | 25.7 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 496.36 | 212.05 | 756.78 | 0.36 | 0.33 | |
| 30 | -20.08 | 16.97 | 31.5 | 1.14 | 1.34 | 4 | 25.00 | 14.0 | 360.12 | 160.11 | 715.67 | 0.36 | 0.33 | |
| 31 | -18.94 | 16.69 | 31.5 | 1.14 | 1.34 | 4 | 25.00 | 14.0 | 359.45 | 157.35 | 668.96 | 0.37 | 0.33 | |
| 32 | -17.80 | 10.16 | 31.5 | 0.71 | 0.83 | 3 | 6.00 | 40.0 | 220.45 | 95.73 | 618.44 | 0.38 | 0.33 | |
| 33 | -17.09 | 19.66 | 37.2 | 1.40 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 426.47 | 197.88 | 608.22 | 0.37 | 0.33 | |
| 34 | -15.70 | 18.96 | 37.2 | 1.40 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 411.03 | 189.93 | 569.39 | 0.37 | 0.33 | |
| 35 | -14.30 | 16.67 | 42.9 | 1.28 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 361.02 | 180.40 | 528.00 | 0.36 | 0.33 | |
| 36 | -13.02 | 15.79 | 42.9 | 1.28 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 341.76 | 169.30 | 473.57 | 0.35 | 0.33 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------|--------|--------------|-------|------|---|-------------|----------|--------|--------|--------|------|------|
| 37 | -11.73 | 13.36 | 48.7 | 1.16 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 288.64 | 156.68 | 418.37 | 0.35 | 0.33 |
| 38 | -10.58 | 12.37 | 48.7 | 1.16 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 266.88 | 142.55 | 356.06 | 0.34 | 0.33 |
| 39 | -9.42 | 4.20 | 54.4 | 0.42 | 0.72 | 3 | 6.00 | 40.0 | 90.59 | 54.13 | 295.06 | 0.34 | 0.33 |
| 40 | -9.00 | 14.64 | 54.4 | 1.62 | 2.79 | 3 | 6.00 | 40.0 | 314.80 | 182.78 | 269.22 | 0.34 | 0.33 |
| 41 | -7.38 | 7.15 | 60.2 | 0.94 | 1.89 | 3 | 6.00 | 40.0 | 152.92 | 98.02 | 174.53 | 0.35 | 0.33 |
| 42 | -6.44 | 4.16 | 60.2 | 0.64 | 1.28 | 3 | 6.00 | 40.0 | 88.54 | 53.23 | 116.56 | 0.38 | 0.33 |
| 43 | -5.80 | 7.53 | 65.4 | 1.60 | 3.84 | 3 | 6.00 | 40.0 | 157.27 | 0.00 | 80.93 | 0.44 | 0.32 |
| 44 | -4.20 | 1.84 | 71.7 | 1.10 | 3.51 | 7 | 5.00 | 40.0 | 36.73 | 0.00 | 31.51 | 0.46 | 0.46 |
| RHS | -3.10 | ----- | | ----- | | | | | ----- | | 0.06 | 0.00 | 0.00 |
| | X-S Area: | 583.56 | Path Length: | 66.63 | | | X-S Weight: | 11194.08 | | | | | |

DATA: Analysis 3

Material Properties (7 materials)

```

-----
Material: 1 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Espaldones
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    15.00  28.0   16.70   Auto
Material: 2 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Nucleo
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0   14.80   Auto
Material: 3 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Filtro
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    6.00  40.0   22.00   Auto
Material: 4 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    25.00  14.0   15.20   Auto
Material: 5 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento2
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    27.50  15.4   16.72   Auto
Material: 6 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Cimiento3
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    28.75  16.1   17.48   Auto
Material: 7 (Mohr-Coulomb Isotropic) - Enrocado
  Cohesion  Phi  UnitWeight  Ru
    5.00  40.0   20.00   Auto

```

Water Properties

 Unit weight of water: 9.810 Unit weight of water/medium above ground: 9.810

Material Profiles (7 profiles)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--|--|--|
| Profile: 1 (6 points) | Material beneath: 1 - Espaldones | | | | | | | | | |
| -31.50 49.50 | 3.80 66.50 | 11.50 | 66.50 | 35.25 | 57.00 | 39.25 | 57.00 | | | |
| 58.00 49.50 | | | | | | | | | | |
| Profile: 2 (9 points) | Material within: 2 - Nucleo | | | | | | | | | |
| -42.00 49.50 | -30.00 57.00 | -28.00 | 57.00 | -3.80 | 66.50 | 3.80 | 66.50 | | | |
| -31.50 49.50 | -27.50 45.50 | -37.75 | 45.50 | -42.00 | 49.50 | | | | | |
| Profile: 3 (5 points) | Material within: 3 - Filtro | | | | | | | | | |
| -30.00 57.00 | -5.80 66.50 | -3.80 | 66.50 | -28.00 | 57.00 | -30.00 | 57.00 | | | |
| Profile: 4 (6 points) | Material beneath: 7 - Enrocado | | | | | | | | | |
| -58.00 49.50 | -39.25 57.00 | -35.25 | 57.00 | -4.00 | 69.50 | 4.00 | 69.50 | | | |
| 11.50 66.50 | | | | | | | | | | |
| Profile: 5 (6 points) | Material beneath: 4 - Cimiento | | | | | | | | | |
| -58.00 49.50 | -42.00 49.50 | -37.75 | 45.50 | -27.50 | 45.50 | -31.50 | 49.50 | | | |
| 58.00 49.50 | | | | | | | | | | |
| Profile: 6 (2 points) | Material beneath: 5 - Cimiento2 | | | | | | | | | |
| -58.00 40.00 | 58.00 40.00 | | | | | | | | | |
| Profile: 7 (2 points) | Material beneath: 6 - Cimiento3 | | | | | | | | | |
| -58.00 35.00 | 58.00 35.00 | | | | | | | | | |

Slope Surface (8 points)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|--|--|--|
| -58.00 49.50 | -39.25 57.00 | -35.25 | 57.00 | -4.00 | 69.50 | 4.00 | 69.50 | | | |
| 35.25 57.00 | 39.25 57.00 | 58.00 | 49.50 | | | | | | | |

Phreatic Surface (5 points)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--|--|--|
| -70.00 67.50 | -9.00 67.50 | -5.80 | 66.50 | -28.00 | 57.00 | -31.50 | 49.50 | | | |
|-----------------|----------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--|--|--|

Failure Surface

Initial circular surface for critical search defined by: XL, XR, R

| | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Intersects: XL: -56.70 | YL: 50.02 | XR: -3.10 | YR: 69.50 |
| Centre: XC: -36.83 | YC: 78.83 | Radius: R: 35.00 | |

Earthquake Force

Pseudo-static earthquake (seismic) coefficient: 0.150

Variable Restraints

Parameter descriptor: XL XR R
Range of variation: 2.40 6.00 36.70
Trial positions within range: 2 2 2

RESULTS: Analysis 3

Spencer-Wright Method of Analysis - Circular Failure Surface

Critical Failure Circle Search using Multiple Circle Generation Techniques

Factor of Safety for initial failure circle approximation: 1.27

There were: 5 successful analyses from a total of 9 trial circles
 4 analyses terminated due to unacceptable geometry

Critical (minimum) Factor of Safety: 1.27

Final Angle of Interslice Forces: 10.4 degrees

Negative interslice forces exist on one or more slices - examine slice data and consult the GALENA Help utility

Circle and Results Summary (Lowest 5 Factor of Safety circles)

Circle X-Left Y-Left X-Right Y-Right X-Centre Y-Centre Radius FoS
1 -56.70 50.02 -3.10 69.50 -36.83 78.83 35.00 1.275
2 -57.90 49.54 -0.10 69.50 -43.27 100.85 53.35 1.731
3 -55.50 50.50 -0.10 69.50 -42.27 102.18 53.35 1.864
4 -57.90 49.54 -6.10 68.66 -47.81 101.93 53.35 2.322
5 -55.50 50.50 -6.10 68.66 -46.81 103.14 53.35 2.676

Critical Failure Circle

Intersects: XL: -56.70 YL: 50.02 XR: -3.10 YR: 69.50
 Centre: XC: -36.83 YC: 78.83 Radius: R: 35.00
Generated failure surface: (20 points)

| | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -56.70 | 50.02 | -53.72 | 48.18 | -50.56 | 46.64 | -47.27 | 45.43 | -43.88 | 44.55 |
| -40.41 | 44.02 | -36.91 | 43.83 | -33.41 | 44.00 | -29.94 | 44.52 | -26.54 | 45.38 |
| -23.24 | 46.58 | -20.08 | 48.10 | -17.09 | 49.93 | -14.30 | 52.05 | -11.73 | 54.44 |
| -9.42 | 57.08 | -7.38 | 59.93 | -5.63 | 62.97 | -4.20 | 66.17 | -3.10 | 69.50 |

Slice Geometry and Properties (44 slices)

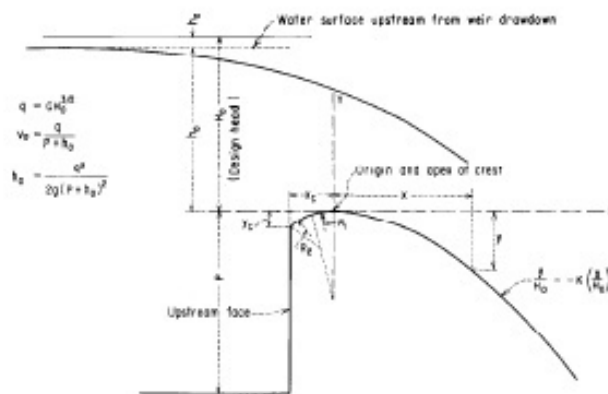
| Slice | X-Left | X-S Area | Angle | Width | Length | Matl | Cohesion | Phi | Weight | PoreWater Force | --- Left Hand Side Side Force | l/h | 1'/h |
|-------|--------|-------------|-------|-------|--------|------|----------|------|--------|--------------------|----------------------------------|------|------|
| 1 | -56.70 | 0.36 | -31.7 | 0.84 | 0.99 | 7 | 5.00 | 40.0 | 7.20 | 172.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -55.86 | 1.50 | -31.7 | 1.07 | 1.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 28.32 | 226.37 | 24.42 | 0.39 | 0.33 |
| 3 | -54.79 | 2.67 | -31.7 | 1.07 | 1.26 | 4 | 25.00 | 14.0 | 48.26 | 234.54 | 75.09 | 0.35 | 0.33 |
| 4 | -53.72 | 5.89 | -26.0 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 104.86 | 338.98 | 131.72 | 0.35 | 0.33 |
| 5 | -52.14 | 8.09 | -26.0 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 143.14 | 352.19 | 205.04 | 0.35 | 0.33 |
| 6 | -50.56 | 10.64 | -20.2 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 187.77 | 364.00 | 286.41 | 0.35 | 0.33 |
| 7 | -48.92 | 12.72 | -20.2 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 224.58 | 374.43 | 357.44 | 0.34 | 0.33 |
| 8 | -47.27 | 15.14 | -14.5 | 1.70 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 267.93 | 383.42 | 433.56 | 0.34 | 0.33 |
| 9 | -45.58 | 17.04 | -14.5 | 1.70 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 302.30 | 390.97 | 494.08 | 0.34 | 0.33 |
| 10 | -43.88 | 10.20 | -8.7 | 0.94 | 0.95 | 4 | 25.00 | 14.0 | 181.31 | 214.60 | 557.26 | 0.33 | 0.33 |
| 11 | -42.94 | 10.69 | -8.7 | 0.94 | 0.95 | 4 | 25.00 | 14.0 | 190.43 | 215.95 | 580.69 | 0.33 | 0.33 |
| 12 | -42.00 | 19.17 | -8.7 | 1.59 | 1.61 | 4 | 25.00 | 14.0 | 338.06 | 368.09 | 604.33 | 0.33 | 0.33 |
| 13 | -40.41 | 14.86 | -3.0 | 1.16 | 1.16 | 4 | 25.00 | 14.0 | 257.22 | 268.49 | 643.72 | 0.33 | 0.33 |
| 14 | -39.25 | 19.62 | -3.0 | 1.50 | 1.50 | 4 | 25.00 | 14.0 | 333.23 | 347.49 | 656.99 | 0.33 | 0.33 |
| 15 | -37.75 | 11.03 | -3.0 | 0.84 | 0.84 | 4 | 25.00 | 14.0 | 183.86 | 194.99 | 673.07 | 0.35 | 0.33 |
| 16 | -36.91 | 21.79 | 2.7 | 1.66 | 1.66 | 4 | 25.00 | 14.0 | 356.45 | 385.28 | 681.64 | 0.36 | 0.33 |
| 17 | -35.25 | 12.20 | 2.7 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 196.40 | 213.18 | 681.37 | 0.38 | 0.33 |
| 18 | -34.33 | 12.50 | 2.7 | 0.92 | 0.92 | 4 | 25.00 | 14.0 | 199.82 | 212.78 | 681.05 | 0.38 | 0.33 |
| 19 | -33.41 | 13.21 | 8.5 | 0.95 | 0.96 | 4 | 25.00 | 14.0 | 209.81 | 221.63 | 680.28 | 0.38 | 0.33 |
| 20 | -32.45 | 13.44 | 8.5 | 0.95 | 0.96 | 4 | 25.00 | 14.0 | 212.06 | 220.28 | 670.76 | 0.38 | 0.33 |
| 21 | -31.50 | 21.60 | 8.5 | 1.50 | 1.52 | 4 | 25.00 | 14.0 | 340.46 | 99.80 | 660.91 | 0.38 | 0.33 |
| 22 | -30.00 | 14.67 | 13.9 | 1.00 | 1.03 | 4 | 25.00 | 14.0 | 285.40 | 92.51 | 686.58 | 0.36 | 0.33 |
| 23 | -29.00 | 14.82 | 14.2 | 1.00 | 1.03 | 4 | 25.00 | 14.0 | 290.33 | 111.77 | 687.25 | 0.35 | 0.33 |
| 24 | -28.00 | 7.46 | 14.2 | 0.50 | 0.52 | 4 | 25.00 | 14.0 | 147.01 | 60.88 | 682.28 | 0.35 | 0.33 |
| 25 | -27.50 | 14.43 | 14.2 | 0.96 | 0.99 | 4 | 25.00 | 14.0 | 285.68 | 118.12 | 678.21 | 0.35 | 0.33 |
| 26 | -26.54 | 24.94 | 20.0 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 498.79 | 211.50 | 669.00 | 0.34 | 0.33 |
| 27 | -24.89 | 25.04 | 20.0 | 1.65 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 507.65 | 213.33 | 637.65 | 0.34 | 0.33 |
| 28 | -23.24 | 23.95 | 25.7 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 492.70 | 213.51 | 599.78 | 0.34 | 0.33 |
| 29 | -21.66 | 23.74 | 25.7 | 1.58 | 1.75 | 4 | 25.00 | 14.0 | 496.36 | 212.05 | 544.61 | 0.34 | 0.33 |
| 30 | -20.08 | 16.97 | 31.5 | 1.14 | 1.34 | 4 | 25.00 | 14.0 | 360.12 | 160.11 | 482.75 | 0.36 | 0.33 |
| 31 | -18.94 | 16.69 | 31.5 | 1.14 | 1.34 | 4 | 25.00 | 14.0 | 359.45 | 157.35 | 423.28 | 0.38 | 0.33 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------------|------|-------|-------------|------|----------|--------|--------|--------|------|------|
| 32 | -17.80 | 10.16 | 31.5 | 0.71 | 0.83 | 3 | 6.00 | 40.0 | 220.45 | 95.73 | 360.12 | 0.42 | 0.33 |
| 33 | -17.09 | 19.66 | 37.2 | 1.40 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 426.47 | 197.88 | 360.23 | 0.40 | 0.33 |
| 34 | -15.70 | 18.96 | 37.2 | 1.40 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 411.03 | 189.93 | 342.57 | 0.37 | 0.33 |
| 35 | -14.30 | 16.67 | 42.9 | 1.28 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 361.02 | 180.40 | 321.60 | 0.35 | 0.33 |
| 36 | -13.02 | 15.79 | 42.9 | 1.28 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 341.76 | 169.30 | 287.36 | 0.33 | 0.33 |
| 37 | -11.73 | 13.36 | 48.7 | 1.16 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 288.64 | 156.68 | 251.48 | 0.32 | 0.33 |
| 38 | -10.58 | 12.37 | 48.7 | 1.16 | 1.75 | 3 | 6.00 | 40.0 | 266.88 | 142.55 | 208.49 | 0.30 | 0.33 |
| 39 | -9.42 | 4.20 | 54.4 | 0.42 | 0.72 | 3 | 6.00 | 40.0 | 90.59 | 54.13 | 165.78 | 0.29 | 0.33 |
| 40 | -9.00 | 14.64 | 54.4 | 1.62 | 2.79 | 3 | 6.00 | 40.0 | 314.80 | 182.78 | 147.53 | 0.29 | 0.34 |
| 41 | -7.38 | 7.15 | 60.2 | 0.94 | 1.89 | 3 | 6.00 | 40.0 | 152.92 | 98.02 | 80.27 | 0.29 | 0.33 |
| 42 | -6.44 | 4.16 | 60.2 | 0.64 | 1.28 | 3 | 6.00 | 40.0 | 88.54 | 53.23 | 39.79 | 0.38 | 0.33 |
| 43 | -5.80 | 7.53 | 65.4 | 1.60 | 3.84 | 3 | 6.00 | 40.0 | 157.27 | 0.00 | 15.01 | 0.85 | 0.28 |
| 44 | -4.20 | 1.84 | 71.7 | 1.10 | 3.51 | 7 | 5.00 | 40.0 | 36.73 | 0.00 | 17.15 | 0.48 | 0.48 |
| RHS | -3.10 | ----- | | | ----- | | | | ----- | | -0.49 | 0.00 | 0.00 |
| X-S Area: | | 583.56 | Path Length: | | 66.63 | X-S Weight: | | 11194.08 | | | | | |

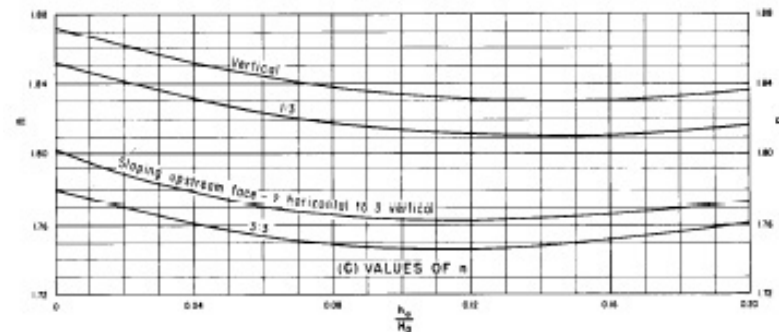
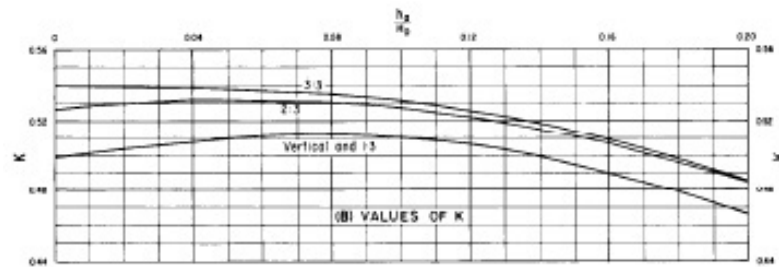
ANEXO B

Tablas para el diseño del aliviadero.

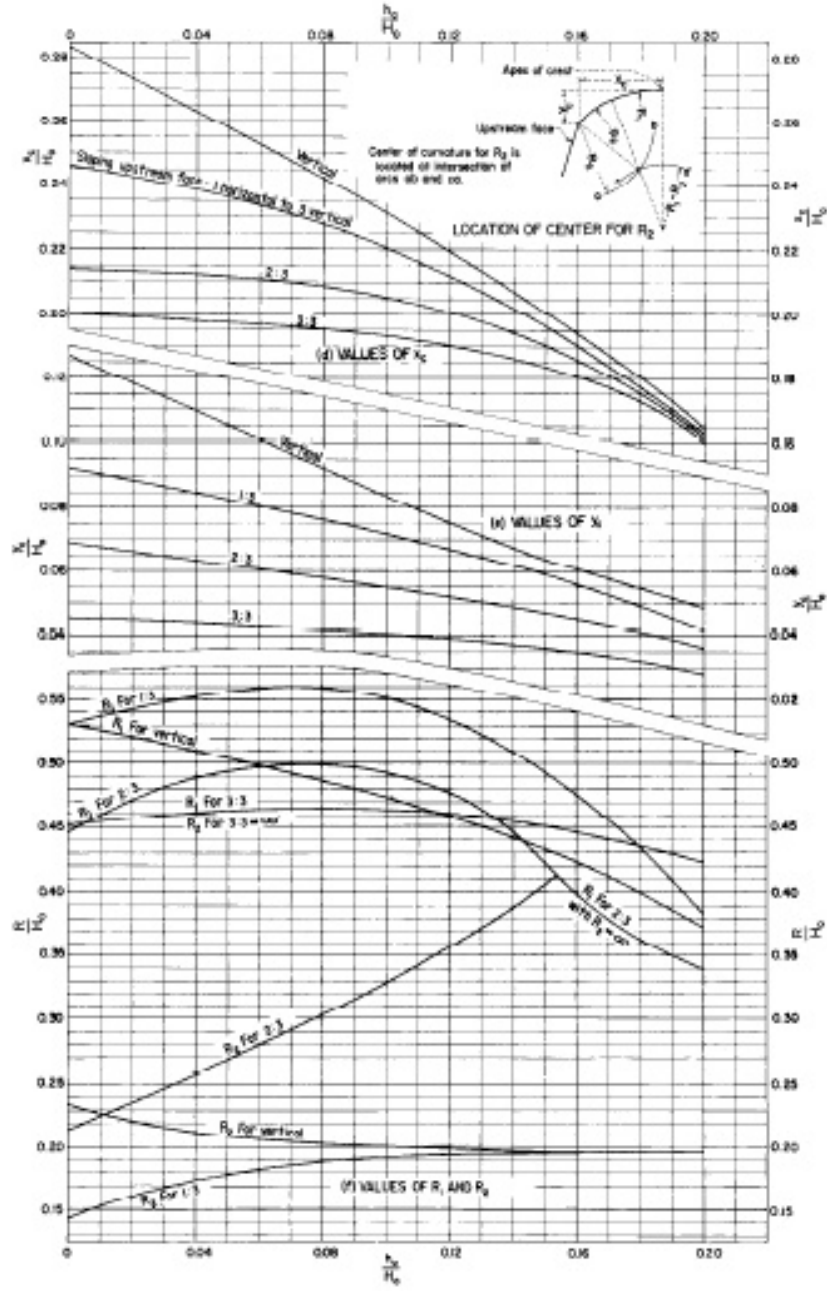
DESIGN OF SMALL DAMS



(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES

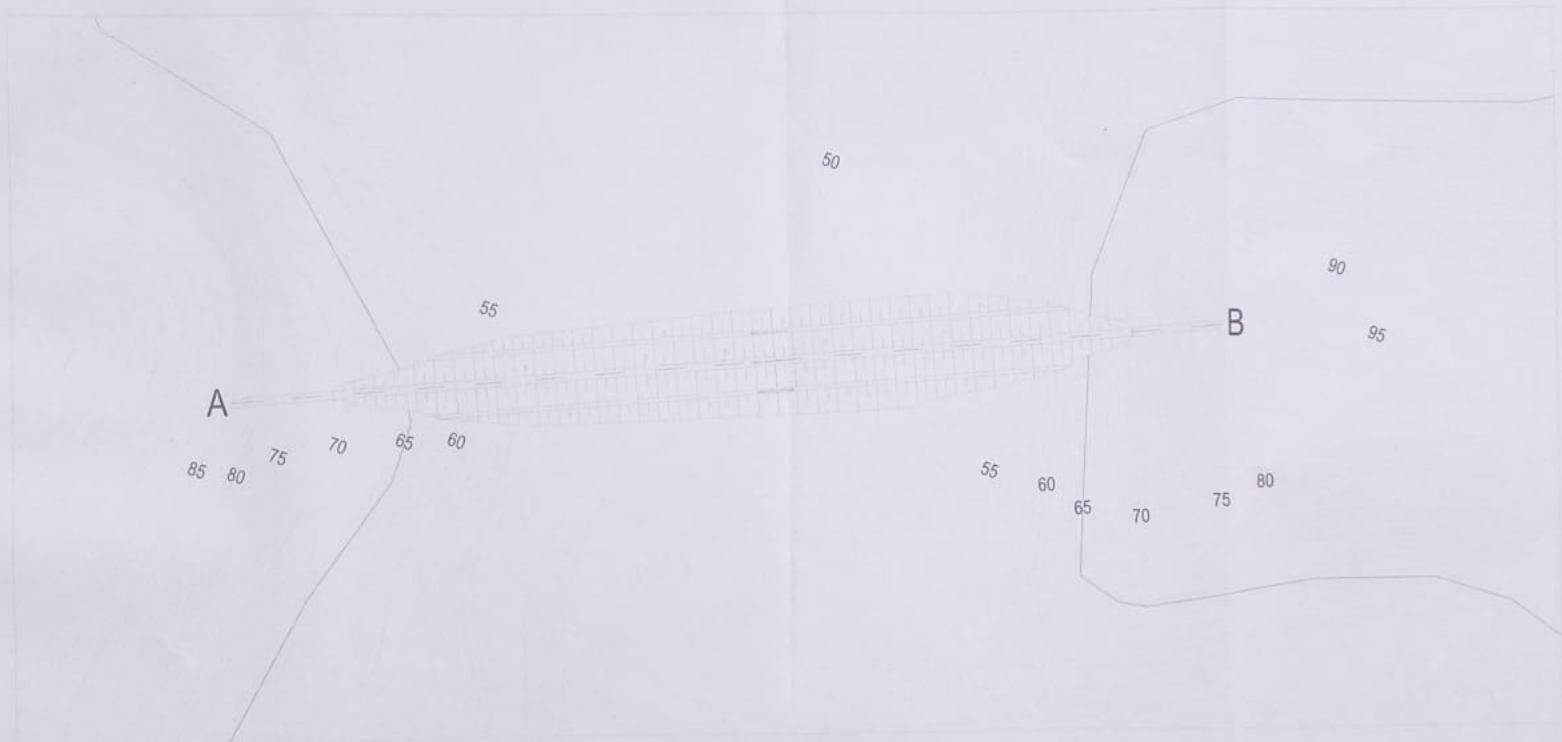


SPILLWAYS



ANEXO C

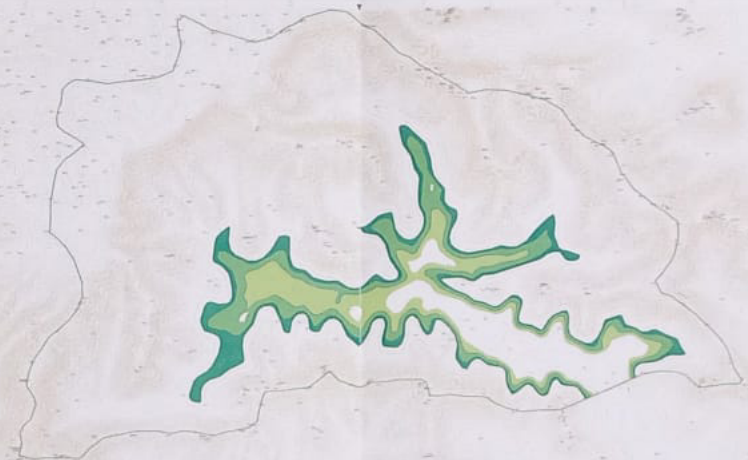
Planos.



Coordenadas de los puntos clave:

Eje de Presa: $A = X=610195.6123 \ Y=9869997.4177 \ Z= 85.0000$
 $B = X=611184.0994 \ Y=9870065.6009 \ Z= 85.0000$





| COTA | ÁREA (m ²) | ÁREA MEDIA (m ²) | Δh (m) | VOLUMEN (m ³) |
|------|------------------------|------------------------------|--------|---------------------------|
| 55 | 970000 | 0 | 1 | 0 |
| 56 | 1203200 | 1086600 | 1 | 1086600.00 |
| 57 | 1434400 | 1318800 | 1 | 2405400.00 |
| 58 | 1669600 | 1552000 | 1 | 3957400.00 |
| 59 | 1902800 | 1786200 | 1 | 5743600.00 |
| 60 | 2136000 | 2019400 | 1 | 7763000.00 |
| 61 | 2584800 | 2360400 | 1 | 10123400.00 |
| 62 | 3033600 | 2809200 | 1 | 12932600.00 |
| 63 | 3479400 | 3256500 | 1 | 16189100.00 |
| 64 | 3931200 | 3705300 | 1 | 19894400.00 |
| 65 | 4380000 | 4155600 | 1 | 24050000.00 |
| 66 | 4814800 | 4597400 | 1 | 28647400.00 |
| 67 | 5248800 | 5031800 | 1 | 33679200.00 |
| 68 | 5684400 | 5466600 | 1 | 39145800.00 |
| 69 | 6116200 | 5900300 | 1 | 45046100.00 |
| 70 | 6554000 | 6335100 | 1 | 51381200.00 |



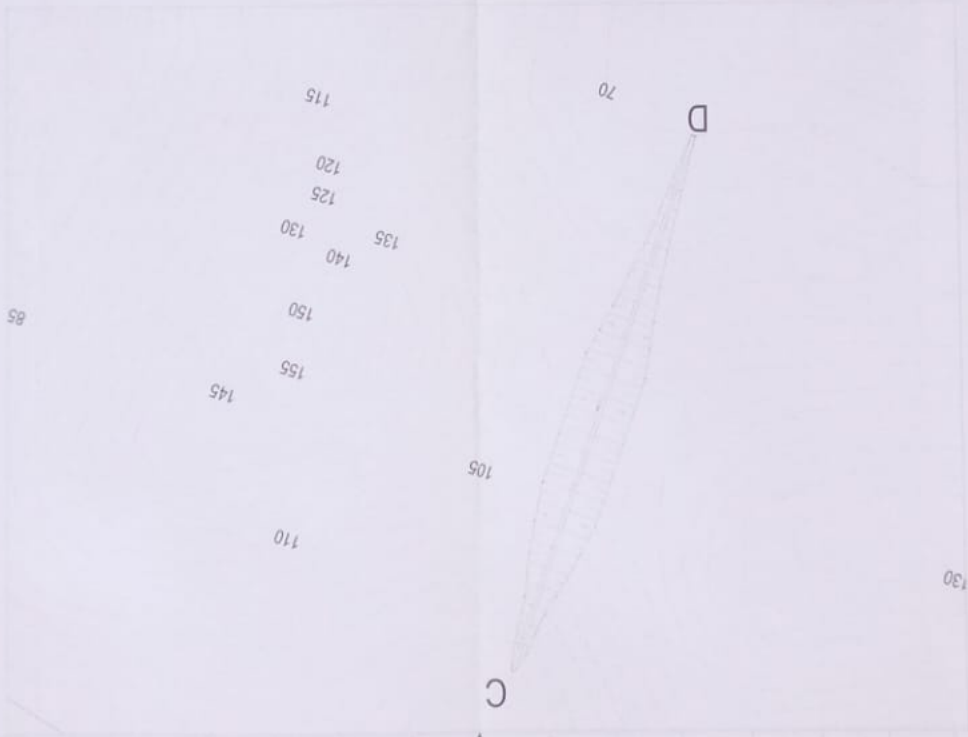
ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
CARRILLO DE ROSA Y ROSARIO



D = X=609178.1544 Y=9869754.3777 Z= 70.0000
C = X=609666.1004 Y=9870286.8038 Z= 71.0000

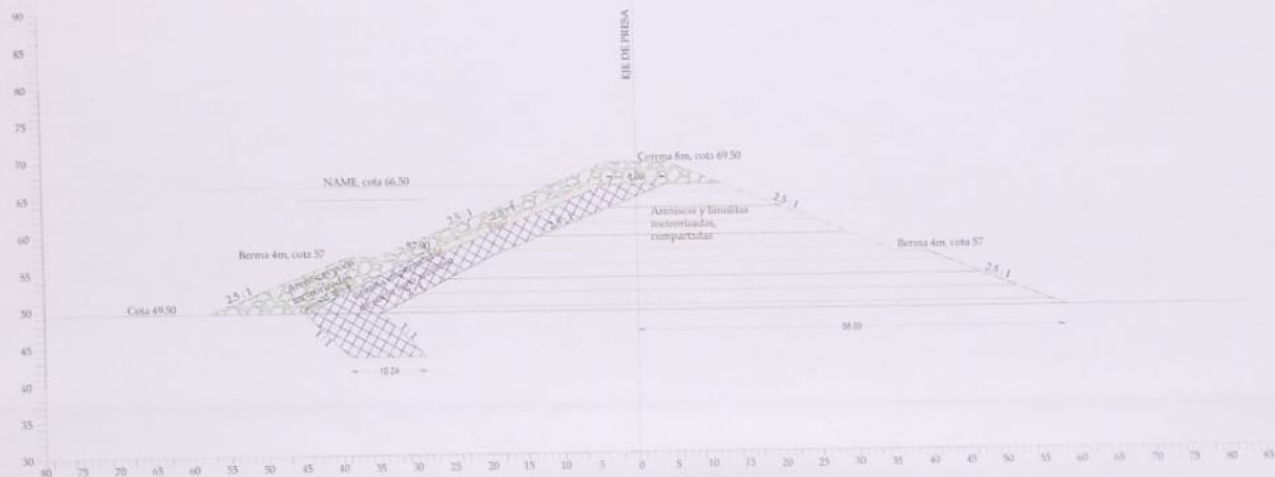
Aliviadero:

Coordenadas de los puntos clave:



ALTERNATIVA 3

Presa con enrocado de 20 m de altura

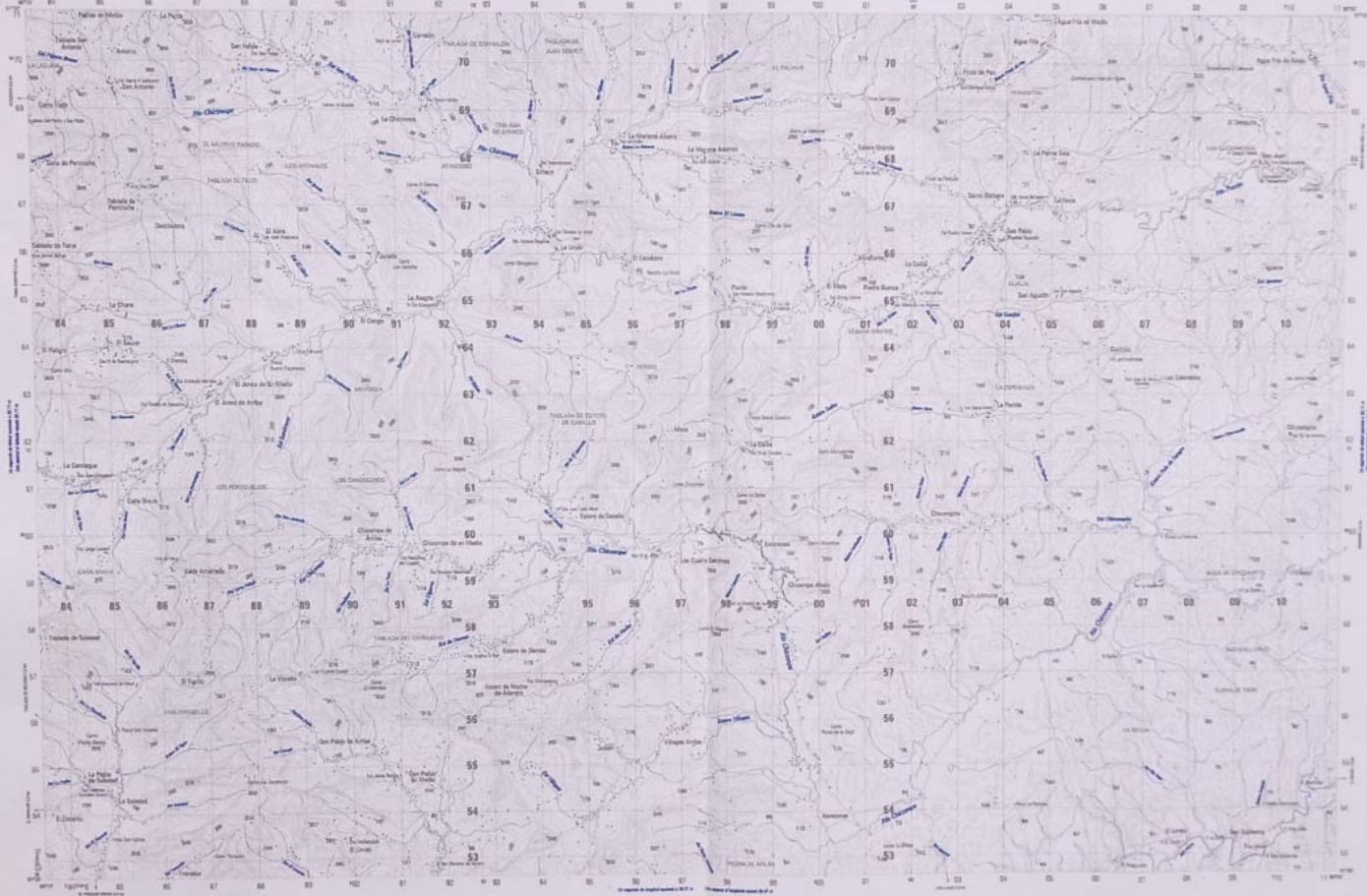


Coordenadas de los puntos clave:

Eje de Presa: $A = X=610195.6123 \ Y=9869997.4177 \ Z= 85.0000$
 $B = X=611184.0994 \ Y=9870065.6009 \ Z= 85.0000$

Aliviadero: $C = X=609666.1004 \ Y=9870286.8038 \ Z= 71.0000$
 $D = X=609478.1544 \ Y=9869754.3777 \ Z= 70.0000$



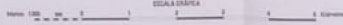


LEYENDA CONVENCIONAL

| | | | |
|--|--|--|--|
| Alcornoque | Alcornoque | Alcornoque | Alcornoque |
| Carretera pavimentada | Carretera pavimentada | Carretera pavimentada | Carretera pavimentada |
| Carretera asfaltada | Carretera asfaltada | Carretera asfaltada | Carretera asfaltada |
| Carretera de tierra | Carretera de tierra | Carretera de tierra | Carretera de tierra |
| Carretera de piedra | Carretera de piedra | Carretera de piedra | Carretera de piedra |
| Carretera de cemento | Carretera de cemento | Carretera de cemento | Carretera de cemento |
| Carretera de arcilla | Carretera de arcilla | Carretera de arcilla | Carretera de arcilla |
| Carretera de barro | Carretera de barro | Carretera de barro | Carretera de barro |
| Carretera de grava | Carretera de grava | Carretera de grava | Carretera de grava |
| Carretera de arena | Carretera de arena | Carretera de arena | Carretera de arena |
| Carretera de guano | Carretera de guano | Carretera de guano | Carretera de guano |
| Carretera de estiércol | Carretera de estiércol | Carretera de estiércol | Carretera de estiércol |
| Carretera de cenizas | Carretera de cenizas | Carretera de cenizas | Carretera de cenizas |
| Carretera de cenizas y guano | Carretera de cenizas y guano | Carretera de cenizas y guano | Carretera de cenizas y guano |
| Carretera de cenizas y estiércol | Carretera de cenizas y estiércol | Carretera de cenizas y estiércol | Carretera de cenizas y estiércol |
| Carretera de cenizas y arena | Carretera de cenizas y arena | Carretera de cenizas y arena | Carretera de cenizas y arena |
| Carretera de cenizas y grava | Carretera de cenizas y grava | Carretera de cenizas y grava | Carretera de cenizas y grava |
| Carretera de cenizas y arena y grava | Carretera de cenizas y arena y grava | Carretera de cenizas y arena y grava | Carretera de cenizas y arena y grava |
| Carretera de cenizas y arena y grava y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena |
| Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena |
| Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena y arena y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena y arena y arena | Carretera de cenizas y arena y grava y arena y arena y arena y arena |

ELEVACIONES EN METROS

INTERVALO DE CURVAS DE NIVEL DE 20 METROS
CURVA DE NIVEL DE 10 METROS



Elaborado por el ICGM
Actualizado por el ICGM
B. 10/10/1980

"Ley de la Cartografía Nacional" Art. 3. El Instituto Geográfico Militar realizará toda actividad cartográfica referente a la elaboración de mapas y levantamientos de datos oficiales del territorio nacional."



ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL
DISEÑO DE FERRA SAN JUAN

UNIVERSIDAD DEL ZULU



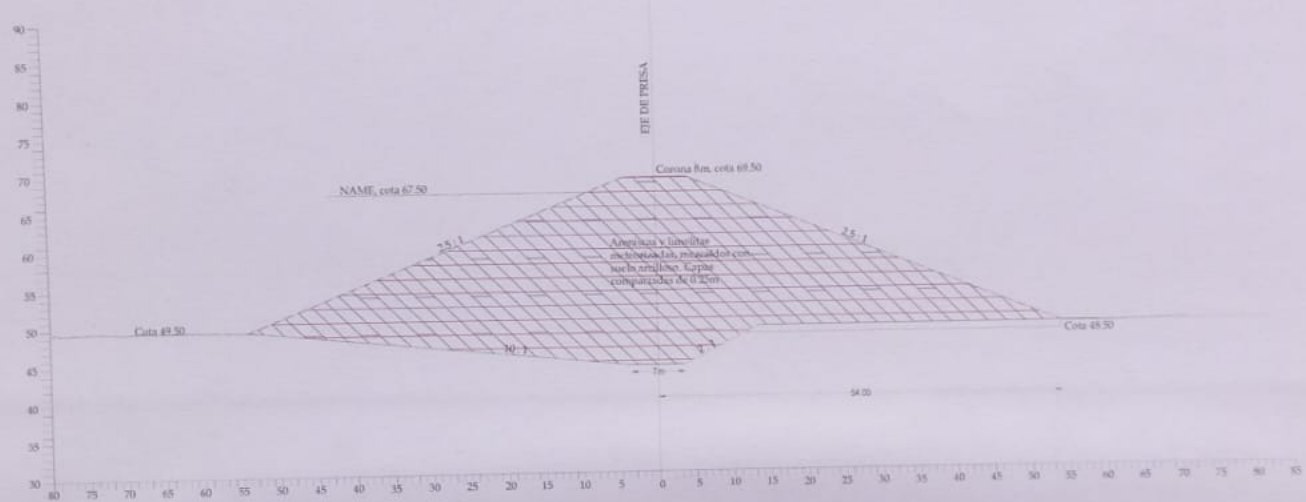
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Instituto de Estudios de Recursos Acuáticos
San Juan, Ecuador
1980



ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL
INSTITUTO DE ESTUDIOS DE RECURSOS ACUÁTICOS
SAN JUAN, ECUADOR
1980

ALTERNATIVA 1

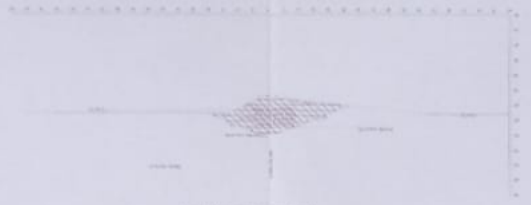
Presa homogénea de 20m de altura



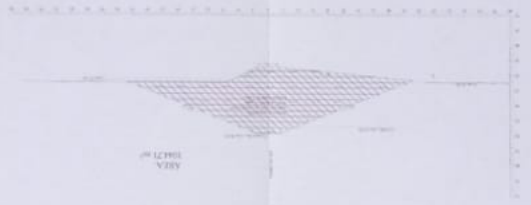
Coordenadas de los puntos clave:

Eje de Presa: A = $X=610195.6123$ $Y=9869997.4177$ $Z= 85.0000$
 B = $X=611184.0994$ $Y=9870065.6009$ $Z= 85.0000$

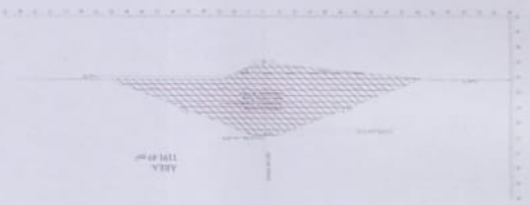
Aliviadero: C = $X=609666.1004$ $Y=9870286.8038$ $Z= 71.0000$
 D = $X=609478.1544$ $Y=9869754.5777$ $Z= 70.0000$



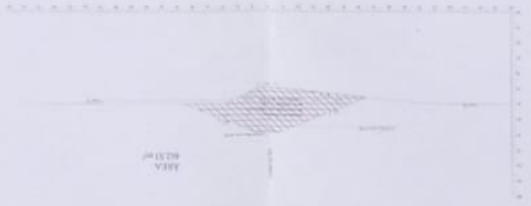
ALTERNATIVA 1 - PERFIL 7.7
Firma Investigador de Área de Área



ALTERNATIVA 1 - PERFIL 5.5
Firma Investigador de Área de Área



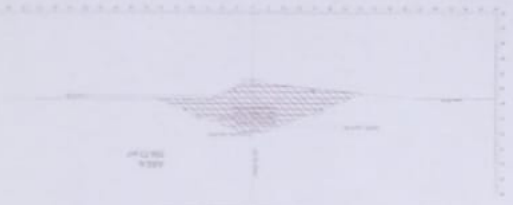
ALTERNATIVA 1 - PERFIL 4.4
Firma Investigador de Área de Área



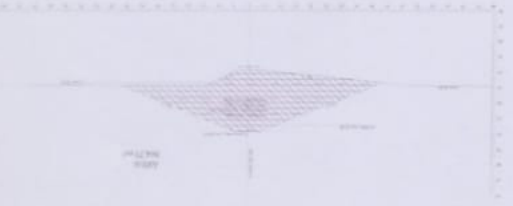
ALTERNATIVA 1 - PERFIL 2.2
Firma Investigador de Área de Área



ALTERNATIVA 1 - PERFIL 1.1
Firma Investigador de Área de Área



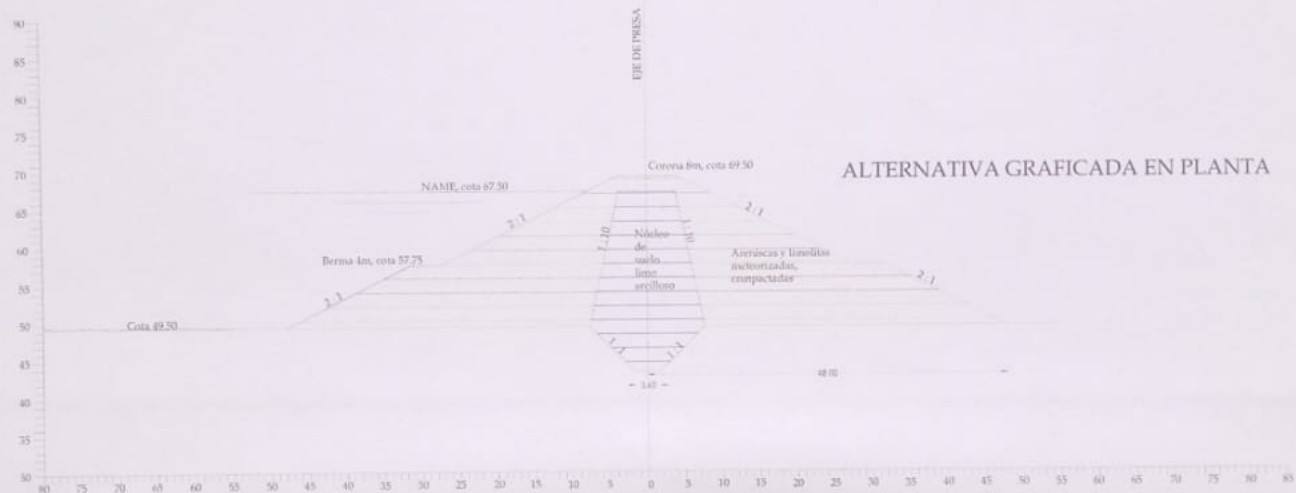
ALTERNATIVA 1 - PERFIL 6.6
Firma Investigador de Área de Área



ALTERNATIVA 1 - PERFIL 3.3
Firma Investigador de Área de Área

ALTERNATIVA 2

Presa con núcleo impermeable de 20 m de altura

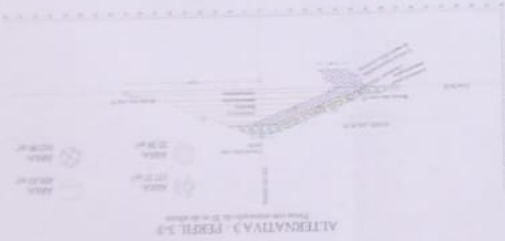
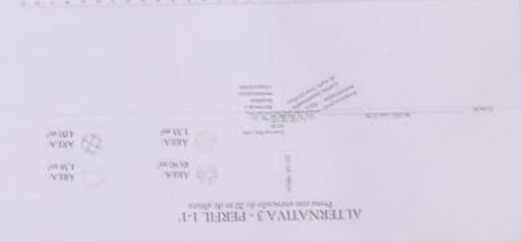
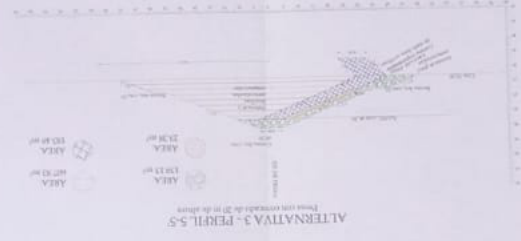


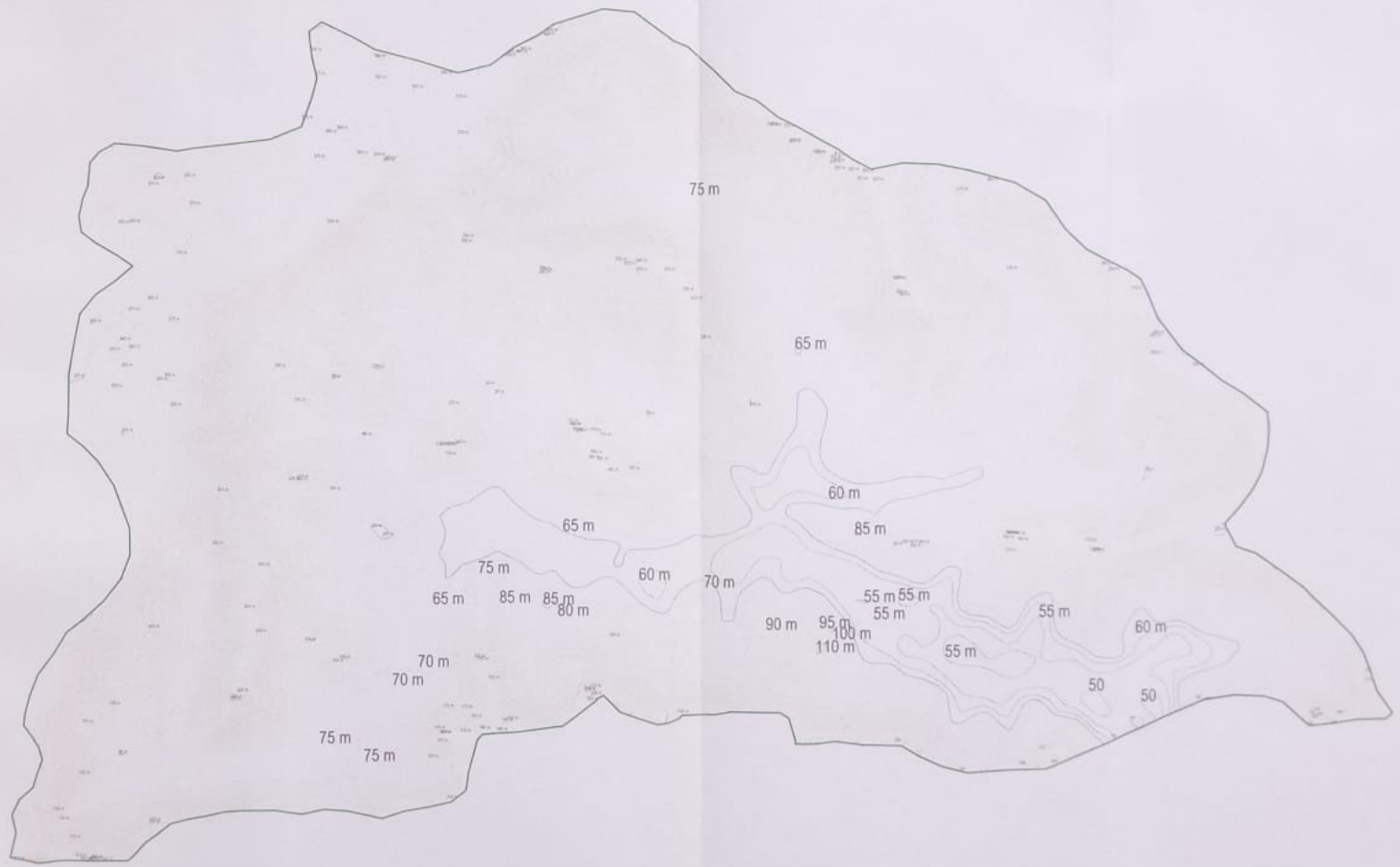
Coordenadas de los puntos clave:

Eje de Presa: $A = X=610195.6123 \ Y=9869997.4177 \ Z= 85.0000$
 $B = X=611184.0994 \ Y=9870065.6099 \ Z= 85.0000$

Aliviadero: $C = X=609666.1004 \ Y=9870286.8038 \ Z= 71.0000$
 $D = X=609478.1544 \ Y=9869754.3777 \ Z= 70.0000$

| | | |
|---|--|---|
| INSTITUCIÓN CARRERA TÍTULO NOMBRE DEL ALUMNO NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN FECHA DE ENTREGA | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL |
| | | DISEÑO DE PRESA SAN JUAN |
| | | ALTERNATIVA DE DISEÑO 2 |
| | | PÁG. 004 |



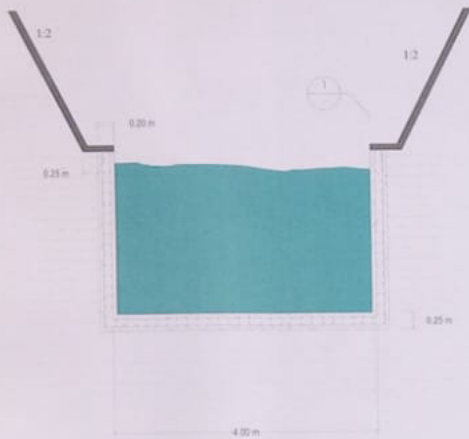


INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTÓN
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE COMPUTACIÓN
 TERCER SEMESTRE
 TEMA: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
 FECHA: 2023-08-15



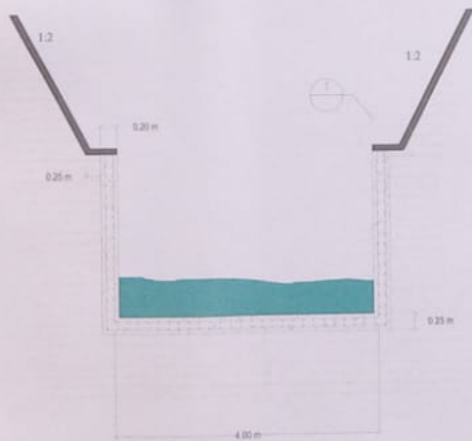
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTÓN
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE COMPUTACIÓN
 TERCER SEMESTRE
 TEMA: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
 FECHA: 2023-08-15

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTÓN



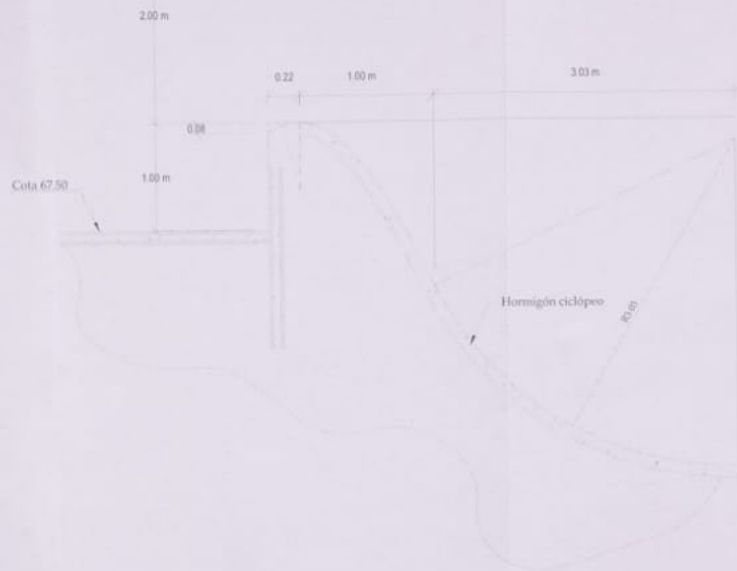
CANAL DE APROXIMACIÓN

ESCALA 1:50



TANQUE AMORTIGUADOR

ESCALA 1:50



ESQUEMA DE ALIVIADERO

ESCALA 1:50



1 DETALLE

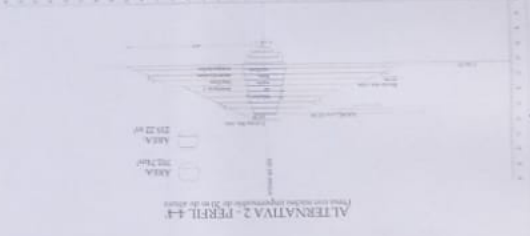
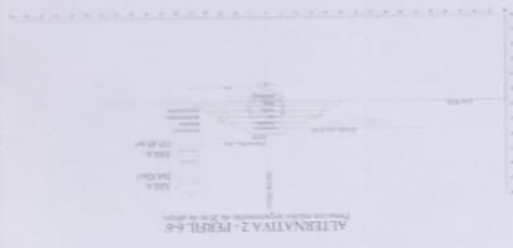
ESCALA 1:10

| | |
|-------------------|-------------------------|
| PROFESOR | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |
| PROFESOR AYUDANTE | ING. JOSÉ MANUEL GARCÍA |



ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL
DISEÑO DE PRESA SAN JUAN

DISEÑO DE LAS PARTES DEL ALIVIADERO



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bureau of Reclamation. (1987). *"Design of small dams"* (3rd. ed.). Washington DC.: U.S. Government Printing Office.
- [2] Carrión Rodríguez, R., & Gonzales Zambrano, P. (2009). *"Estudios y Diseños de la Presa de Embalse del Parque del Conocimiento - ESPOL"*. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra - ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
- [3] Chow, V., Mays, L., & Maidment, D. (1994). *"Hidrología Aplicada"*. McGraw-Hill Interamericana S.A.
- [4] French, R. H. (1993). *"Hidráulica de canales abiertos"*. McGraw-Hill Interamericana S.A.
- [5] Guevara A., M. E. (s.f.). Presas.
- [6] Instituto nacional de meteorología e hidrología, I. (2014). "Anuario hidrológico". (C. Naranjo Jácome, Ed.) Quito, Ecuador.

[7] MVOTMA. (2011). *"Manual de diseño y construcción de pequeñas presas"* (2nd ed., Vol. 1). Montevideo, Uruguay.

[8] Terreros de Varela, I. C. (2007). *"Mecánica de Suelos Práctica"* (2nd. ed.). Guayaquil, Ecuador: Centro de difusión y Publicaciones - ESPOL.

[9] Villamizar C., A. (1989). *Diseño de Presas de Tierra para pequeños Almacенamientos*. HIMAT.