

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL TALUD Y MATERIAL EN LA ESTABILIDAD
DE PRESA DE TIERRA RIO PATARACA-SANTIAGO DE CHUCO
PARA DIFERENTES ESTADOS DE OPERACIÓN APLICANDO
ANALISIS PSEUDO-ESTATICO”**

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR: Br. NARVÁEZ AGUILAR, MIGUEL ANGEL RICARDO

ASESOR: Ms. RICARDO ANDRÉS NARVÁEZ ARANDA

Línea de investigación: Hidráulica

TRUJILLO – PERÚ

2019

Fecha de sustentación: 9 de Noviembre del 2019

TESIS: “Influencia del talud y material en la estabilidad de presa de tierra Río Pataraca-Santiago de Chuco para diferentes estados de operación aplicando análisis pseudo - estático”

JURADO EVALUADOR

Dr. Ing. Guillermo Juan Cabanillas Quiroz
CIP: 17992
PRESIDENTE

Ms. Ing. Juan Pablo García Rivera
CIP:
SECRETARIO

Ms. Ing. Carmen Lucia Sánchez Geldres
CIP:
VOCAL

Msc. Ing. Ricardo Andrés Narváez Aranda
CIP: 58776
ASESOR:

DEDICATORIA

A Dios como guía espiritual, quien me ha dado la fortaleza para continuar con mis objetivos propuestos.

A mis padres Ricardo y Monica quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcarme el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.

A mis abuelos Demofilo y Teresa, fundamental de mi familia, a mis hermanos que día a día me motivan y a mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por guiarme en el sendero correcto de la vida, cada día en el transcurso de mí camino e iluminándome en todo lo que realizo de mí convivir diario.

A mis padres, por ser mi ejemplo para seguir adelante en el convivir diario y por inculcarme valores que de una u otra forma me han servido en la vida, gracias por eso y por muchos más.

A mi Asesor de tesis el Ingeniero Ricardo Narváez Aranda por tenerme enseñarme y guiarme en cada paso de este proyecto.

A mis maestros de la Universidad Privada Antenor Orrego que me impartieron sus conocimientos y experiencias en el transcurso de mi vida estudiantil y que me ayudaron de una u otra forma para hacer posible la realización de la tesis.

A la Escuela de Ingeniería Civil que me apoyó para realizar las prácticas e investigaciones cada día, en el tiempo que duró este plan y permitió realizar este proyecto.

A mis amigos y amigas y a todas las personas que me incentivaron y me motivaron para seguir adelante con los objetivos de este propósito.

RESUMEN

En la presente investigación se determina la influencia del talud y material de préstamo en la estabilidad en el Río Pataraca-Santiago de Chuco para diferentes estados de operación aplicando análisis pseudo-estático; considerando la relevancia que tienen la construcción de presas de tierra actualmente en nuestro país debido a que existe un porcentaje de cuencas hidrográficas que se encuentran en un estado deficitario, lo que obliga a plantear estos tipos de estructuras para crear embalses en situaciones de épocas de sequía.

La metodología adoptada en el diseño hidráulico de la presa de tierra y análisis de estabilidad, son los parámetros de diseño de la normatividad vigente recomendada por U.S. Army Corps of Engineers (USACE), la U.S. Bureau of Reclamation (USBR) y la recomendaciones del Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD, 1994).

Para el desarrollo de la tesis se ha realizado estudios topográficos en la zona de embalse del río Pataraca considerando ubicación del eje de presa en la cota 2700 m.s.n.m. con equidistancia de un metro, estudio de mecánica de suelos de canteras cercanas a la zona de estudio obteniendo los coeficientes de cohesión, fricción (35°) y peso específico (1.78 tn/m^3); estudios hidrológicos para determinar las características de la sub cuenca, caudales de oferta hídrica aplicando modelos matemáticos Lutz Scholtz considerando registros históricos de precipitaciones de estaciones pluviométricas de la Libertad, cálculo de la demanda de agua para riego según programa de cultivo por junta de regantes y balance hídrico resultando volumen útil de embalse de 2.46 MMC, volumen de sedimentos de 23492.92 m^3 , volumen muerto de 3977.35 m^3 y volumen total de presa 2.47 MMC; el diseño geométrico determino 30 m de altura, 9 m de corona, talud de 3:1 y 2.5:1, finalmente se calculo la estabilidad de la presa de tierra para diferentes estados de operación mediante análisis pseudo-estático, para Bishop, Jambu y Morgenstein Price aplicando el software GEOSTUDIO siendo mayor a uno.

Palabras Claves: Río Pataraca, Santiago de Chuco, estabilidad, análisis pseudo-estático.

ABSTRACT

In the present investigation the influence of the slope and loan material on the stability in the Pataraca-Santiago de Chuco River is determined for different operating states by applying pseudo-static analysis; considering the relevance of the construction of land dams currently in our country because there is a percentage of hydrographic basins that are in a deficit state, which forces us to propose these types of structures to create reservoirs in times of drought .

The methodology adopted in the hydraulic design of the earth dam and stability analysis are the design parameters of the current regulations recommended by the U.S. Army Corps Of Engeniers (USACE), the U.S. Bureau of Reclamation (USBR) and the recommendations of the International Committee of Large Dams (ICOLD, 1994).

For the development of the thesis, topographic studies have been carried out in the Pataraca river reservoir area considering the location of the dam axis at the 2700 m.a.s.l. Equidistant from one meter, study of quarry floor mechanics close to the study area obtaining the coefficients of cohesion , friction (35°) and specific weight (1.78tn/m^3); hydrological studies to determine the characteristics of the sub-basin, water supply flows applying mathematical models Lutz Scholtz considering historical rainfall records of rainfall stations of La Libertad, calculation of the demand for irrigation water according to crop program by irrigation board and balance sheet water resulting in useful reservoir volume of 2.46 MMC, sediment volume of 23492.92 m³, dead volume of 3977.35 m³ and total dam volume 2.47 MMC; The geometric design determined 30 m of height, 9 m of crown, slope of 3: 1 and 2.5: 1, finally the stability of the earth dam for different states of operation was calculated by pseudo-static analysis, for Bishop, Jambu and Morgenstein Price applying the GEOSTUDIO software being greater than one.

Keywords: Río Pataraca, Santiago de chuco, stability, pseudo-static analysis.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1. Realidad Problemática.....	1
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación del estudio	4
1.4.1 Justificación académica.....	4
1.4.2 Justificación Técnica.....	4
1.4.3 Justificación social	4
2. MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	5
Antecedentes Internacionales	5
2.2 MARCO TEORICO	10
2.2.1 Presa de tierra	10
2.2.2 Comportamiento de las presas de tierra.....	10
2.2.3 Clasificación de presas según ICOLD	15
2.2.4 Análisis de estabilidad de taludes de presas de tierra	20
2.2.5 Programas que para el cálculo de estabilidad y filtración	25
2.2.6 Criterios teóricos para el Análisis de Estabilidad de Taludes... 31	
2.2.7 ESTUDIOS HIDROLOGICOS	40
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	45
2.4 HIPÓTESIS	46
2.5 VARIABLES.....	47
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	47
3.1.1. Tipo de Investigación: por su finalidad es aplicativa.....	47
3.1.2. Nivel Investigación: Descriptiva.....	47
3.1.3. Diseño de la investigación:	47
3.2. Población y muestra.....	48
3.2.1 Población.....	48
3.2.2 Muestra.	48
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	48

3.4.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información...	48
4.	RESULTADOS	50
4.1	TOPOGRAFICOS	50
4.1.1	Ubicación de la zona de estudio: Ubicación Política....	50
4.1.2	DEMARCACION DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA	51
4.1.3	El levantamiento Topográfico	53
4.2	RESULTADOS DE GEOLOGICOS Y MECANICA DE SUELOS	54
4.2.1	Geología regional.....	54
4.2.2	Estudio de Mecanica de suelos de Canteras	54
4.2.3	Resultados de los estduos de mecánica de suelos.....	57
4.3	RESULTADOS HIDROLOGICOS.....	73
4.3.1	Problemática en la zona de riego	73
4.3.2	Estudios Hidrológicos.....	73
4.3.3	Objetivo del estudio Hidrológico.....	74
4.3.4	Ubicación de la sub cuenca del rio pataraca	74
4.3.5	Cuenca del río Pataraca	75
4.3.6	Recursos Hídricos	75
4.3.7	Calculos del Geomorfologicos de la cuenca del rio Pataraca.....	76
4.3.8	Resultados de la demanda de agua	85
4.3.9	Calculo de Caudales Generados para el río pataraca aplicando Modelo Matemático Precipitación Escorrentía Lutz Scholts.....	89
4.3.10	Balance hídrico	95
4.3.11	Dimensionamiento hidrológico del embalse Pataraca..	98
4.4	ANALISIS DE FILTRACION EN LA PRESA DE TIERRA	107
4.4.1	CRITERIO DE DISEÑO	107
4.5	CALCULO DE ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA	109
4.5.1	Concepción básica en el diseño de Presas	109
4.5.2	Estados de Análisis de estabilidad de presas de tierra	109
4.5.3	Metodologias del análisis de Estabilidad de Taludes de la Presa	111

4.5.4 Aplicación del programa Geo Estudio para el cálculo de la estabilidad	115
4.6 Contrastación y prueba de la hipótesis.....	161
4.7 RESUMEN DE PROGRAMA PRESA LLENA.....	162
4.8 RESUMEN DE PROGRAMA PRESA LLENA.....	182
4.9 RESUMEN DE PROGRAMA PRESA VACIA	201
5. DISCUSION DE RESULTADOS	221
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	222
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225
Anexos:	226

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Causas frecuentes de falla en presas de tierra.....	1
Tabla 2:Factores de seguridad mínimo (FS)	25
Tabla 3: Alturas de olas para diferentes fetch	28
Tabla 4: Operacionalización de variables	47
Tabla 5:: ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO:	57
Tabla 6:Ensayo de contenido de humedad.....	59
Tabla 7:ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	61
Tabla 8: ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	62
Tabla 9:ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO .	66
Tabla 10:ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	69
Tabla 11:Geomorfología de las Subcuenca en estudio del ámbito de la Presa Pataraca.	76
Tabla 12:Estaciones meteorológicas del ámbito del estudio.....	84
Tabla 13:Precipitaciones promedio mensual periodo 2004 a 2013.....	85
Tabla 14:Calendario de cultivo o programación de siembra de los cultivos	85
Tabla 15:Cedula de cultivo	86
Tabla 16:Cálculo de demanda hídrica.....	87
Tabla 17:caudales observados del río Suyarita	91
Tabla 18:Caudales generados para el río Pataraca.....	95
Tabla 19:Balance hídrico de la zona de estudio.....	96
Tabla 20:Datos de altitud y área del vaso	98
Tabla 21:Volumen acumulado	98
Tabla 22:Factores de Seguridad Mínimos	111
Tabla 23: Resumen de resultados.....	161

INDICE DE GRAFICOS

Ilustración 1:frecuencia de fallas a nive internacional.....	12
Ilustración 2:fallas comunes en las presas	14
Ilustración 3:paso del agua por debajo de presa.....	15
Ilustración 4:Diafragma externo en presa de tierra	16
Ilustración 5:Diagrama interno en presa de tierra	16
Ilustración 6:Filtro aguas abajo en presa de tierra homogenea	17
Ilustración 7:detalle de sección de presa compuesta.....	18
Ilustración 8:Problema de tubificaiòn durante el llenado	22
Ilustración 9:Esquema de Metodos de Calculo	24
Ilustración 10:Esquema estático – Método Morgenstern-Price:	40
Ilustración 11:Ubicación Política zona de estudio del área de estudio	50
Ilustración 12:Delimitación de sub cuenca hidrografiuca en imagen satelital y ubicación de Presa.....	51
Ilustración 13:Delimitación de la sub cuenca del Presa Pataraca en plano de curvas de nivel.....	52
Ilustración 14: Cantera Paraíso	55
Ilustración 15: Cantera Palo Blanco.....	55
Ilustración 16:Cantera Río Huaychaca.....	56
Ilustración 17:Cantera Quebrada Seca	56
Ilustración 18: Curva Granulometrica.....	58
Ilustración 19:Contenido de humedad e índice de plasticidad.....	60
Ilustración 20:Densidad de campo 1.785	62
Ilustración 21:Contenido de Humedad e Índice de Plasticidad	66
Ilustración 22:Curva granulométrica	68
Ilustración 23:Esfuerzo normal Vs. Esfuerzo cortante.....	70
Ilustración 24:Esfuerzo normal Vs. Esfuerzo cortante.....	71
Ilustración 25:Delimitación de la cuenca del río Pataraca	75
Ilustración 26: Curva Hipsometrica	77
Ilustración 27:Plogono de Frecuencias de areas parciales	78
Ilustración 28:Rectangulo Equivalente	79
Ilustración 29:Pendiente del rio principal	81
Ilustración 30:Curva area-volumen.....	83
Ilustración 31:Ilustración 31:Inicio del programa.....	89
Ilustración 32: :Inicio del programa.....	89
Ilustración 33:Ingreso de abastecimiento y gasto	90
Ilustración 34:Ingreso de caudales observados del rio Suyarita	90
Ilustración 35:Estimación del Coeficiente de escorrentía según la formula de L-Turc	91
Ilustración 36:Estimación Estimación de la retención de la cuenca	92
Ilustración 37:Inicio del sub programa para calcularb la evapotranspiración.....	92
Ilustración 38: Resultado de la evapotranspiración $E_o=1379.44$ mm/año.....	93

Ilustración 39:Resultado de la simulación inicial	93
Ilustración 40: Resultados final de varias calibraciones	94
Ilustración 41: Comparación grafica de caudales observados y caudales generados anualmente	94
Ilustración 42:Representación grafica de los caudales de demanda y oferta hidrica del río Pataraca.....	97
Ilustración 43:Curva Altitud -Volumen/Altitud Area	99
Ilustración 44: Cotas de la presa	105
Ilustración 45:dimensionamiento de la presa.....	107
Ilustración 46:Coefiente sísmico propuesto pára presas pequeñas y medianas según Ruesta (1988).....	114

1. INTRODUCCION

1.1. Realidad Problemática

Actualmente en nuestro país la construcción de presas se está convirtiendo en un tema de gran relevancia para la ingeniería hidráulica, ya que existe un porcentaje de cuencas hidrográficas que se encuentran en un estado deficitario, esto nos obliga a ver la importancia que tienen estos tipos de estructuras de retención de agua en situaciones de épocas de sequía; además se tiene conocimiento que hay cierta cantidad de presas de tierra que se encuentran en una situación de falla, como la presa de Brumadinho situada en Brasil, y la presa de Quichque en Ayacucho.

En la actualidad, existen alrededor de 743 presas de diferentes tipologías ubicadas dentro de nuestro país, donde un aproximado de un 36% son presas de tierra, teniendo la finalidad de uso de irrigación y abastecer cierta cantidad de volumen de agua para satisfacer las necesidades básicas a la comunidad (ANA, 2019).

Segun Torres (1981), presenta una lista de las causas que provocaron falla parcial o total en la cortina o en obras auxiliares considerando un total de 289 presas, como se muestra en la tabla 1.

Tabla N°1: Causas frecuentes de falla en presas de tierra

Causas de falla	%
Falla en la estabilidad de la cortina principal	37
Falla de la Cimentación	34
Obras de excedencia inadecuada	17
Sismo	3
Falla en los conductos de desfogue	3
Falla de dique en la presa	1
Otras	5

(Torres, 1981)

Para el diseño de presas de tierra, cuya finalidad recae en contener o almacenar agua debemos tener en cuenta ciertas leyes físicas y geológicas para el buen desempeño y construcción de estas. Dichas leyes que regirán esta simulación

se basan en la presión hidrostática, la gravedad, empujes producidos por el agua almacenada, así como ciertos riesgos a tomar en cuenta en lo que se refiere a movimientos de tierra debido a sismos, entre otros. Las disposiciones anteriores deben cumplirse de manera tal que proporcionen a la presa la resistencia sobre las fuerzas que sobre ella serán ejercidas, la confección de este debe a su vez proveer a la estructura impermeabilización, es decir evitar filtraciones en su haber y prevenir destrucción de la misma. (Torres, 1981).

En el estudio de la estabilidad de taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. El “agente” externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa: el peso y eventualmente los efectos de filtración. La preponderancia de las acciones gravitatorias condiciona, sobre todo, la definición de seguridad frente a rotura. Para unas características dadas del terreno, tiene un sentido obvio. La metodología adoptada en el análisis de estabilidad para los diferentes estados de operación de la presa, será lo que considera la U.S. Army Corps Of Engineers (USACE), la U.S. Bureau of Reclamation (USBR) y la recomendaciones del Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD, 1994), debiendo procesar los parámetros geotécnicos de acuerdo a las recomendaciones que esa institución proporciona.

Esta investigación está basada en la importancia de estas estructuras y en brindar parámetros y características de su comportamiento, con el fin de evitar posibles fallas que presentan estas estructuras, teniendo como objetivo de estudio analizar la estabilidad de taludes de una presa de tierra, para ubicarla como propuesta en el cauce del río Pataraca , considerando la influencia del talud de la sección principal y material de préstamo considerando las canteras de la zona, para los estados de operación crítica de vida de la presa de acuerdo a los parámetros de diseño y la normatividad vigente USACE, USBR y ICOLD.

1.2. Formulación del Problema

¿De qué manera influye el talud y material de préstamo en la estabilidad de presa de tierra en el cauce del río Pataraca de La Provincia de Santiago de Chuco para diferentes estados de operación aplicando análisis Pseudo-Estático?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia del talud y material de préstamo en la estabilidad en el Río Pataraca-Santiago de Chuco para diferentes estados de operación aplicando análisis pseudo-estático.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar estudios básicos de ingeniería:
 - Realizar el estudio topográfico en la zona de embalse del río Pataraca considerando ubicación del eje de la presa.
 - Analizar la información de los estudios de mecánica de suelos de canteras cercanas a la ubicación de la presa proyectada para obtener parámetros necesarios para el análisis de la presa.
 - Desarrollar los estudios hidrológicos para determinar las características de la cuenca de embalse, calcular los caudales de oferta hídrica aplicando modelos matemáticos, la demanda de agua para riego y realizar un balance hídrico para determinar el volumen útil de embalse.
2. Diseño hidráulico de la presa de tierra:
 - Calcular el volumen de sedimentos, para estimar la altura de la presa.
 - Realizar el diseño geométrico de la sección de la presa de tierra según criterios de las normas USACE, USBR y ICOLD.
3. Determinar la estabilidad de la presa de tierra considerando la influencia del talud y material de préstamo para diferentes estados de operación crítica mediante un análisis pseudo-estático, aplicando el programa Geostudio.

4. Calcular la filtración para los diferentes estados de operación de la presa de tierra.

1.4. Justificación del estudio

1.4.1 Justificación académica

El proyecto de tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar modelos matemáticos para resolver problemas complejos de la estabilidad en una presa de tierra en sus estados de operación de embalse, utilizando criterios técnicos geotecnia para definir el tipo de material requerido.

1.4.2 Justificación Técnica

El presente proyecto está destinado al cálculo del factor de seguridad y permeabilidad de la presa, siendo estudiada en sus diversos estados de embalse, de esta forma se determinará cuáles son las características geométricas necesarias que cumplan con las normas de diseño haciendo el proyecto viable para su construcción.

1.4.3 Justificación social

La importancia del estudio de la estabilidad de la presa en diferentes estados de operación radica no solo en embalsar el agua para uso de riego o generación de energía eléctrica para las localidades cercanas al proyecto, sino también en asegurar que la presa no falla en caso de eventos sísmicos, dando la tranquilidad a la población para reducir el efecto de un posible desembalse e inundación en pueblos aguas abajo del embalse que puedan ser afectados.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Antecedentes Internacionales

Título: Fenómenos de tubificación en presas pequeñas de tierra

Autor: Manuel Rayano

País: Argentina

Año: 2013

En este informe se describe los procesos de erosión llamados también por tubificación retrograda y tubificación en suelos dispersivos. Así mismo los asociados con el levantamiento o “reventón de suelos” y la ruptura hidráulica. Las estructuras hidráulicas que son adicionadas a la presa (obra de toma de agua, descargadores de fondo, vertederos, etc) cuenta con protecciones las cuales se han puesto en discusión estos tiempos debido al cuestionamiento del paradigma de “las múltiples líneas de defensa”.

Estos hallazgos nos mueven a un sistema integrado el cual consta de filtro de aguas abajo, con un diseño estudiado y correctamente evaluado, sirviendo como protección de deslaves de suelos finos, lo que permite un sellado de grietas y fugas eventualmente.

Este fenómeno puede erosionar tanto en los terraplenes de las presas como en los sitios de paso de las estructuras complementarias (hechas de hormigón), mediante la socavación de los terraplenes, tanto desde aguas abajo hacia aguas arriba produciéndose inversamente también.

Aporte a la tesis: el fenómeno de tubificación explicado en este antecedente será abarcado en el presente trabajo como un condicional a tener en cuenta para el correcto diseño de la presa, puesto que al ser una presa de tierra presentará los mismos problemas de ingeniería estudiados.

Título: Criterios para diseñar presas de tierra: prioridad y secuencia

Autor: Ing Rolando Armas Novoa

País: Cuba

Año: 2010

El objetivo principal del diseño y construcción de una presa con materiales locales es garantizar que no se produzca graves fallas a lo largo de su vida útil calculada.

Entre las fallas catastróficas o graves que podemos encontrar en mayor o menor concurrencia son: el rebalse de la cortina de la presa, el fenómeno de sifonamiento mecánico, agrietamiento transversal, deslizamiento del talud aguas abajo, sismos, licuación y pérdidas por filtración.

Las posibles soluciones a estas fallas son detalladas en los ejemplos de fallas de presas de tierra las cuales ocurrieron en cuba.

Por último, y basado en la experiencia cubana en el diseño y construcción de presas de tierra en los casi 40 años de fundado el Instituto Nacional de Recursos Hidráulico, se da el ordenamiento que debe seguir el proyecto y las medidas a tener en cuenta en cada caso para evitar las fallas mencionadas, priorizando en todo momento del proyecto las medidas de selección de los materiales a utilizar y cómo compactarlos para garantizar que no se produzca el agrietamiento.

Aporte a la tesis: sirve de aporte en el diseño de la presa de tierra al contar con detalles de construcción y parámetros técnicos necesarios, relacionándolos con las fallas y/o fenómenos que puedan ocurrir.

Título: Enfoques de diseño de presas de enrocado con membrana impermeable

Autor: Humberto Gandarillas Antezana y Luis Gandarillas Rodríguez

País: Bolivia

Año: 2010

Las necesidades de almacenar y regular agua con fines de agua potable para las ciudades, riego para la agricultura, industria, minería y energía en Bolivia, han dado lugar a una creciente atención al aprovechamiento de los recursos

hídricos en el marco de las condiciones climáticas y geográficas del territorio nacional. En ese contexto, la construcción de presas representa una amplia perspectiva para mejorar el aprovechamiento del agua; lo cual puede constatarse en la gran cantidad de presas construidas durante los últimos 20 años.

En muchos casos, las presas presentan condiciones de riesgo bastante alto ante las posibilidades de falla o colapso, que pueden atribuirse a los criterios de diseño, los tipos de materiales y sobre todo las bajas condiciones de control de calidad durante la construcción; por lo que es necesario desarrollar normas, criterios y enfoques que permitan diseñar y construir presas que brinden altas condiciones de calidad, durabilidad y seguridad, pero que a la vez permitan optimizar los costos de las inversiones y los períodos de construcción.

Los autores identifican en las presas de enrocado con membrana impermeable (Concrete Faced Rockfill Dams: CFRD) un alto potencial de aplicación para las condiciones bolivianas, sobre todo en los valles donde es abundante la presencia de roca fracturada en los sitios de potenciales presas.

Consecuentemente, en este documento se proporciona información relacionada con los criterios y enfoques principales que deben considerarse para el diseño y construcción de presas pequeñas y medianas de enrocado con membrana impermeable (CFRD).

Aporte a la de tesis: expresa la importancia de un correcto diseño de presa de tierra, tomando en consideraciones los riesgos que esto conlleva viéndolos desde el punto de vista del ecosistema y humanos.

Título: Manual de diseño y construcción de pequeñas presas.

Autor: Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente (MVOTMA).

País: Montevideo – Uruguay.

Año: 2008

Se presentan todas las metodologías específicas hidráulicas e hidrológicas para el diseño del embalse y de las distintas obras. Ámbito de aplicación: se puede aplicar al proyecto de los tajamares y de todas las presas, con excepción

de aquellas que puedan encuadrarse como “Gran Presa”, tomando esta definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (“ICOLD”¹, por sus siglas en inglés). El ICOLD define como “Gran Presa” a toda presa cuya altura sea mayor de 15 metros (medida desde el punto más bajo de su fundación hasta el coronamiento) o bien la que teniendo entre 10 y 15 metros de altura cumpla con alguna de las condiciones siguientes:

- Largo de coronamiento no menor que 500 m
- Volumen de almacenamiento no menor que 1.000.000 m³
- Capacidad de descarga no menor que 2.000 m³/s
- Fundaciones especialmente complicadas
- Diseño inusual.

Aporte a la tesis: proporciona los criterios técnicos al diseño de presas de presas de tierra.

Título: Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. Diques de escollera

Autores: Enrique Copeiro del Villar Martínez, Miguel Ángel García Campos

País: España

Año: 2008

Mientras que en los diques de escollera la complejidad del problema hizo pensar en la necesidad de una garantía mayor en la estima del oleaje de cálculo; no estando en condiciones de un mejor análisis del que permitía la teoría ondulatoria, ni de introducir otras variables adicionales a la de la altura de ola significativa, de fácil determinación, pero percibiendo ya muy diferentes comportamientos del oleaje y las obras en las diferentes fachadas costeras, pasa a ser prioritaria una estima «racional» de la altura de ola para el diseño y para el cálculo de la estabilidad de los cantos del manto principal del dique. Y satisfecha esa prioridad, no se respira gran intranquilidad hasta que las profundidades de trabajo y las nuevas formas de estudiar y manejar el oleaje permiten analizar los fenómenos hidrodinámicos de forma distinta y aparentemente clarificadora.

Aporte a la tesis: proporciona los criterios técnicos al diseño de presas de presas de tierra.

Título: Análisis técnico-económico comparativo entre dique construido en material granular compactado y dique en gaviones en el embalse del proyecto hidroeléctrico cariblanco (P. H. Cariblanco).

Autor: WILLIAM AGUILAR NÚÑEZ

País: Costa Rica

Año: 2006

El objetivo general del Proyecto Hidroeléctrico es aportar al Sistema Nacional Interconectado una capacidad de generación de 80 MW.

En cuanto al embalse, este tiene una capacidad de 330,000.00 m³ de agua embalsada y cuenta con un área de 48,000.00 m² entre el fondo del embalse y sus paredes (taludes). El dique de cerramiento de este embalse es el que se analizará en este estudio. De tal manera que se brinde una nueva opción o sistema constructivo en el desarrollo de diques de cerramientos de embalses o similares, aprovechando las condiciones que se encuentran en el lugar de la obra, definiendo mediante una comparación técnico-económica las ventajas de utilizar un sistema o el otro.

Actualmente este dique se está construyendo en el embalse del P.H. Cariblanco a base de un material granular. Este es extraído de la cantera Maroto ubicada a 4 Km. de la obra, en la cual se da el proceso de extracción y quebrado del material. El diseño planteado por el ICE se basa en una sección piramidal de 12m de altura manejando taludes 2:1 y con una longitud de 340m, a base de un terraplén homogéneo de arena limosa con grava en donde el tamaño máximo de las partículas será de 100mm y con un filtro horizontal en el pie del talud a base de una arena gruesa con % pasando la malla #200 (abertura de 0.075mm) \leq 2%, finos no plásticos y que cumplan con los requisitos de sanidad y granulometría de la norma ASTM C33-01.

Aporte a la tesis: detalla las comparaciones de los materiales usados en una presa de tierra y como estos varían tanto en su comportamiento como en lo

económico, siendo que un proyecto por mas estudiado y elaborado que sea debe cumplir con parámetros que pueda hacer posible su construcción.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Presa de tierra

Históricamente son el primer tipo de presa que se tiene registro de construcción. Son un tipo de presa compuesta por más del 50% de tierra compactada en diversas capas para alcanzar una resistencia determinada la cual puede ser reforzada con filtros para eliminar el agua de filtración. El proceso de construcción de estas presas es sencillo puesto que estas no necesitan una cimentación en roca sana, si no que se adaptan al terreno natural, por lo que generalmente son mucho más económicas que sus otros tipos y resisten mejor los asentamientos de la cimentación. En el diseño de la presa se tiene que tomar en cuenta el objetivo de la presa buscando en las necesidades y expectativas de la población. Sus usos varían desde ser capaz de ser fuente de suministro hidroeléctrico, riego, regulación de aguas. (Villaseñor, 1987).

2.2.2 Comportamiento de las presas de tierra

Las presas son construidas de tierra o roca colocada sobre una cimentación de suelo o roca. Ambas, el terraplén y la fundación pueden ser susceptibles de la inestabilidad de taludes, así como de la erosión interna y externa. La construcción del relleno involucra la colocación y compactación de materiales no saturados. El relleno debe tener una succión de poros o presión negativa y unas características de resistencia para proveer una capacidad suficiente para soportar las máquinas que están construyendo el relleno. Al agregar agua, la succión cambia. El grado de saturación del relleno cambia durante la construcción y operación de la presa. Una lluvia puede drásticamente disminuir la succión y en esta forma disminuir la resistencia. En la primera llenada de la presa, el espaldón aguas arriba es sumergido y se produce una corriente de agua o de humedad hacia aguas abajo, dentro del

relleno y al desembalsarse rápidamente se producen presiones que pueden generar fallas del talud.

2.2.2.1 Falla

En primer punto, es preciso determinar que falla es cuando una presa no satisface las funciones para las cuales fue creada. Conviene revelar que alcanzar en miramiento esta aclaración al pie de la letra, implica meditar como presas falladas a las que no almacenan agua cuando esa era su primordial finalidad. La descarga estándar por vertedor no es una falla, pero si esta estructura es modificada reduciendo su magnitud, puede originar derrames por la corona que son considerados como incidentes y si la presa se rompe, es una falla. En el incidente de descarga de agua por ruptura de la presa, las causas pueden ser:

- Efectos naturales como sismos y avenidas
- Deficientemente diseño o construcción
- Mala selección de los materiales
- Degeneración y carencia de preservación
- Inestabilidad de cimentación y empotramientos
- Filtraciones y supresiones
- Fallas en dispositivo mecánico (vertedores)
- Mal funcionamiento y acción (del vaso y vertedor)

La periodicidad de fallas ha sido reportada por muchos autores y normalmente coinciden en que una tercera parte de las presas colapsa por desbordamiento, es decir, la capacidad de regulación representada por su volumen de superalmacenamiento y la capacidad de descarga por el vertedor no fueron suficientes para evitar que el agua rebasara su corona y ocasionara daños; sigue en proporción fallas en la cimentación que corresponden a falta de capacidad del desplante para soportar la cortina y asegurar una estabilidad estructural; y el tercer gran grupo es la ruptura de terraplenes por tubificación y filtraciones en cortinas de tierra como se muestra en la grafica N°1. (Murillo, 2012)



Ilustración 1: frecuencia de fallas a nivel internacional

Fuente: Murillo 2012

2.2.2.2 Tipos de fallas de presas

Son causadas por diversos factores los cuales van desde un pobre proceso de construcción hasta fuerzas que no se habían considerado en su diseño tales como venidas extraordinarias.

Se han estudiado las diversas formas de falla y se llegó a la conclusión que la causa más frecuente es por desbordamiento puesto que en los antecedentes recolectados no se ha diseñado con una capacidad de embalse necesaria debido al incremento por los años, siendo su vertedero insuficiente para mantener el embalse constante. (Torres, 1981)

A continuación, se detallan las fallas más comunes que se puedan encontrar en las presas tipo tierra:

- Agrietamiento: debido a una mala compactación de las capas, la cual es la fase inicial de fenómenos como la tubificación y la fractura hidráulica.
- Sifonamiento mecánico (tubificación): cuando al almacenarse agua tras una presa de tierra, una fracción del agua comienza a filtrarse a través del cuerpo o su cimentación, la velocidad de este fenómeno esta relaciona al tipo de suelo con el cual se ha construido debido a su factor de permeabilidad.
- Deslizamiento del talud aguas abajo: un mal enrocado, la vegetación, el deficientemente sostenimiento de la presa y avenidas extraordinarias son las causas del deslizamiento situación que conlleva a un proceso de lavado de finos que vuelve indefenso a la presa.

- Pérdidas por filtración: debido a roturas o fenómeno de tubificación, el agua filtra a través de la presa o por debajo causando su inestabilidad.
- Sismo: ocurre cuando hay incremento de los esfuerzos cortantes aplicados y degradación de la resistencia del suelo por aumento de la presión de poros y deformaciones asociadas a la onda sísmica.
- Rebase de la cortina: cuando el embalse supera a la presa y a la capacidad del vertedero en controlar la salida de agua: desbordamiento.
- Licuación: debido a la frecuente filtración del agua la cimentación y estructura de la presa pierde su estado sólido, debido a que la tierra absorbe como una esponja el agua volviéndose inestable.

2.2.2.3 Clasificación de nivel de riesgo

El Agencia Federal para Manejo de Emergencias (FEMA) de los estados Unidos propone la siguiente clasificación:

- Bajo potencial de riesgo. Donde la falla o la operación inadecuada resulta en la no pérdida probable de vidas humanas, y pérdidas bajas económicas o ambientales.
- Potencial significativo de riesgo. Donde la falla o la operación inadecuada resulta en la no pérdida probable de vidas humanas, pero puede causar pérdidas económicas o ambientales o la alteración de líneas vitales, o puede impactar otros elementos. Generalmente están localizadas en zonas rurales, aunque puede estar localizada cerca a zonas urbanas con infraestructura significativa.
- Alto potencial de riesgo. Donde la falla o la operación inadecuada probablemente causa pérdida de vidas humanas.

Según FEMA recomienda realizar planes de acciones de contingencia y existen guías para la manufactura de estos planes



Ilustración 2: fallas comunes en las presas

2.2.2.4 Causas de las fallas e incidentes

Las fallas pueden ser debidas a errores en estudios previos de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento. Los estudios previos a considerarse son:

-Hidrológicos: Determinar Caudales máximos y mínimos, la capacidad requerida para la operación del embalse y Capacidad requerida para el vertedero. Por ejemplo, tenemos el error en estudios hidrológicos en Kaloko dam Hawaii con 7 muertos, El caudal de las lluvias del 14 de marzo de 2016 superó el caudal máximo utilizado para el diseño del vertedero. El vertedero fue diseñado con análisis hidrológicos con información muy pobre.

-Geológicos

Inspección geológica del sitio, mapeo geológico, perforaciones profundas, toma de núcleos e información de perfil geológico obtenidos por ingenieros-geólogos capacitados.

Determinar la habilidad estructural del material de fundación para resistir las cargas geo-estáticas e hidráulicas: posibilidad de problemas de filtraciones, posibilidad de problemas de erosión, por ejemplo, en Arthur V. Watkins Dam de Utah-USA en 2006, el agua se escapó por debajo de la presa hacia un caño cercano, el suelo era duro, pero estaba estratificado con mantos permeables como se muestra en la figura 3.

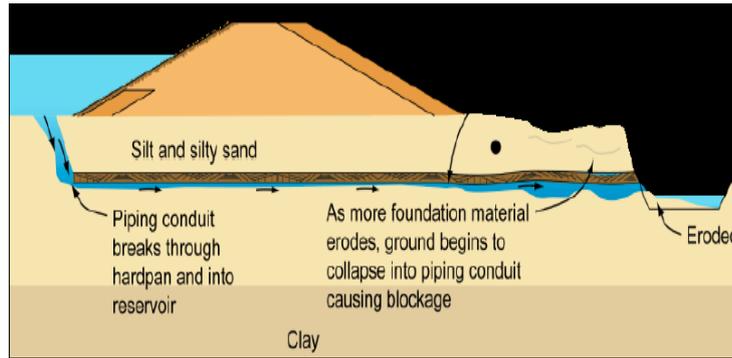


Ilustración 3: paso del agua por debajo de presa

- Geotécnicos

Brinda identificación de problemas de estabilidad, estudios de estabilidad del embalse y del sitio de presa, estudios de disponibilidad y calidad de los materiales

2.2.3 Clasificación de presas según ICOLD

Los tipos de presa compactada con rodillo son las siguientes:

- Presas del tipo de diafragma

En este ejemplo de sección el cuerpo del terraplén se construye de material permeable (arena, grava o roca) y se construye un diafragma delgado de material impermeable para que constituya la barrera hidráulica al terraplén. La colocación de este diafragma puede cambiar, desde hallarse situado sobre el talud aguas arriba, que es lo más tradicional, hasta en el núcleo del terraplén. Este diafragma puede ser de tierra, de concreto o de otro material. Un modelo se muestra en la figura 3, donde P representa el diafragma referido.

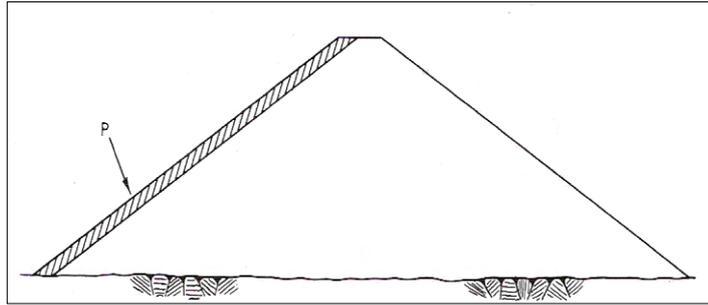


Ilustración 4: Diafragma externo en presa de tierra

Si la pantalla o núcleo es de tierra

Se considera que es un “diafragma” si su espesor en sentido horizontal a cualquier altura es menor de 3 metros o menor que la distancia a la corona de la presa en ese punto. Si la zona de tierra impermeable es igual o excede a este espesor, se dice que es una presa de sección compuesta. En la figura 4 se presenta una presa con diafragma interno. (Linsley Ray E, 1980)

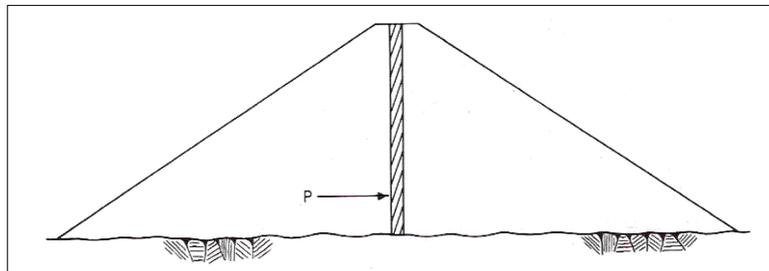


Ilustración 5: Diafragma interno en presa de tierra

A pesar que se han construido presas con diafragmas internos teniendo el logro deseado, no se recomienda este tipo de construcción puesto que la construcción de presas con diafragmas internos, con los filtros necesarios requiere un mayor grado de precisión y control más duro del que es operable conseguir en las presas pequeñas homogéneas.

Los diafragmas internos de material rígido como el concreto, tienen también la dificultad de no permitir ser inspeccionados expeditamente o hacerles reparaciones de contingencia si se rompen debido a asentamientos de la presa o de su cimentación.

Las pantallas de tierra en el talud aguas arriba de una presa, no se recomiendan por el coste y compromiso para elaborar filtros adecuados. Asimismo, la pantalla de tierra debe defenderse de la erosión de las olas, quedando enterrada sin ser cómodamente asequible para la intervención o rehabilitación. Lo aconsejable para presas pequeñas, si es que existe poca disponibilidad de material impermeable (arcillas, limos, etc.), es un diafragma de material manufacturado colocado sobre el talud aguas arriba, este diafragma puede ser: de concreto reforzado, de concreto asfáltico, placas de acero, tablonces de madera.

- **Presas de material homogéneo**

Este tipo de presas están compuestas de un solo tipo de material (excluyendo la protección de los taludes). El material que constituye la presa debe ser suficientemente permeable para formar una barrera efectiva para el agua, y para estabilidad, los taludes deben ser relativamente tendidos. Las presas homogéneas son aplicables en las localidades en donde hay factibilidad para obtener suelo con poca variación en su permeabilidad y en donde los suelos de permeabilidades más bajas se pueden obtener sólo en pequeñas cantidades o los bancos de préstamo se encuentran lejos de la zona del proyecto, encareciendo sustancialmente el proyecto debido al acarreo de éstos. (Linsley Ray E, 1980)

Para impedir la licuación, se recomienda que el talud aguas arriba debe ser condicionalmente tendido, esto si se prevén rápidos desembalses del vaso detrás de un largo almacenamiento.

Respecto al talud aguas abajo, debe ser horizontal como se muestra en la figura 6, para que sea suficientemente estable para soportar la licuación cuando se sature a un nivel elevado.

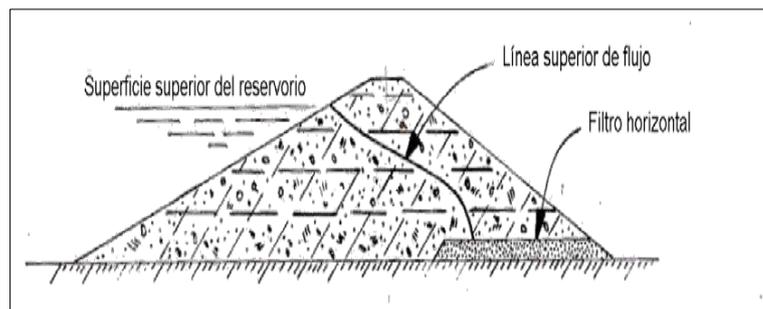


Ilustración 6: Filtro aguas abajo en presa de tierra homogénea

- **Presas de tierra de sección compuesta.**

Esta clase de sección constituye el tipo más común de presas de tierra compactadas, el cual consta de un núcleo central impermeable, de un ancho horizontal mayor a cualquier elevación no menor de 3 metros, confinado por zonas de materiales considerablemente más permeables. Las zonas permeables confinan, soportan y protegen el núcleo impermeable. La zona permeable aguas abajo actúa como dren para controlar el límite superior de filtración, además para un mayor control de las filtraciones transversales la sección debe tener, en lo posible, una permeabilidad creciente del centro o núcleo hacia los taludes. (Linsley Ray E, 1980)

En cuanto a las zonas permeables pueden ser de arena, grava, roca o una mezcla de estos materiales como se muestra en la figura 6, la extensión de la zona impermeable depende de su estabilidad, de las filtraciones que se puedan presentar, así como también a los materiales disponibles en la zona.

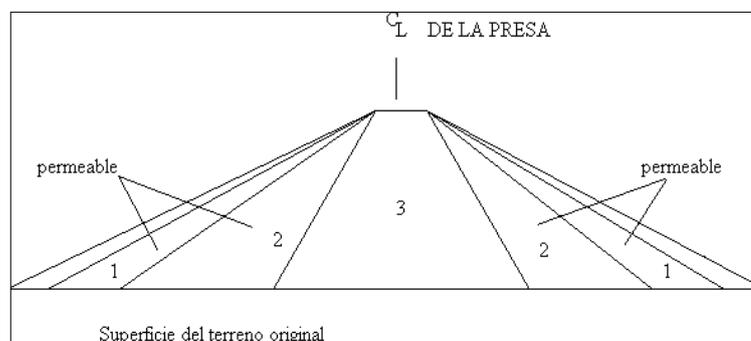


Ilustración 7: detalle de sección de presa compuesta

- **Por su altura y volumen:**

Grandes presas: es toda presa que supera los 15 metros de altura o alcanzando más de 5 metros tenga una capacidad de embalse de 3 millones de m³.

La función de estas presas radica en controlar las inundaciones, ser fuente de energía hidráulica y suministrar agua de uso doméstico, industrial y

agrícola. Su importancia radica en su alta demanda proporcionando el 19% de la electricidad mundial además del uso de 40% en los regadíos mundiales (Hispagua, 2006)

Este tipo de construcción presenta detractores que se basan en su riesgo potencial en caso de alguna falla, resultando en fuertes inundaciones causando daños incalculables tanto económicos y humanos.

Pequeñas presas: toda aquella que no cumpla con las características dimensionales anteriores. Su finalidad de uso es en su mayoría para regadío de cultivo.

Por material

- **Tierra:** estas son elaboradas de material compactado, no rígidos, seleccionados y con un grado de humedad óptimo.

Una ventaja dominante sobre este tipo de presa es que al ser construida sobre suelos con capacidades de soporte bajo las cargas que se transmite a la fundación se distribuye sobre un área mayor que en cualquier tipo de presa (Aguilar, 2006)

- **Enrocados:** según la comisión internación de grandes presas, las de enrocado están conformadas por un terraplenado cuya estabilidad depende de la roca.

En el diseño de presa tipo enrocado se considera una zona impermeable en el talud aguas arriba o mediante un núcleo de arcilla

Una notoria ventaja de este tipo de presa es que la membrana impermeable de hormigón armado puede ser completamente revisada cuando se vacía la presa durante la operación y puede definirse cuando sea necesario hacer reparaciones. (Aguilar, 2006)

Concreto: se usan para obras de gran envergadura, así como para obras pequeñas como en zonas de cultivo siendo su uso más común el de captar agua para suministro e cultivo y ganado. Son hechas de concreto ciclópeo o armado según la necesidad y estudio de la zona que requiera.

2.2.4 Análisis de estabilidad de taludes de presas de tierra

Hasta la época actual, se han propuestos diversos métodos para el cálculo de estabilidad de presas de tierra; en general, tales métodos se basan en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y en ciertas hipótesis con respecto al carácter de la falla del terraplén.

La mayor aceptación que los métodos de equilibrio limiten ha tenido en la práctica, para la evaluación de la estabilidad de presas de tierra, ha dado origen a la gran variedad de métodos de cálculo existentes, estos son analizados ampliamente en diversas publicaciones y formulaciones matemáticas.

Los métodos de las rebanadas son los que han recibido mayor aceptación por parte de los proyectistas de presas debido a su capacidad de analizar obras zonificadas constituidas por diversos materiales y a la posibilidad de analizar rebanada por rebanada la influencia de algunos factores como los esfuerzos normales, las presiones de poros, coeficientes de cohesión, el peso de cada rebanada, etc.

En tal sentido, existen métodos para analizar superficies circulares como el círculo de rozamiento: (Fillenius, Bishop, etc.), también para el caso de desembalse rápido (Norbert Morgenster).

Sin embargo, es necesario reconocer que existe una serie de situaciones, relacionadas principalmente con fundiciones y estribos de presas, con suelos que acusan pérdida de resistencia al deformarse o suelos dinámicamente inestables, en los cuales los métodos de análisis mencionados anteriormente no son los adecuados (Bureau of redamation, 1987)

Talud: el talud o pendiente de un muro, se comprende bajo el nombre genérico de talud a cuáles quiera superficie inclina respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra

de ingeniería. Los taludes se dividen en naturales (laderas) o artificiales (cortes y terraplenes).

Los taludes se construyen con la pendiente más elevada que permite la resistencia del terreno manteniendo así unas condiciones aceptables de estabilidad. Entenderemos por talud a toda la superficie del suelo inclinada, respecto a la horizontal, ya sea en forma natural o por obra del hombre, que permanecerá por tiempo indefinido.

En los taludes se definen los siguientes elementos constructivos:

- **La altura:** Es la distancia vertical entre el pie de la cabeza, la cual se representa claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada en cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel del agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados o en porcentaje.

2.2.4.1 Estabilidad durante el llenado

El primer llenado de la presa es un tiempo crítico para la seguridad de los taludes. Pueden aparecer problemas, debido a varios factores como se muestra en la figura 7:

- Resistencia al cortante, presión de poros en estabilidad de taludes.
- Fractura hidráulica, erosión interna y tubificación.
- Al llenar el embalse la presión de poros aumenta, desaparecen las presiones negativas y el factor de seguridad disminuye.

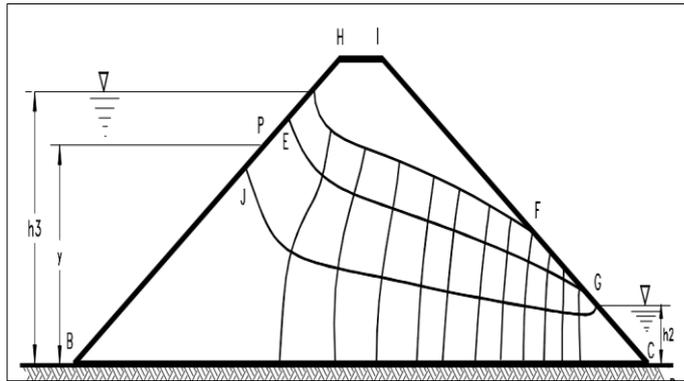


Ilustración 8: Problema de tubificación durante el llenado

2.2.4.2 Estabilidad de presa de tierra

Una falla de estabilidad ocurre cuando un esfuerzo cortante sobre una superficie excede a la resistencia al corte del material compuesto, el análisis de estabilidad se realiza considerando posibles superficies de falla siendo la falla crítica la superficie con menos factor de seguridad. El factor de seguridad está determinado en relación de la resistencia al corte vs el esfuerzo cortante actuante.

Para su cálculo existen diferentes modelos matemáticos los cuales han sido llevados a programas de computadora para un mejor análisis.

Factor de Seguridad

El Factor de Seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. El factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

$$F.S = \frac{\sum \text{de momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{momentos actuantes}}$$

Principales métodos de análisis

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, y arroja

como resultado un factor de seguridad al comparar las fuerzas o momentos resistentes en la masa del suelo con respecto a las fuerzas o momentos actuantes. Sin embargo, este método no requiere información sobre las propiedades esfuerzo-deformación del suelo, dado que no considera este tipo de análisis. El método de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla, lo cual es equivalente a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis de equilibrio límite se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión. Por otro lado, mediante un análisis de esfuerzo-deformación se puede modelar muchas de las propiedades físicas de un suelo. Con la información obtenida de los análisis, uno puede determinar cómo reaccionará un suelo cuando está sometido a diversas condiciones de esfuerzo. En un análisis de esfuerzo deformación se debe de tener en consideración lo siguiente:

- Debe mantenerse el equilibrio de esfuerzos en cada punto, lo cual se logra empleando la teoría elástica para describir la relación entre los esfuerzos y las deformaciones. Para predecir el nivel de esfuerzos y deformaciones en la masa de suelo se requiere conocer las propiedades elásticas de los materiales
- Las condiciones de esfuerzos de frontera deben satisfacerse.
- Existe dificultad en la mayoría de los casos prácticos reales para definir la relación esfuerzo-deformación, por lo difícil que es describir los depósitos de suelos naturales en términos de sus propiedades elásticas. Otra limitante es el poco conocimiento de los esfuerzos reales “in situ” que se requieren para incorporar en el modelo. Solamente en casos de proyectos de grandes presas y

cortes enroca para objetivos mineros, se han desarrollado programas exitosos de estudio de taludes por elementos finitos. Generalmente, se usa un análisis bidimensional por la facilidad de su aplicación.

- El análisis planar o bidimensional asume cero esfuerzos o cero deformaciones en las superficies laterales del modelo, por lo tanto, para que se simulen las condiciones de campo se requiere que existan esas condiciones o unas muy cercanas. El empleo de análisis bidimensional se puede ampliar aplicando al modelo una carga hidrostática lateral. Por otro lado, se debe tener en cuenta que los análisis para suelo reforzado requieren considerar el refuerzo del suelo mediante elementos en tensión; estos refuerzos se pueden modelar fácilmente mediante el método de equilibrio límite, pero no ocurre lo mismo mediante los modelos de esfuerzo-deformación. (Navarro, 2016)

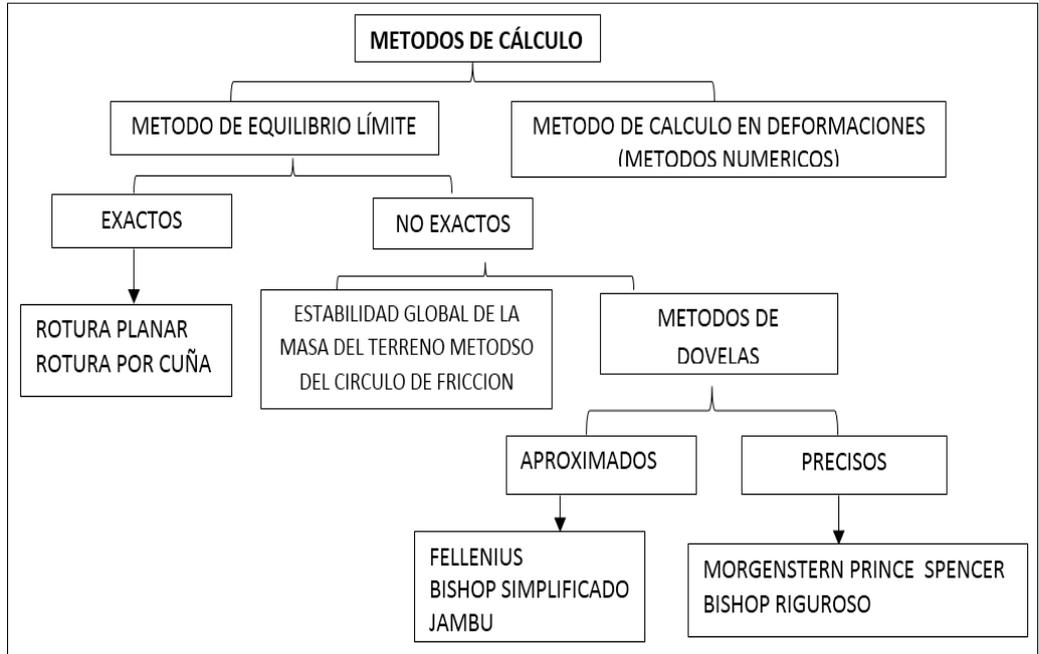


Ilustración 9: Esquema de Metodos de Calculo

2.2.4.3 Criterios de estabilidad de presas de tierra

- Siempre que el esfuerzo cortante a lo largo de cualquier superficie excede la resistencia al corte del material, ocurre una falla de estabilidad.
- Las superficies de falla pueden ser planas o circulares.
- El análisis de estabilidad normalmente se efectúa considerando varias superficies potenciales de deslizamiento y determinando el factor de seguridad en cada una de ellas.
- La superficie con el más bajo factor de seguridad se considera como la superficie de falla crítica.
- El factor de seguridad queda definido como la relación entre la resistencia al corte vs el esfuerzo cortante actuante.
- El análisis de estabilidad debe efectuarse para diferentes condiciones y los factores de seguridad mínimos exigidos en cada caso son los indicados en la tabla 2:

Tabla 2: Factores de seguridad mínimo (FS)

CONDICION	Taludes a Analizar	Fsmin (sin sismo)	Fsmin (con sismo)
- Al final de la construcción	TA + TP	1.25	1.05
- Filtración uniforme	TA + TP	1.5	1.25
- Desembalse rápido	TA	1.25	1.05

Dónde: TA= Talud anterior TP= Talud posterior

Fuente: Diseño de pequeñas presas (USBR)

2.2.5 Programas que para el cálculo de estabilidad y filtración

Existen diversos programas que calculan la estabilidad y filtración en presas de forma muy precisa utilizando modelos matemáticos, como referencias tenemos Slide, GEO5 y Geostudio. En el presente estudio se utiliza el programa Geostudio con sus herramientas Sweep y Slope, los cuales calculan la filtración y estabilidad respectivamente.

2.2.5.1 Normatividad para el diseño de presas de tierra

La normatividad considerada para el desarrollo de la investigación es:

- United States Bureau of Reclamation (USBR,1994)
- Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD,1994)
- El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (USACE, 2000)

Dentro de las características de las presas de tierra se pueden ver las siguientes:

- Característica en el diseño o criterios de predimensionamiento.
- El diseño de una presa de tierra, el cual consiste en desarrollar o formar un relleno, de permeabilidad suficientemente baja para el propósito deseado con los materiales disponibles y con un costo mínimo. Los bancos de préstamo para hacer el relleno generalmente deben estar cercanos al sitio de la construcción, debido al alto costo de los acarreo en camión.
- Como la cantidad de relleno varía aproximadamente con el cuadrado de la altura, las presas de tierra de gran altura son raras.

El diseño estructural de la presa de tierra es un problema de mecánica de suelos, que involucra el conseguir la estabilidad del relleno y de la cimentación y tener una permeabilidad suficientemente baja. Hay poco daño con la filtración que se tenga en una presa de control de avenidas si la estabilidad del dique peligran, pero en una presa para conservación debe ser lo más impermeable posible. (Linsley Ray E, 1980).

- **Altura de la presa**

La altura de una presa de tierra es la distancia desde la cimentación hasta la superficie del agua en el vaso cuando está descargando el vertedero a la capacidad de diseño, más una cantidad por borde libre para la marea de viento, olas y acción de la elevación.

- **Borde libre** o margen libre

- Se define como la distancia vertical entre la corona del terraplén y la superficie del agua del vaso. El término más específico es

“borde libre normal”, se define como la diferencia de elevación entre la corona de la presa y el nivel normal del agua del vaso según se haya fijado en el proyecto.

- El término “borde libre mínimo” se define como la diferencia de elevación entre la corona de la presa y el nivel máximo del agua en el vaso que pudiera resultar cuando ocurriera la avenida de proyecto y las obras de toma y el vertedero de demasías funcionaran como se han proyectado.
- El borde libre se proyecta para evitar el rebasamiento del terraplén por el efecto de las olas que puede coincidir con la ocurrencia de la avenida de proyecto. El borde libre mínimo proporciona también un factor de seguridad contra muchas contingencias, como el asentamiento mayor de las presas que las cantidades previstas, la ocurrencia de una avenida mayor que la de proyecto, o un mal funcionamiento de los controles del vertedor de demasías o de la obra de toma que produzcan un aumento en el nivel máximo de la superficie arriba del previsto.
- La determinación racional del borde libre requiere la determinación de la altura y del efecto de las olas. La altura de las olas generadas por los vientos en un vaso depende de la velocidad de los mismos, de su duración, del fetch (que es la distancia sobre la que el viento puede actuar sobre una masa de agua y por consiguiente producir una ola), de la profundidad del agua y de la anchura del vaso. La altura de las olas, al aproximarse al talud aguas arriba de la presa puede alterarse por el aumento de profundidad del agua o por disminuir la anchura del vaso.
- Para efectos prácticos el Bureau of Reclamation, recomienda para el borde libre igual a $h_p/10$, donde h_p es la altura de la presa.
- En un informe de la American Society of Civil Engineers, se muestra la tabla 3, hecha como resumen de las fórmulas empíricas para la determinación de las alturas de las olas.

Tabla 3: Alturas de olas para diferentes fetch

Fetch (Km)	Velocidad del viento (Km/h)	Altura de olas (m)
1.609	80.46	0.82
1.609	120.7	0.91
4.023	80.46	0.97
4.023	120.7	1.09
4.023	160.93	1.18
8.046	80.46	1.12
8.046	120.7	1.31
8.046	160.93	1.46
16.093	80.46	1.37
16.093	120.7	1.64
16.093	160.93	1.85

Fuente: American Society of Civil Engineers

Anchura de la corona.

- La anchura de la corona depende de la naturaleza de los materiales para los terraplenes y de la distancia mínima de filtración admisible a través del terraplén con el agua al nivel normal del vaso, de la altura y de la importancia de la estructura, de la posible necesidad de utilizarla como tramo de un camino y de la factibilidad de su construcción.
- El ancho mínimo de la corona debe ser aquel con el que se obtenga una pendiente segura de filtración a través del terraplén cuando el vaso se encuentre lleno. Debido a las dificultades prácticas para determinar este factor, la anchura de la corona se determina principalmente en forma empírica y en la mayor parte de los casos, por precedentes. Se sugiere la siguiente fórmula para la determinación de la anchura de la corona para presas pequeñas de tierra:

$$w = h_p/5 + 10 \quad (1)$$

Donde:

w = anchura de la corona en pies,

h_p = altura de la presa en pies arriba del punto más bajo en el cauce de la corriente.

- Para efectos constructivos se propone que la anchura mínima de la corona no debe ser menor de 12 pies (3.65m). En algunos casos, la anchura mínima la determina la necesidad de pasar un camino por la corona.
- La corona se debe cubrir con algún tipo de protección contra los daños por las salpicaduras y roces de las olas, los escurrimientos de las lluvias y el viento, y del desgaste y destrucción por el tránsito, cuando se use como camino. El tratamiento usual consiste en colocar una capa de roca fina seleccionada o de material gravoso con un espesor mínimo de 4". En el caso de que la corona sea un tramo de camino, el ancho de la corona y la clase de pavimento debe ajustarse a las de la carretera que la conecta. El drenaje superficial de la corona se obtiene dándole un bombeo aproximado a" ó dándole una inclinación hacia el talud de aguas arriba. Se prefiere este último, a menos que el talud aguas abajo esté protegido contra la erosión con un revestimiento tan resistente como el que se obtiene en el talud aguas arriba.

- **Taludes**

- El proyecto de los taludes de terraplén puede variar mucho según el carácter de los materiales disponibles para la construcción, las condiciones de la cimentación, y la altura de la estructura. Los taludes de los terraplenes son los necesarios para dar estabilidad al terraplén sobre una cimentación estable. Las cimentaciones permeables pueden requerir la adición de colchones del lado aguas arriba para reducir la filtración, o filtros de drenaje horizontales aguas abajo para dar estabilidad contra las fuerzas de filtración.

- El talud de aguas arriba puede variar de 2:1 a uno tan tendido como de 4:1 por estabilidad; generalmente es de 2½:1 o 3:1. Se usan a veces taludes aguas arriba tendidos para eliminar protecciones costosas en los taludes. A menudo, se construye una berma a una elevación ligeramente inferior al desembalse máximo del vaso, para formar una base para la protección del talud aguas arriba, la cual no es necesario prolongar abajo de este punto.
- Una presa de almacenamiento sujeta a un rápido desembalse del vaso debe tener una zona aguas arriba con la permeabilidad suficiente para disipar las presiones intersticiales ejercidas hacia afuera de la parte aguas arriba de la presa. La rapidez con que descienda el nivel en el vaso es un factor importante que afecta la estabilidad de la parte aguas arriba de la presa.
- Cuando solo se dispone de material fino de poca permeabilidad, como son los que predominan en las arcillas, es necesario que los taludes sean tendidos, si es un requisito de proyecto hacer desembalses rápidos. Inversamente, si se dispone de materiales que drenen con facilidad y que se puedan utilizar como lastre para confinar en la parte baja el material fino de poca permeabilidad, se puede usar un talud más inclinando.
- El peligro de inundaciones debido a la falla del talud aguas arriba es muy remoto. La falla se puede producir solamente durante la construcción o después de un desembalse rápido; con ambos casos, el vaso debe estar prácticamente vacío. El peso y las fuerzas de filtración actúan como un agente estabilizador en el paramento mojado cuando el vaso está lleno.
- Los taludes ordinarios del lado aguas debajo de las presas pequeñas de tierra varían entre 2:1 a 2½:1. Estos taludes son estables para los tipos de suelos comúnmente usados, cuando se proyecta drenaje, de manera que el talud aguas abajo del terraplén nunca se satura por las filtraciones.

2.2.6 Criterios teóricos para el Análisis de Estabilidad de Taludes

La estabilidad de los taludes de una presa se determina por su capacidad para resistir esfuerzos cortantes ya que la falla se produce por deslizamiento a lo largo de una superficie de corte.

El análisis de estabilidad de la presa consiste en determinar la estabilidad de sus taludes aguas arriba y aguas abajo. Se hace por unidad de longitud de talud. Este es un proceso de tanteos en que se suponen diferentes condiciones de carga a que puede estar sometida la presa.

Las fuerzas que producen el movimiento de la masa que constituye el talud son: fuerzas de gravedad, fuerzas sísmicas, acción del oleaje, del hielo y sobrecargas. Las fuerzas que se oponen al movimiento son las debidas a los parámetros de resistencia del suelo que constituye el terraplén: cohesión y fricción interna del material.

Los terraplenes hechos de materiales granulares son más estables ya que tienen mayor resistencia a la fricción y por ser más permeables permiten la rápida disipación de las presiones intersticiales. Por esto, presas homogéneas de materiales más o menos impermeables llevan taludes más tendidos que las presas mixtas o las de enrocado. El talud de aguas arriba por estar sometido a la permanente acción del agua es más tendido que el de aguas abajo.

La situación más crítica para el talud aguas arriba es el rápido desembalse que sigue a un largo periodo de niveles altos en el embalse, y para el talud aguas abajo es la máxima saturación del terraplén cuando el embalse está lleno.

La resistencia al esfuerzo cortante se obtiene por la ecuación de Coulomb:

En presiones efectivas:

$$\tau = C' + \bar{\sigma} * \text{tang}\phi' \quad (2)$$

Siendo:

τ = esfuerzo cortante

C = cohesión

$\bar{\sigma}$ = esfuerzo efectivo total normal a la superficie potencial de deslizamiento

ϕ' = ángulo de fricción interna

$$\sigma = \bar{\sigma} + \mu \quad (3)$$

Siendo:

σ = esfuerzo total normal a la superficie potencial de deslizamiento

μ = presión de agua en los poros, determinada por medio de piezómetros, red de flujo, teorías de consolidación

Las anteriores ecuaciones indican que la resistencia al esfuerzo cortante se reduce por la presencia del agua. En un principio las cargas son absorbidas por el agua pero si se da tiempo a que el material consolide, la presión de poro se disipa y empieza a actuar el suelo.

El análisis de estabilidad se puede hacer considerando esfuerzos efectivos o totales. El análisis de las presiones efectivas se usa para chequear el comportamiento a largo plazo de la presa dando lugar a que el exceso de presión de poros se disipe. Se tienen en cuenta ϕ' y C' .

El análisis de presiones totales se usa para cargas aplicadas súbitamente y si:

- El llenado del terraplén se hace sobre suelo impermeable saturado.
- Después de un desembalse rápido en suelos impermeables saturados.
- Después de una excavación en suelos impermeables saturados.

Si el suelo es permeable, el agua sale y la presión de poros se disipa rápidamente. El análisis por presiones totales se aplica más a suelos impermeables por lo que se puede asumir $\phi = 0$ y $\tau = C$.

En términos generales los pasos a seguir son:

1. Se supone una superficie de falla la cual puede ser: por el pie del talud, por la base o por el talud.

Esto determina una masa deslizante y una superficie de deslizamiento.

La masa deslizante define las fuerzas motoras que producen el deslizamiento y la superficie de falla permite calcular las fuerzas que se oponen al deslizamiento.

2. Se calculan los momentos resistentes y los momentos motores o deslizantes.
3. Se calcula el factor de seguridad para la superficie de falla asumida
Si la falla es de tipo traslacional, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Fuerzas estabilizadoras}}{\sum_{i=1}^n \text{Fuerzas desestabilizantes}} \quad (4)$$

Si la falla es de tipo rotacional el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Momentos estabilizadoras}}{\sum_{i=1}^n \text{Momentos desestabilizantes}} \quad (5)$$

4. Asumir otras superficies de falla para obtener el factor de seguridad mínimo del talud

Modelo de Cálculo

- **Modelo Rígido.**

El procedimiento utilizado en el modelo rígido postula que cualquier elemento de refuerzo que corta la potencial superficie de deslizamiento analizada colabora con su resistencia, que es reducida por el coeficiente de seguridad pertinente, independientemente de los valores de rigidez de los elementos de refuerzos. Para cada elemento de refuerzo las condiciones siguientes deben ser verificadas:

- Un anclaje mínimo debe ser garantizado (dada por el usuario).
- El valor de "pull-out" (esfuerzo necesario para arrancar el elemento) en el área de anclaje debe ser garantizado.
- El "pull-out" (esfuerzo necesario para arrancar el elemento) en la porción de suelo inestable debe ser garantizado.

En el primer caso, una extensión de anclaje menor que el mínimo establecido anula el esfuerzo de tracción del elemento de refuerzo.

En el segundo y tercer caso, el esfuerzo de tracción en el elemento de refuerzo está limitado al menor entre los dos valores de "pull-out".

El cálculo de la fuerza de "pull-out" (esfuerzo necesario para arrancar el elemento) es hecho de acuerdo con el siguiente procedimiento, que está basado en la consideración de que en todos los puntos del elemento de refuerzo, la condición extrema (t_u) sea alcanzada.

El "pull-out" externo (área de anclaje)

El área de anclaje es dividida en segmentos y para cada segmento la fuerza tangencial última (t_u) debe ser calculada de acuerdo con la ecuación a seguir.

$$\tau_u = f * \sigma_v \quad (6)$$

Donde:

f = es el coeficiente de fricción total del elemento de refuerzo con los materiales encima y abajo del segmento considerado, el cual puede ser otro elemento de refuerzo sobre el elemento de refuerzo en análisis (f_{fr}) o el elemento de refuerzo con el suelo (f_{tr})

σ_v = la fuerza vertical actuando sobre el segmento considerado, obtenido por la siguiente ecuación:

$$\sigma_v = \frac{W + P_v - U}{dx} \quad (7)$$

W = peso total de la columna de suelo encima del elemento;

σ_v = componente vertical de la sobrecarga uniformemente distribuida actuando en el talud encima.

U = presión neutra.

dx = ancho del segmento considerado.

La integral de la fuerza tangencial última (límite) da la fuerza de "pull-out" última (límite) del elemento de refuerzo. El valor determinado puede ser ampliado a través de un coeficiente de seguridad definido por el usuario.

El pull-out interno

En el caso de elementos de refuerzos secundarios el procedimiento de cálculo de la fuerza de desprendimiento última (límite) extrema es similar al procedimiento usado en el cálculo del pull-out externo.

El largo del elemento de refuerzo en el bloque de suelo inestable es dividido en segmentos, y para cada segmento el valor de la fuerza tangencial final ($\tau\mu$) es calculado usando la siguiente ecuación:

$$\tau\mu = f * \sigma v \quad (8)$$

Donde el significado de los símbolos usados es el mismo que en el caso ilustrado anteriormente. Lo integral de la fuerza tangencial última da el valor del pull-out último fuerza de desprendimiento interno

En el caso de los elementos de refuerzo principales la contribución de la resistencia, debido a lo largo del elemento de refuerzo, debe ser agregada. Esa contribución (F_0) puede ser calculada por la suma de las dos contribuciones:

$$F_0 = F_1 + \Delta F \quad (9)$$

Donde:

F_1 : es la contribución que genera la fuerza de desprendimiento en la parte trasera (horizontal).

ΔF : es la contribución adicional que lleva en consideración la tensión actuando en la parte sub vertical adyacente a la inclinación de la estructura que compone el talud.

F_1 es calculado usándose un procedimiento similar a aquel usado para la determinación del "pull-out" externo (integral de la fuerza tangencial última), en cuanto ΔF es calculado presumiendo que el área analizada tiene una configuración semi circular de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta F = F_1 * \Pi * f_{tx} \quad (10)$$

Un coeficiente de seguridad definido por el usuario, puede ser agregado al valor total de la fuerza de "pull-out" límite.

Método de cálculo utilizado en el programa GeoStudio.

El código de cálculo Geo Estudio emplea muchos métodos, que a continuación se indican:

- Bishop simplified
- Corps of Engineers #1
- Corps of Engineers #2
- GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
- Janbu simplified
- Janbu corrected
- Lowe-Karafiath
- Ordinary/Fellenius
- Spencer

Pero los más utilizados son de Bishop, Morgenstern-Price y Janbu , los cuales se utilizaran en el desarrollo del presente trabajo.

Ambos se refieren al círculo de Mohr – Criterio de falla de Coulomb:

$$\tau = C + (\sigma - U) * \tan\phi' \quad (11)$$

Donde:

τ = fuerza tangencial máxima

C = cohesión;

σ = presión normal total

U = presión intersticial

ϕ' = ángulo de fricción

El valor de la fuerza tangencial movilizada es obtenido a través de la fuerza tangencial máxima y del coeficiente de seguridad.

A continuación, se explica con detalle las hipótesis y características de los métodos de las rebanadas más utilizados.

- **Método de Bishop simplificado**

1. Bishop desarrolló en el 1955 (Bishop y Morgenstern, 1960) un método de rebanadas, el Método de Bishop, tiene las siguientes hipótesis:
2. Se supone una superficie de ruptura circular.
3. La masa deslizante se divide en n rebanas o bloques verticales.
4. Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro del círculo.
5. A partir de la condición de equilibrio de fuerzas verticales de cada rebanada se obtienen las fuerzas N (normales a la superficie de ruptura) y se sustituyen a la ecuación resultante del equilibrio de momentos.
6. El Método de Bishop Simplificado ignora las tensiones tangenciales entre rebanadas.

Características del método Bishop simplificado

- El método puede ser aplicado solamente para superficies circulares o casi circulares, esto es, superficies que son consideradas como superficies de falla circulares adoptando un centro de rotación ficticio.
- Este método presume que las fuerzas actuantes entre las franjas poseen solamente dirección horizontal.
- Este método calcula el coeficiente de seguridad a través del equilibrio contra la rotación en vuelta del centro de la circunferencia
- Eso no satisface el equilibrio global en la dirección horizontal.

- **Método de Janbu simplificado**

El método de Janbu simplificado es muy similar al método de Bishop simplificado, pero en el caso de Janbu solo se cumple el equilibrio total de fuerzas horizontales, pero no el de momentos. El diagrama de fuerzas actuante en una rebanada es el mismo que el diagrama para el caso de Bishop. El método es una de las primeras rutinas para el análisis de superficies de rotura no circulares, suponiendo que las fuerzas entre elementos son nulas; por lo tanto la expresión obtenida por la fuerza normal a las rebanadas es la misma que para el método de Bishop. En este

caso, el equilibrio de las fuerzas horizontales proporciona un Factor de Seguridad de equilibrio de fuerzas sin considerar las fuerzas entre elementos (F_0). Para incluir el efecto de las fuerzas entre elementos al cálculo se puede aplicar un factor de corrección (f_0) de tal manera que el Factor de Seguridad del equilibrio de Fuerzas horizontales (F_f) es el siguiente:

$$F_f = f_0 / F_0 \quad (12)$$

Para la obtención de este factor (f_0), se calibró el análisis con el método de Janbu Riguroso y comprobaron que este factor sólo dependía de la geometría del problema y de las características del suelo, y se puede encontrar en tablas y figuras.

Como en el caso anterior, el problema está sobre determinado y el momento global de equilibrio no se satisface. Pero al igual que en el método de Bishop, el cálculo también puede realizarse a mano, siendo muy práctico. El Factor de Seguridad que se determinó el equilibrio de fuerzas (F_f) es más sensible a la hipótesis realizada que el Factor de seguridad determinado con equilibrio de momentos (F_m). Por esto es preferible emplear métodos que utilicen el equilibrio de momentos para calcular Factor de Seguridad.

Características del método Janbu simplificado

- El método puede ser aplicado en cualquier tipo de superficie.
- Este método presume que las fuerzas de interacción entre las franjas tienen solamente dirección horizontal.
- Este método calcula el coeficiente de seguridad a través del equilibrio contra la translación vertical.
- Este método permite llevar en consideración las fuerzas verticales de interacción (tangenciales) entre las franjas aplicándose al coeficiente de seguridad un factor de corrección que depende de la geometría del problema y del tipo de suelo.

- Eso no satisface el equilibrio global del suelo de apoyo contra la rotación.
- **Método de Morgenstern-Price**
 - El método Morgenstern-Price es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente figura.

Características del método Janbu simplificado

- Los planos divididos entre bloques son siempre verticales
- La línea de acción de peso del bloque W_i pasa por el centro del segmento ith de la superficie de deslizamiento representada por el punto M (1965 The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique).
- La fuerza normal N_i actúa en el centro del segmento ith de la superficie de deslizamiento, en el punto M
- La inclinación de las fuerzas E_i que actúan entre los bloques es diferente en cada bloque (δ_i) al punto extremo de la superficie de deslizamiento $\delta = 0$, como se muestra en la figura 10.
- Utilizando el programa Geo Slope, en el presente estudio se ha procedido a analizar el eje principal de la presa con el método de bishop, Janbu y Morgenstern-Price; tomando como base de cálculo la estabilidad global de la estructura.

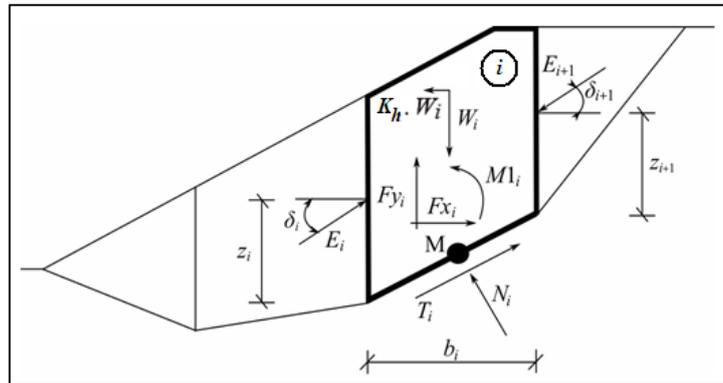


Ilustración 10: Esquema estático – Método Morgenstern-Price:

2.2.7 ESTUDIOS HIDROLOGICOS

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida, puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación, circulación. De lo contrario es un recurso no renovable en una localidad determinada.

De acuerdo a la legislación actual el agua es calificada como patrimonio de la Nación y su dominio es inalienable e imprescriptible, el uso de agua se otorga y ejerce en armonía con la protección ambiental. Por ello, el estado Peruano bajo el principio de sostenibilidad, ha generado los lineamientos para su uso racional dentro del marco de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, que propone una gestión integrada y eficiente del mismo.

Para la presente tesis para el estudio hidrológico considera la información disponible de las estaciones meteorológicas e hidrométricas cercanas a la zona de estudio. Su estudio considera la disponibilidad de agua que aporta la cuenca y cálculo de la demanda, determinación de las pérdidas del sistema. Administrativamente pertenece a la jurisdicción de la Administración Local de Agua de Santiago de Chuco de la Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura.

2.2.7.1 Objetivo del estudio Hidrológico

Realizar la evaluación de las condiciones hidrológicas de la sub cuenca del río Pataraca y la demanda de agua para riego, con el propósito de dimensionar las estructuras de represamiento.

Para lo cual se debe realizar lo siguiente:

- Caracterización la zona de estudio.
- Revisión, análisis y procesamiento de información hidrométrica y meteorológica
- Estimar la oferta mensualizada de agua disponible del río Pataraca, a partir de la ubicación de la presa y su ámbito de la sub cuenca.
- Estimar el volumen de agua de la demanda agrícola de acuerdo a las condiciones del sistema hidráulico y a la cédula de cultivo propuesto.
- Realizar el balance hídrico del proyecto y estimar el volumen de regulación (almacenamiento) del embalse proyectado.

2.2.7.2 GEOMORFOLOGIA

Las características morfológicas de las cuencas y sub-cuencas de la zona de estudio, tales como área total, perímetro, longitud, altura máxima, altura mínima, etc., han sido determinadas a través de la información topográfica de las cartas nacionales (escala 1:100,000), así mismo se ha utilizado como apoyo las fotos satelitales disponibles en el Google Earth, los principales resultados respecto a la geomorfología son los siguientes:

- **Área (A)**

El área o superficie de la cuenca está limitada por la divisoria de agua (divortiumacuarum), la que es una línea que separa la superficie del terreno cuyo drenaje fluye hacia el curso de agua. Se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca.

- **Perímetro (P)**

Se refiere al borde de la forma de la microcuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la microcuenca. El perímetro de la cuenca está definido por la longitud de la línea del divisorio de aguas (divortiumacuarum).

- **Longitud Mayor (L)**

Recibe este nombre el mayor cauce longitudinal que tiene una cuenca determinada, es decir, el mayor recorrido que realiza la quebrada desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo de interés, que puede ser una estación de aforo o desembocadura.

- **Forma**

Es la que determina la distribución de las descargas de agua a lo largo del curso principal o cursos principales, y es en gran parte responsable de las características de las crecientes que se presentan en la cuenca. Es expresada por parámetros, tales como el Ancho Promedio, Coeficiente de Compacidad y el Factor de forma.

- **El Ancho promedio** (A_p , es la relación entre el área de la cuenca y la longitud mayor del curso de la quebrada, la expresión es la siguiente:

$$A_p = \frac{A}{L} \quad (13)$$

Dónde:

- A_p = Ancho promedio de la cuenca
- A = Área de la cuenca
- L = Longitud mayor del curso de la quebrada

- **Índice de compacidad** o índice de Gravelious (K), de una cuenca definida por Gravelious, expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y el

perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca, es decir:

$K = \text{perímetro de la cuenca} / \text{perímetro de un círculo de igual área}$

$$K = P / P_o = P / 2 \pi r \quad (14)$$

$$A = \pi r^2 \quad (15)$$

Reemplazando (15) en (14), se tiene:

$$K = 0.28 * P / \sqrt{A} \quad (16)$$

Siendo:

K = Coeficiente de Compacidad
P = Perímetro de la cuenca
A = Área de la cuenca
 π = (Pi) 3.1416
r = Radio de una circunferencia.

- **La índice de compacidad**, trata de expresar la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escurrentía, particularmente en las características del hidrograma. Si $K = 1$, la cuenca será de forma circular; por lo general para cuencas alargadas se espera que K sea mayor que 1. Las cuencas de forma alargada, reducen las probabilidades, de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta en la respuesta que se presenta en la quebrada.
- **Factor de Forma (Ff)**, permite apreciar la tendencia de la cuenca en las crecientes. En caso de ser alargada, es menos propensa a que una tormenta cubra toda la superficie de la cuenca.

Es la relación entre el ancho promedio de la cuenca (A_p) y la longitud del curso de agua más largo (L).

La expresión es la siguiente:

$$Ff = \frac{A_p}{L} \quad (17)$$

Siendo:

Ff = Factor de Forma
Ap = Ancho promedio de la cuenca (Km)
L = Longitud del curso más largo (Km)

Con este valor de Ff, se puede analizar que las cuencas en estudios están sujetas a crecientes continuas regulares.

- **Pendiente Media**

El conocimiento de la pendiente media del río de la microcuenca, es un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico. El agua superficial concentrada en los lechos fluviales escurre con una velocidad que depende directamente de la declividad de éstos, así a mayor declive, mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media de la quebrada es un parámetro empleado para determinar la declividad de un curso de agua entre dos puntos.

En general, la pendiente media de un cauce de un río o quebrada, se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir el desnivel de los extremos de la quebrada, entre la longitud horizontal de dicho tramo.

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$Ic = (HM - Hm.) / L \quad (18)$$

Siendo:

Ic = pendiente media de la cuenca
L = longitud de la quebrada
HM y Hm = altitud máxima y mínima del lecho de la quebrada,
referidas al nivel medio de las aguas del mar.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **Presa de Tierra:** estructura de tierra compactada en capas para la generación de un embalse con uso industrial, de regadío y doméstico
- **Estabilidad:** característica necesaria en una estructura para soportar las cargas aplicadas.
- **Talud:** el talud o pendiente de un muro, se comprende bajo el nombre genérico de talud a cuáles quiera superficie inclina respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra.
- **Embalse:** es la capacidad de volumen de agua que puede detener la Presa.
- **Vaso:** es el espacio físico que contiene el agua embalsada.
- **Boquilla:** es el lugar escogido para la ubicación de la estructura de cierre.
- **Cortina:** estructura rígida, estable con capacidad de soportar las sollicitaciones del empuje hidrostático del agua y evitar las pérdidas por filtraciones.
- **Caras, Taludes o Paramentos:** son las superficies inclinadas o verticales que limitan el cuerpo de la Presa, la cara denominada “aguas arriba” es la que está en contacto con el agua, y la otra cara es denominada “aguas abajo”.
- **Estribos:** son los apoyos anclados de la estructura de la Presa al terreno en sus partes laterales.
- **Corona:** es la parte superior horizontal de la estructura de la Presa.
- **Base:** es la superficie inferior de la estructura sobre la cual transmite el peso de la Presa al terreno.
- **Obras de Toma:** estructuras auxiliares para extraer agua de la presa para los fines concebidos, como por ejemplo generación de energía eléctrica.
- **Descarga de Fondo:** sistema de descarga de agua mínima para no perjudicar la fauna “aguas abajo”. Ayuda en algo a la descarga de sedimentos.
- **Compuertas:** dispositivos mecánicos que se emplean para la regulación el caudal de agua de la Presa.
- **Río:** Sistema de canales naturales (cursos de agua) por medio de los cuales se descarga el agua de la cuenca.

- **Cauce:** Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río, un canal o cualquier corriente de agua. (Rocha, 1998).
- **Falla por deslizamiento superficial:** ocurre al deslizarse el material próximo a los taludes por la acción del agua o aire, debido a la falta de confinamiento en esa zona.
- **Fallas por movimiento de talud:** este tipo de falla se presenta sobre todo en taludes como laderas, colinas, tajos, etc. Es un desplazamiento de la totalidad de la masa del talud por debilitamiento de la resistencia al esfuerzo cortante, debido a la presencia de agua.
- **Falla por rotación:** Se puede diferenciar tres tipos de acuerdo con el lugar del talud donde se presente
- **Falla por traslación:** Son frecuentes en taludes donde existe estrato inferior débil que al humedecer pierde su resistencia ocasionando el deslizamiento de la masa de tierra como se muestra
- **Falla Por Licuación:** esta falla es frecuente en taludes naturales y se debe a la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante por aumento del contenido de agua o pérdida de la resistencia por deformación o cualquier otro tipo de degradación estructural que pueda tener lugar, aun sin cambio en el contenido de agua.

2.4 HIPÓTESIS

Si consideramos un talud y utilizamos el material de préstamo de una cantera de Santiago de Chuco entonces podremos determinar que estabilidad de la presa de tierra en el cauce del río Pataraca para diferentes estados de operación aplicando análisis Pseudo- Estático será mayor en 10 % al factor de seguridad teórico.

2.5 VARIABLES

Variable Dependiente (V1): Estabilidad de la presa de tierra

Variable Independiente (V2): Talud y material de préstamo

Tabla 4: Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	UNIDAD	INSTRUMENTO
V1: ESTABILIDAD PRESA DE TIERRA	Factor de seguridad	Cumple la estabilidad para los estados de críticos de operación	adimensional	NORMA USBR, ICOLD, USACE
V2: TALUD Y MATERIAL DE PRÉSTAMO	Relación horizontal/vertical Clasificación Resistencia Peso específico Contenido de Humedad Compacidad Densidad seca	Inclinación o pendiente de lateral de la presa Propiedades mecánicas de los suelos de la cantera	m/m Kg/cm Kg/m % Kg/cm ² Tn/m ³	SUCS Proceso de calculo

Fuente propia

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación: por su finalidad es aplicativa

Mediante una investigación aplicativa se propone una presa de tierra que asegure su estabilidad para diferentes estados operación aplicando análisis pseudo-estatico.

3.1.2. Nivel Investigación: Descriptiva.

Mediante una investigación descriptiva se realizará el análisis de estabilidad de la Presa de tierra del Río Pataraca considerando la influencia del talud y material de préstamo

3.1.3. Diseño de la investigación: no experimental

3.2. Población y muestra.

3.2.1 Población.

Análisis de estabilidad de presas de tierra en el Perú, como estructura de almacenamiento y regulación de agua para riego.

3.2.2 Muestra.

Análisis de estabilidad de la Presa Pataraca de talud variable y material de préstamo de cantera de Santiago de Chuco.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

- Realizaremos una visita técnica a la zona de estudio en el río Pataraca en la Provincia de Santiago de Chuco y poder describir la situación actual del río donde se ubicará la presa, recopilando material fotográfico e información hidrológica y geológica.
- Realizar un estudio topográfico con estación total.
- Realizaremos un estudio de suelos en el laboratorio de la universidad (ensayo granulométrico – clasificación SUCS),
- Se aplicará métodos para el diseño de la presa de tierra según la norma USBR, ICOLD y USACE.
- Se determinará la estabilidad de la presa de tierra aplicando métodos pseudo estático

3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Se realizará el procesamiento de información y diseño mediante los siguientes softwares:

- MICROSOFT EXCEL: Se prestará para hacer las hojas de cálculos para el diseño de cada tipo de pavimento.
- MICROSOFT WORD: Se usará para la edición del informe de la investigación.

- Autocad CIVIL3D: Ayudara para medir los niveles del terreno en estudio.
- ARCGIS: Herramienta que permitirá realizar un estudio y análisis del terreno, donde nos ayudará a crear un modelo de elevación para poder habilitar al programa Geo-Studio. Llevando como data los recursos hídricos e hidrológicos del río.
- GOOGLE EARTH: Es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital.
- GEOSTUDIO: es un programa de análisis numérico utilizado por ingenieros geotécnicos, hidrogeólogos y geocientíficos. Este paquete de aplicaciones completamente integrado incluye análisis de estabilidad de equilibrio límite y 7 aplicaciones de elementos finitos para modelar problemas geotécnicos y geocientíficos.
- Aplicación de normatividad considerada para el diseño de presas de tierra:
 - United States Bureau of Reclamation (USBR,1994)
 - Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD,1994)
 - El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (USACE, 2000)

4. RESULTADOS

4.1 TOPOGRAFICOS

4.1.1 Ubicación de la zona de estudio: Ubicación Política

La zona de estudio, se ubica políticamente en el Distrito y Provincia de Santiago de Chuco, en el Departamento de La Libertad, como se muestra en la Grafica N°2.

La provincia de Santiago de Chuco, se encuentra situada en la sierra norte del Perú. Sus límites geopolíticos son: por el sur con el departamento de Ancash, por el este con la provincia José Faustino Sánchez Carrión, al norte con las provincias de Otuzco y Julcán, y en su extremo oeste, con la provincia de Virú. La extensión de la Provincia cubre actualmente 2,728.40 Km².

Tiene por capital a la ciudad de Santiago de Chuco, la cual se ubica entre las coordenadas, 08°08'33" de latitud sur, y los 78°10'15" de latitud oeste sobre los 3,115 metros sobre el nivel del mar. Se ubica en las zonas climáticas: quechua, suni y puna.

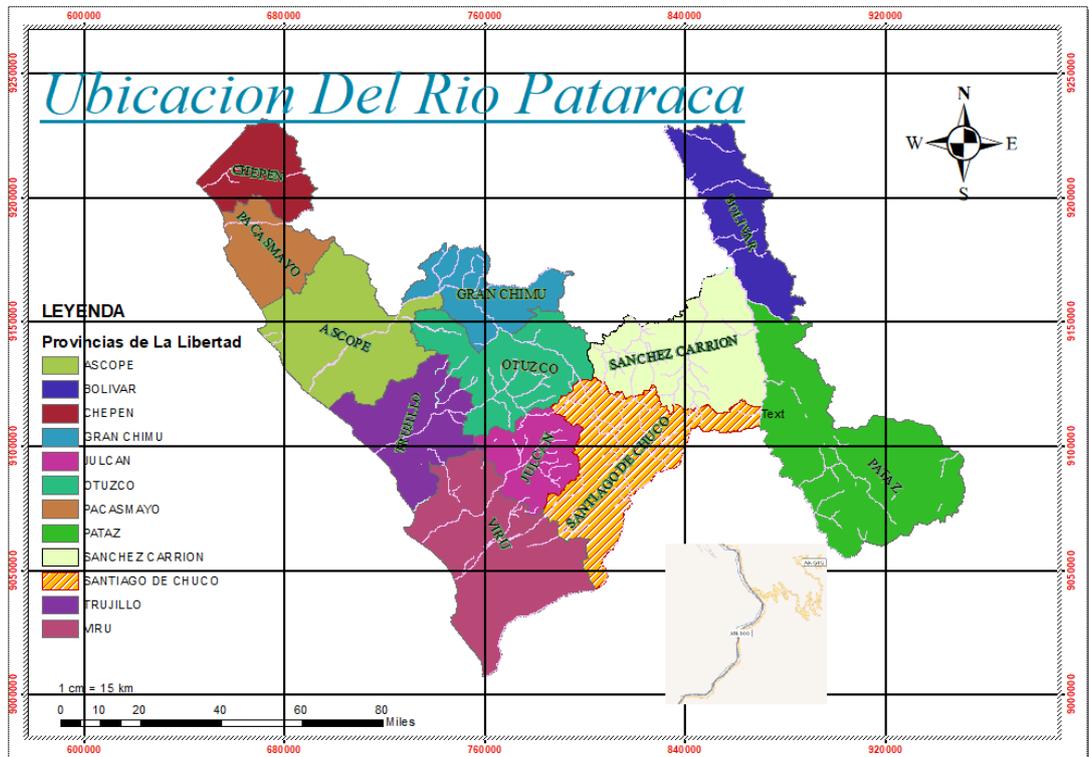


Ilustración 11: Ubicación Política zona de estudio del área de estudio

4.1.2 DEMARCACION DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA

Como información cartográfica para el desarrollo de la delimitación de las cuencas y sub cuencas de la zona de estudio se han utilizado cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional del Perú-IGN que contienen de curvas de nivel equidistantes de 25m y 50 m y con una escala 1:100,000. La carta utilizada en el estudio es:

CARTA NACIONAL 1: 100,000 17G – SANTIAGO DE CHUGO

El procesamiento de esta información se ha realizado a través del programa ARCGIS 10.3, con los complementos ArcHydro, Spatial Analysis y 3D Analysis, con los cuales se han delimitado las subcuencas del área de influencia de la Presa Pataraca. Asimismo, fueron verificadas y rectificadas en superposición con fotos satelitales disponibles en Google Earth.

Como resultado del procesamiento de la información disponible se obtuvo la delimitación de las sub cuencas en el área del ámbito de la presa Pataraca como se muestra en la Grafica 3 y y la delimitación de la cuenca en la Grafica 4.



Ilustración 12: Delimitación de sub cuenca hidrografiuca en imagen satelital y ubicación de Presa

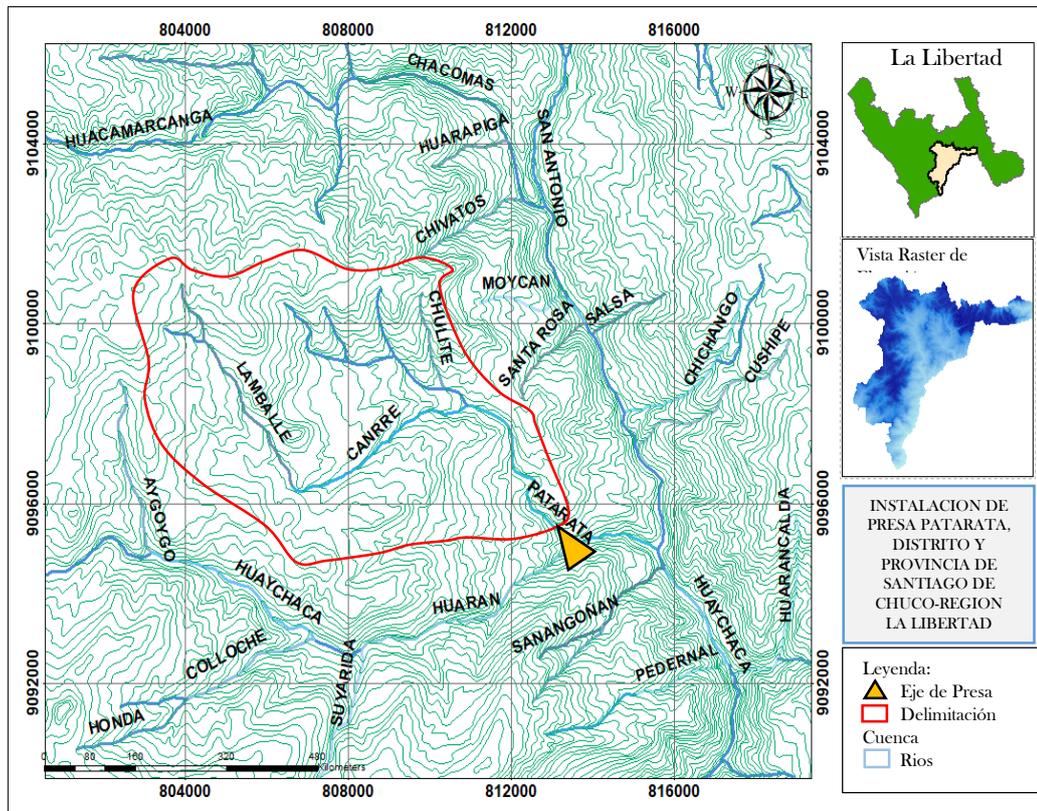


Ilustración 13: Delimitación de la sub cuenca del Presa Pataraca en plano de curvas de nivel

Morfología: relieve

La zona de estudio de Santiago de Chuco es la zona alto andina, la cual presenta las siguientes características:

- **Planicies onduladas a disectada:**
 - Altiplanicie ondulada de tipo (Ao-b), equivalente 0.21% de la superficie total de la provincia.
 - Altiplanicie disectada de tipo (Ad-c) equivalente a 0.45% de la superficie.
- **Colinas y montañas**
 Vertientes montañosas y colinas moderadamente empinadas con tipo de vertientes Vs1-d y superficie equivalente al 4.91% vertientes montañosas y colinas empinadas a escarpadas con tipo de relieves Vs1-e y superficies equivalente 9.4%.

4.1.3 El levantamiento Topográfico

El levantamiento Topográfico se ha realizado aguas arriba de la ubicación del eje de la presa, utilizando como base un área de trabajo que abarca una figura geométrica imaginaria.

La pendiente promedio del cauce de río es 2.90%; es decir, que varía 2 metros y noventa centímetros cada 100 metros aproximadamente, no se observan variaciones bruscas; en la composición del terreno se puede observar roca volcánica, con material fluvial en el lecho del río, mayormente areno limoso, y material granular, desarrollándose en los alrededores pastizales cortos que no evidencian la presencia de bofedales

Para el relleno topográfico se ha tomado como apoyo planímetro la poligonal establecida por los puntos geodésicos de control y no fue necesario el establecimiento de puntos de estaciones por que la longitud permitió que los receptores GPS capten las señales entre ellos.

Procesamiento en Gabinete

Los datos de campo obtenidos mediante estación total, fueron transferidos al ordenador, para su procesamiento con un software de diseño especializado (CAD) con el cual se pudo obtener la nube de puntos tomadas durante el levantamiento. Cada uno de los puntos señalados tiene coordenadas X, Y, Z. a partir de estos puntos el software generará el modelo digital del terreno. Una vez generado y revisado el modelo digital del terreno (software AutoCAD Civil 3D) tenemos a nuestra disposición una base con la que podemos efectuar todos los cálculos necesarios y poder dibujar en los planos respectivos de: Perfil longitudinal, secciones transversales, cálculo de movimiento de tierras, etc. con las escalas indicadas, con curvas de nivel a cada metro y complementando el dibujo con datos adicionales como cuadro de coordenadas, la leyenda respectiva y otros para su fácil entendimiento.

4.2 RESULTADOS DE GEOLOGICOS Y MECANICA DE SUELOS

4.2.1 Geología regional

Para los fines de la tesis se ha considerado una extensión que comprende el área de ubicación de la presa y cuenca aguas arriba del eje de la presa, ubicando un cuadrángulo de Geología de Santiago de Chuco, congruentemente se describen aquí las unidades geológicas, indicándose que en dicha área están presentes formaciones geológicas de rocas cuya edad está comprendida desde el Jurásico superior hasta el terciario inferior y con edad cuaternario reciente como lo son las formaciones de materiales sueltos.

En la superficie de la región descrita resalta la amplia predominancia de las exposiciones de las unidades de roca reconocidas como Grupo Calipuy del tipo lava y flujo piroclástico de brechas y tufos andesíticos, dacíticos y riolíticos, cuya edad va del cretáceo superior a inicios del terciario, estas rocas conforman la mayor parte del basamento y exposiciones rocosas, en este estudio se hace una especial reseña sobre las unidades reconocidas como Grupo Calipuy (Ktivca según la nomenclatura de INGEMMET).

4.2.2 Estudio de Mecánica de suelos de Canteras

Por información de la Municipalidad Distrital de Sanbtiago de Chuco, se ha determinado la ubicación de canteras cercanas a la zona del río Pataraca, las cuales se pueden utilizar como material de préstamo, cuyos resultados de los estudios de mecánica de suelos se podrán utilizar para determinar la estabilidad de la presa-de tierra:

Cantera Paraíso

Está ubicado en el Km.14 de la carretera Santiago de Chuco – Shorey – Trujillo. Al lado izquierdo hay un ingreso carrozable (aprox. Unos 500 m). a dicha cantera que está en explotación ya que dicho material está siendo utilizado como material de afirmado en el tramo de la carretera Santiago de chuco – Shorey.



Ilustración 14: Cantera Paraíso

Cantera Palo Blanco

Está ubicada en el Km. 09 de la carretera Santiago de Chuco – Shorey. Al lado derecho de la misma carretera. Es una roca de naturaleza volcánica tipo andecítica, color gris verdoso, textura porfírica, roca poco alterada, resistente, fracturada.



Ilustración 15: Cantera Palo Blanco

Cantera Rio Huaychaca

Está ubicado en la Localidad de San Antonio en la carretera Santiago de Chuco – Cachicadan. Al lado izquierdo de dicha carretera hay una trocha carrozable que llega al lecho del rio Huaychaca.

El material para el agregado es un material fluvio aluvial, constituido por gravas subredondeadas a redondeadas bien gradadas, en matriz arenoso grano fino a grueso, con algo de limo arcillas, dichos materiales en su gran mayoría es de origen ígneo.



Ilustración 16:Cantera Río Huaychaca

Cantera Quebrada Seca

Está ubicado al noreste de Santiago de Chuco, en la misma carretera Santiago de Chuco – Cachicadan. Dicha cantera es producto de la alteración de una roca de naturaleza volcánica, color gris claro. El material residual producto de la alteración se encuentra bien graduada.



Ilustración 17:Cantera Quebrada Seca

4.2.3 Resultados de los estudios de mecánica de suelos

A continuación se presentan los resultados del estudio de mecánica de suelos de las canteras indicadas:

Tabla 5:: ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO:



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

Astm D-422 /NTP 339.128

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** A.G
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA: Material de Cantera Cerro Paraiso

TAMIZ	ABERT, mm,	PESO RET,	%RET, PARC,	%RET, AC,	% Q' PASA
3"	76.200				100.00
2 1/2"	63.500				100.00
2"	50.800				100.00
1 1/2"	38.100				100.00
1"	25.400	67.34	2.26	2.26	97.74
3/4"	19.050	105.76	3.56	5.82	94.18
1/2"	12.700	60.26	2.03	7.85	92.15
3/8"	9.525	123.68	4.16	12.00	88.00
1/4"	6.350	119.78	4.03	16.03	83.97
# 4	4.750	85.06	2.86	18.89	81.11
# 8	2.360	217.76	7.32	26.21	73.79
# 10	2.000	103.30	3.47	29.69	70.31
# 16	1.180	281.56	9.47	39.15	60.85
# 20	0.840	166.90	5.61	44.77	55.23
# 30	0.600	313.32	10.53	55.30	44.70
# 40	0.425	179.22	6.03	61.33	38.67
# 50	0.355	110.78	3.72	65.05	34.95
# 60		83.82	2.82	67.87	32.13
# 80	0.180	127.34	4.28	72.15	27.85
# 100	0.150	34.06	1.15	73.30	26.70
# 200	0.075	125.44	4.22	77.51	22.49
< # 200	FONDO				
LAVADO		668.8	22.49		
TOTAL		2974.18	100.00		

ENSAYO ESTANDAR	
% Grava	18.9
% Grava gruesa	0.0
% Grava fina	18.9
% Arena	58.6
% Arena gruesa	10.8
% Arena media	31.6
% Arena fina	16.2
% Fino	22.5
D10	0.0334
D30	0.2137
D50	1.1372
CU	34.1
CC	1.2

CLASIFICACION	
CLASF. AASHTO	A-2-7 (1)
CLASF. SUCCS	SC
ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
PESO TOTAL	2974	gr
PESO LAVADO	2305	gr
PERDIDA DE LAVADO	668.8	gr

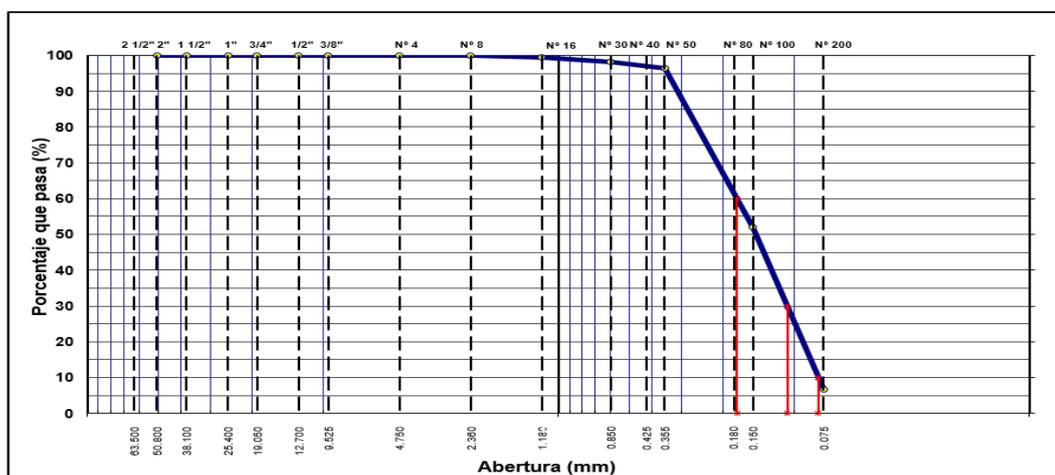


Ilustración 18: Curva Granulometrica

Tabla 6:Ensayo de contenido de humedad

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

"NTP 339.127"

TIPO DE

MUESTRA: LO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:CH**

REGION : LA LIBERTAD

CALICATA Material de Cantera Cerro Paraiso

1	Recipiente N	20	50
2	Peso de suelo Humedo + tara g	125	130
3	Peso de suelo seco + tara g	121.73	126.82
4	Peso de agua (2)-(3) g	3.27	3.18
5	Peso de la tara g	62.946	70.83
6	Peso de suelo seco (3)-(5) g	58.784	55.99
7	Contenido de agua (4)/(6)*100 %	5.563	5.680
8	Contenido de Humedad promedio %	5.621	

Tabla N°7: ENSAYO DE LIMITES DE ATTEBERG

Astm D-4318

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:**
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Cerro Paraiso
FECHA DE ENTREGA 03 de septiembre del 2019

	Recipiente N	LIMITE PLASTICO	
		1	2
	Ensayo N		
1	Peso Lata + suelo Humedo g	25.58	23.22
2	Peso Lata + suelo seco g	24.83	22.38
3	Peso de agua (1)-(2) g	0.75	0.84
4	Peso de la lata g	21.32	18.51
5	Peso de suelo seco (2)-(4) g	3.51	3.87
6	Contenido de agua (3)/(5)*100 %	21.25	21.72
Limite Plastico		21.48	

	Recipiente N	LIMITE LIQUIDO		
	Ensayo N	1	2	3
1	Peso Lata + suelo Humedo g	35.48	33.23	31.03
2	Peso Lata + suelo seco g	32.47	29.95	28.67
3	Peso de agua (1)-(2) g	3.01	3.28	2.36
4	Peso de la lata g	25.19	22.40	23.66
5	Peso de suelo seco (2)-(4) g	7.28	7.55	5.01
6	Contenido de agua (3)/(5)*100 %	41.27	43.42	46.98
Limite Liquido		43.89		

INDICE DE PLASTICIDAD (%) IP= LL - LP =	43.887
--	--------

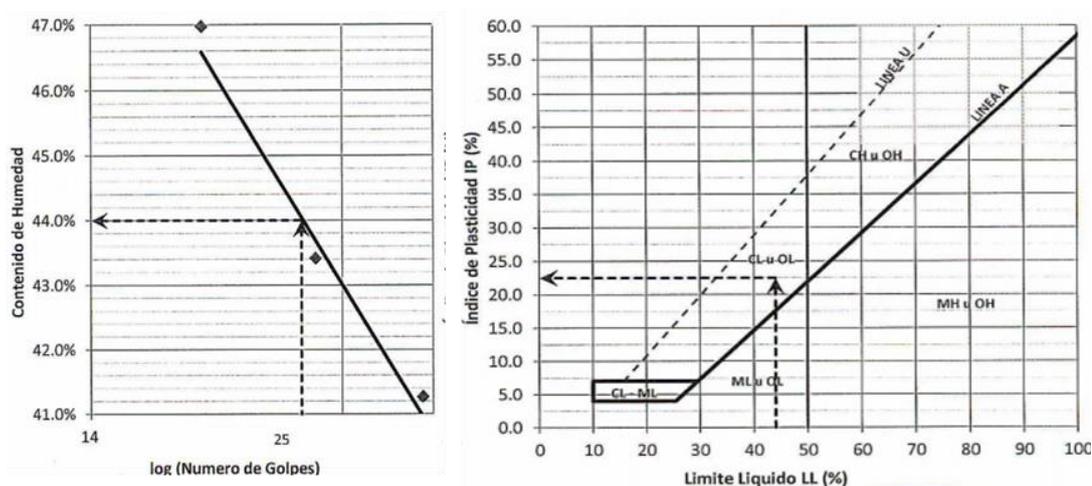


Ilustración 19: Contenido de humedad e índice de plasticidad

Tipos de Suelos.		Angulo de Fricción Interna en grados.	Cohesión C.
Granulares o no Cohesivos	Arena suelta	30	
	Arena de Compacidad media	32,5	
	Arena densa	35	
	Grava	35	
	Grava arenosa heterogénea	35	
	Bloques de piedra escolleras (sin presencia de arena)	35	
Suelos Cohesivos	Arcilla semidura	15	0,25
	Arcillas firmes	16	0,1
	Arcillas Blandas	17	0
	Arcilla arenosa firme	22,5	0,05
	Arcilla arenosa blanda	23,5	0
	Limo firme	24,5	0,02
	Limo blando	25,5	0

Ilustración 20: Cohesion de SC=0

Tabla 7: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
Astm D-1557

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA: Paraiso
FECHA DE ENTREGA: 03 de septiembre 2019
TIPO DE ENSAYO: PM
 (Material para Afirmado)

DATOS DEL ENSAYO		
CLASIFICACION SUCS	SC ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	METODO A
CLASIFICACION AAHSTO	CAPAS : 5,00	GOLPES/CAPA 25
% RETENIDO ACUMULADO MALLA N° 4	:18,9	MATERIAL PASANTE A USAR PASA N° 4
% RETENIDO ACUMULADO MALLA N° 3/8	:12,0	MOLDE (PULG) CODIGO M3
% RETENIDO ACUMULADO MALLA N° 3/84	:5,8	PESO DE MOLDE 4102,00 VOLUMEN : 933,38

CURVA DE PROCTOR MODIFICADO

Opticomo contenido de humedad (%) **15.00%**

ENSAYO DE COMPACTACION						
DETERMINACION N°		1	2	3	4	5
PESO DE MOLDE Y MUESTRA	gr	5850	5990	6030	5969.7	5870.2
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	gr	1748	1880	1928	1867.7	1768.2
DENSIDAD HUMEDA	gr/cc	1.87	2.02	2.07	2	1.89
DENSIDAD SECA	gr/cc	1.67	1.71	1.67	1.67	1.54

CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE N°		1	2	3	4	5
PESO DE SUELO HUMEDO + TARA	gr	455.23	308.69	390.01	415.32	415.32
PESO DE SUELO SECO + TARA	gr	414.20	279.03	345.19	357.70	349.76
PESO DE AGUA	gr	41.03	29.66	44.82	57.62	65.56
PESO DE LA TARA	gr	70.90	71.11	69.63	67.01	67.01
PESO DE SUELO SECO	gr	343.30	207.92	275.56	290.69	282.75
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	11.95	14.27	16.27	19.82	23.19
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO		17.10				

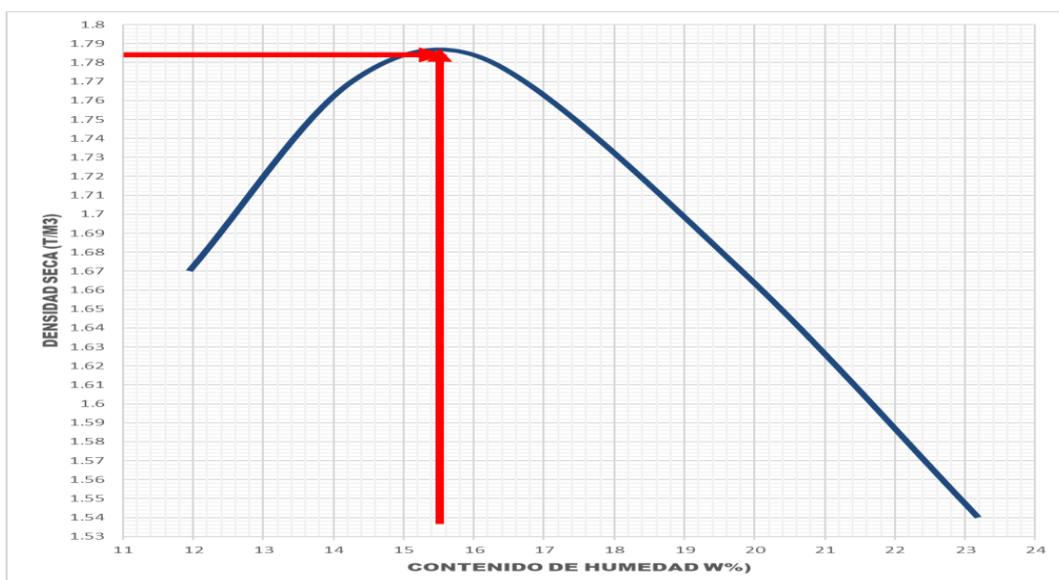


Ilustración 21: Densidad de campo 1.785 Tn/m³

Astm D-422 /NTP 339.128

TIPO DE MUESTRA:

SUELO NATURAL

REGION :

LA LIBERTAD

CALICATA

Material de Cantera Rio Huaychaca

Tabla 8: ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

TAMIZ	ABERT, mm,	PESO RET, RET,	%RET, PARC,	%RET, AC,	% Q' PASA
3"	76.200				100.00
2 1/2"	63.500				100.00
2"	50.800				100.00
1 1/2"	38.100				100.00
1"	25.400				100.00
3/4"	19.050				100.00
1/2"	12.700	282.06	7.54	7.54	92.46
3/8"	9.525	549.92	14.70	22.23	77.77
1/4"	6.350	727.98	19.45	41.69	58.31
# 4	4.750	317.72	8.49	50.18	49.82
# 8	2.360	541.08	14.46	64.64	35.36
# 10	2.000	120.86	3.23	67.87	32.13
# 16	1.180	177.46	4.74	72.61	27.39
# 20	0.840	81.16	2.17	74.78	25.22
# 30	0.600	171.10	4.57	79.35	20.65
# 40	0.425	173.24	4.63	83.98	16.02

# 50	0.355	173.40	4.63	88.61	11.39
# 60	0.250	124.06	3.32	91.93	8.07
# 80	0.180	127.50	3.41	95.34	4.66
# 100	0.150	32.00	0.86	96.19	3.81
# 200	0.075	59.10	1.58	97.77	2.23
< # 200	FONDO			97.77	
LAVADO		83.4	2.23	100	
TOTAL		3742.04	100.00		

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
PESO TOTAL	3742	gr
PESO LAVADO	3659	gr
PERDIDA DE LAVADO	83.4	gr

CLASIFICACION	
CLASF. AASHTO	A-1-a (O)
CLASF. SUCCS	GW
GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA	

ENSAYO ESTANDAR	
% Grava	50.2
% Grava gruesa	0.0
% Grava fina	50.2
% Arena	47.6
% Arena gruesa	17.7
% Arena media	16.1
% Arena fina	13.8
% Fino	2.2
D10	0.2774
D30	1.6357
D50	6.6254
CU	23.89
CC	1.46

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

"NTP 339.127"

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** CH
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Rio Huaychaca

1	Recipiente N	78	68
2	Peso de suelo Humedo + tara g	202.72	190.63
3	Peso de suelo seco + tara g	201.74	189.70
4	Peso de agua (2)-(3) g	0.98	0.93
5	Peso de la tara g	55.19	54.51
6	Peso de suelo seco (3)-(5) g	146.55	135.19
7	Contenido de agua (4)/(6)*100 %	0.67	0.69
8	Contenido de Humedad promedio %	0.68	

Peso Unitario de los Agregados

MTC E-203-2000

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** Pus
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Rio Huaychaca

Peso Unitario suelto (Pus)				
	N de ensayo	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
1	Peso del molde g	7339	7339	7339
2	Peso de agregado + molde g	23776	23804	23797
3	Peso de agregado + suelto g	16437	16465	16458
4	volumen de molde	9450.7	9450.7	9452.7
5	Peso Unitario suelto seco (3)/(4)	1.739	1.742	1.741
6	Gravedad Especifica promedio	1.74		

Peso Compactado (Puc)				
	N de ensayo	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
1	Peso del molde g	7339	7339	7339
2	Peso de agregado + molde g	25350	25200	25130
3	Peso de agregado + suelto g	18011	17861	17791
4	volumen de molde	9450.7	9450.7	9452.7
5	Peso Unitario suelto seco (3)/(4)	1.906	1.890	1.882
6	Gravedad Especifica promedio	1.89		

Determinacion del contenido de humedad				
1	Recipiente	Nº	78	68
2	Peso suelo humedo + Recipiente de la muestra g		202.72	190.63
3	Peso suelo seco + Recipiente de la muestra g		201.74	189.7
4	Peso del recipiente		55.19	54.514
5	Humedad		0.7	0.7
6	contenido de humedad		0.7	

Gravedad Especifica de los solidos

NTP"339,131"

SUELO
TIPO DE MUESTRA: NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** Pus
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Rio Huaychaca

Material Retenido en la Malla Nº 4 (Astm c-127)					
	N de ensayo	Ensayo Nº1	Ensayo Nº2	Ensayo Nº3	Promedio
1	Peso en el aire de la muestra seca g	286.7	266.3		
2	peso en el aire de la muestra	291.7	270		
3	Peso sumergido en el agua de la Muestra (sss)	178.7	166		
4	Gravedad Especifica Aparente = 1/(2-3)	2.54	2.56		2.55
5	Gravedad Especifica Aparente sss= 2/(2-3)	2.58	2.60		2.59
6	Gravedad Especifica Nominal = 1/(1-3)	2.65	2.66		2.65

ENSAYO DE LIMITES DE ATTEBERG

ASTM D-4318

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** L. A
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Quebrada seca
FECHA DE ENTREGA 03 DE SEPTIEMBRE DEL 2019

	Recipiente N	LIMITE PLASTICO	
	Ensayo N	124	144
1	Peso Lata + suelo Humedo g	26.017	27.657
2	Peso Lata + suelo seco g	25.050	26.767
3	Peso de agua (1)-(2) g	0.967	0.890
4	Peso de la lata g	20.244	22.051
5	Peso de suelo seco (2)-(4) g	4.806	4.716
6	Contenido de agua (3)/(5)*100 %	20.121	18.872
Limite Plastico		19.496	

Recipiente N		LIMITE LIQUIDO			
	Ensayo N		148	62	119
1	Peso Lata + suelo Humedo g		31.627	37.987	33.994
2	Peso Lata + suelo seco g		29.284	35.557	30.84
3	Peso de agua (1)-(2) g		2.343	2.43	3.154
4	Peso de la lata g		22.33	28.647	24.359
5	Peso de suelo seco (2)-(4) g		6.954	6.91	6.481
6	Contenido de agua (3)/(5)*100 %		33.693	35.166	48.665
Limite Liquido			39.17486452		

INDICE DE PLASTICIDAD (%)	IP= LL - LP =	19.679
----------------------------------	----------------------	--------

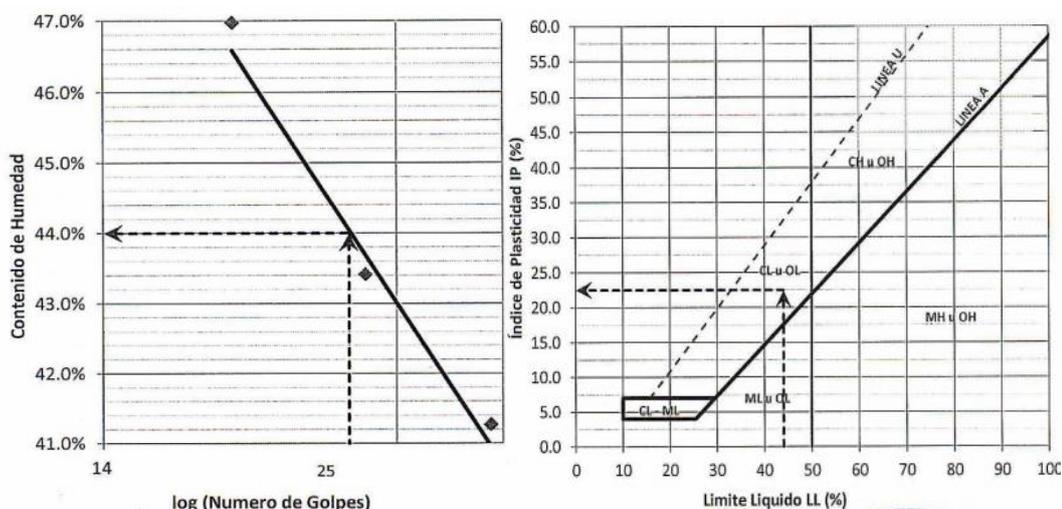


Ilustración 22: Contenido de Humedad e Indice de Plasticidad

Tabla 9: ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

Astm D-422 /NTP 339.128

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** A.G
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Quebrada seca

TAMIZ	ABERT, mm,	PESO RET, RET,	%RET, PARC,	%RET, AC,	% Q' PASA
3"	76.200				100.00
2 1/2"	63.500				100.00
2"	50.800				100.00
1 1/2"	38.100				100.00
1"	25.400				100.00
3/4"	19.050				100.00
1/2"	12.700	9.06	0.36	0.36	99.64
3/8"	9.525	35.12	1.38	1.74	98.26

1/4"	6.350	121.76	4.79	6.53	93.47
# 4	4.750	57.18	2.25	8.78	91.22
# 8	2.360	199.34	7.85	16.63	83.37
# 10	2.000	102.28	4.03	20.66	79.34
# 16	1.180	245.54	9.67	30.33	69.67
# 20	0.840	160.08	6.30	36.63	63.37
# 30	0.600	303.76	11.96	48.59	51.41
# 40	0.425	204.76	8.06	56.65	43.35
# 50	0.355	125.48	4.94	61.59	38.41
# 60	0.250	89.70	3.53	65.12	34.88
# 80	0.180	94.64	3.73	68.85	31.15
# 100	0.150	28.20	1.11	69.96	30.04
# 200	0.075	74.74	2.94	72.90	27.10
< # 200	FONDO				
LAVADO		688.4	27.10	100	
TOTAL		2540.04	100.00		

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
PESO TOTAL	2540	gr
PESO LAVADO	1852	gr
PERDIDA DE LAVADO	688.4	gr

CLASIFICACION	
CLASF. AASHTO	A-2-6 (1)
CLASF. SUCCS	SC
ARENA ARCILLOSA	

ENSAYO ESTANDAR	
% Grava	8.8
% Grava gruesa	0.0
% Grava fina	8.8
% Arena	64.1
% Arena gruesa	11.9
% Arena media	36.0
% Arena fina	16.3
% Fino	27.1
D10	0.0277
D30	0.1476
D50	0.7696
CU	27.82
CC	1.02

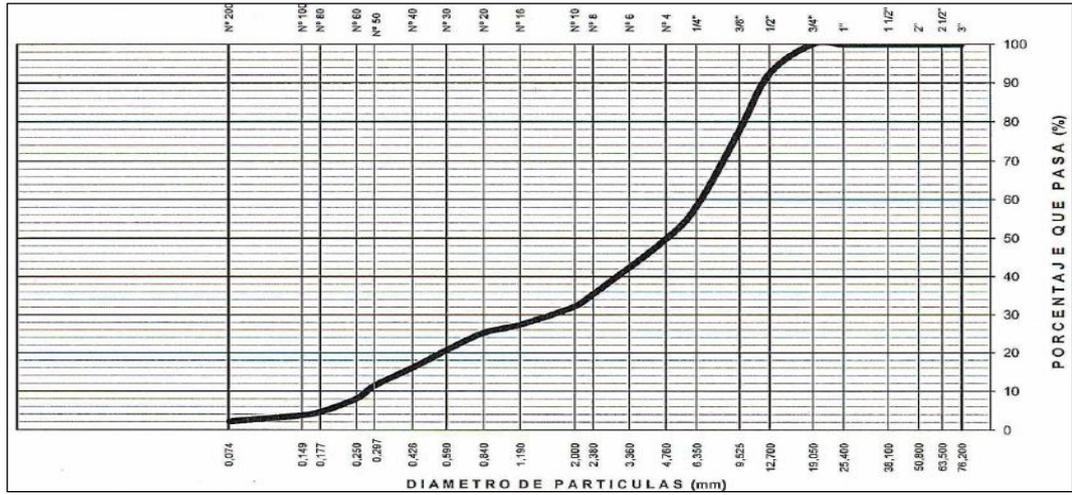


Ilustración 23: Curva granulométrica

Tabla 10: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** CH
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Quebrada Seca

1	Recipiente N	73	9
2	Peso de suelo Humedo + tara g	126.14	112.72
3	Peso de suelo seco + tara g	123.54	110.41
4	Peso de agua (2)-(3) g	2.6	2.31
5	Peso de la tara g	52.004	42.624
6	Peso de suelo seco (3)-(5) g	71.536	67.786
7	Contenido de agua (4)/(6)*100 %	3.635	3.408
8	Contenido de Humedad promedio %	3.5212	

Gravedad Especifica de los solidos

NTP"339,131"

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Quebrda

Material Retenido en la Malla N° 4 (Astm c-127)				
	N de ensayo	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Promedio(g/cm3)
1	Peso en el aire de la muestra seca g	89.09	100.55	
2	peso en el aire de la muestra	92.9	104.5	
3	Peso sumergido en el agua de la Muestra (sss)	56	63.4	
4	Gravedad Especifica Aparente = 1/(2-3)	2.41	2.45	2.43
5	Gravedad Especifica Aparente sss= 2/(2-3)	2.52	2.54	2.53
6	Gravedad Especifica Nominal = 1/(1-3)	2.69	2.71	2.70

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 , AASHTO T 236 , MTC E 123

TIPO DE MUESTRA:

SUELO NATURAL

TIPO DE ENSAYO:

L.A

REGION :

LA LIBERTAD

CALICATA

Material de Cantera Quebrada seca

ESTRATO

Material para Filtro

FECHA DE ENTREGA

03 DE SEPTIEMBRE DEL 2019

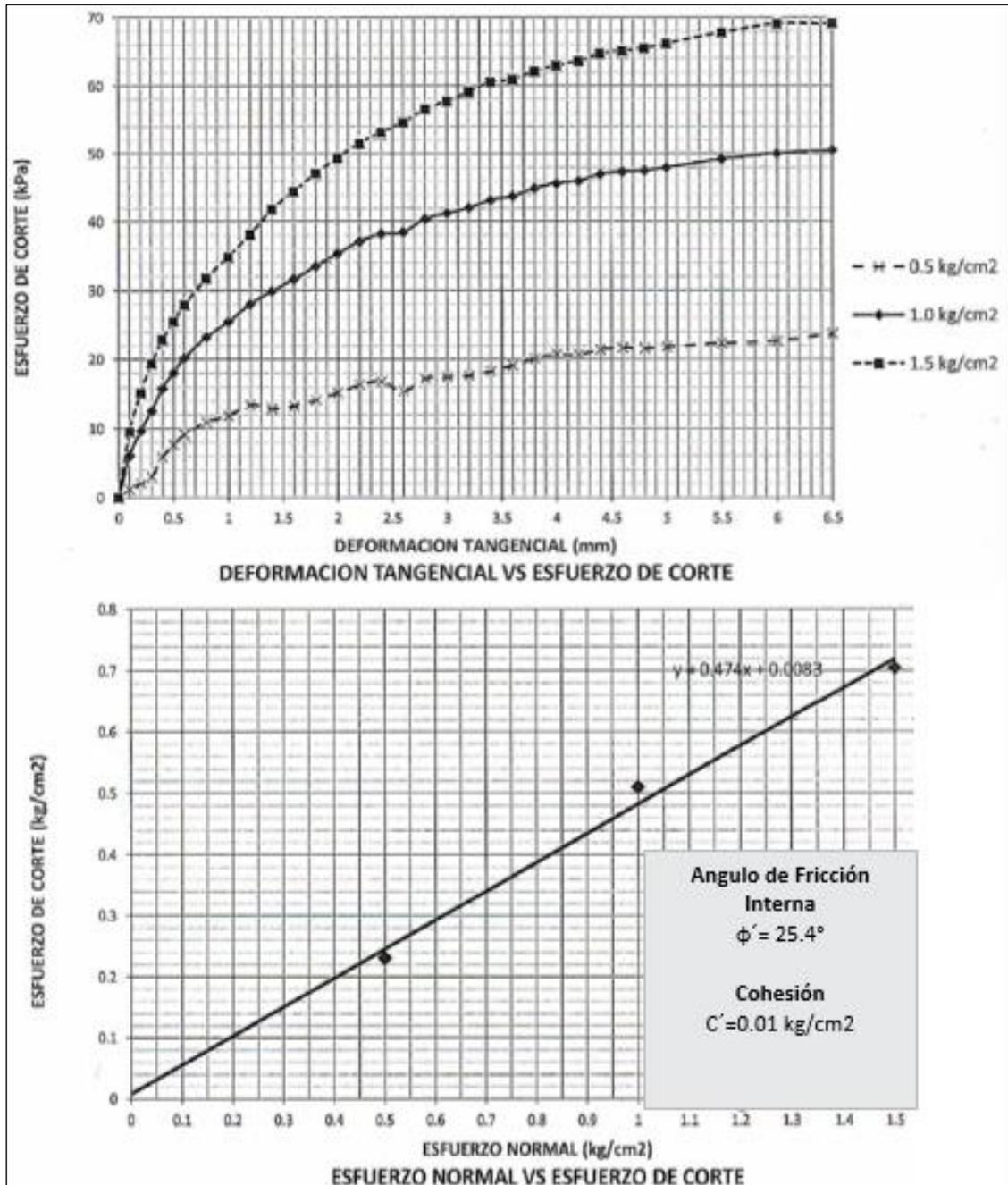


Ilustración 24: Esfuerzo normal Vs. Esfuerzo cortante

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
ASTM D-3080 , AASHTO T 236 , MTC E 123

TIPO DE MUESTRA:
REGION :
CALICATA
ESTRATO
FECHA DE ENTREGA

SUELO NATURAL
LA LIBERTAD
 Material de Cantera Quebrada seca
 Material para Relleno
 03 DE SEPTIEMBRE DEL 2019

TIPO DE ENSAYO: L.A

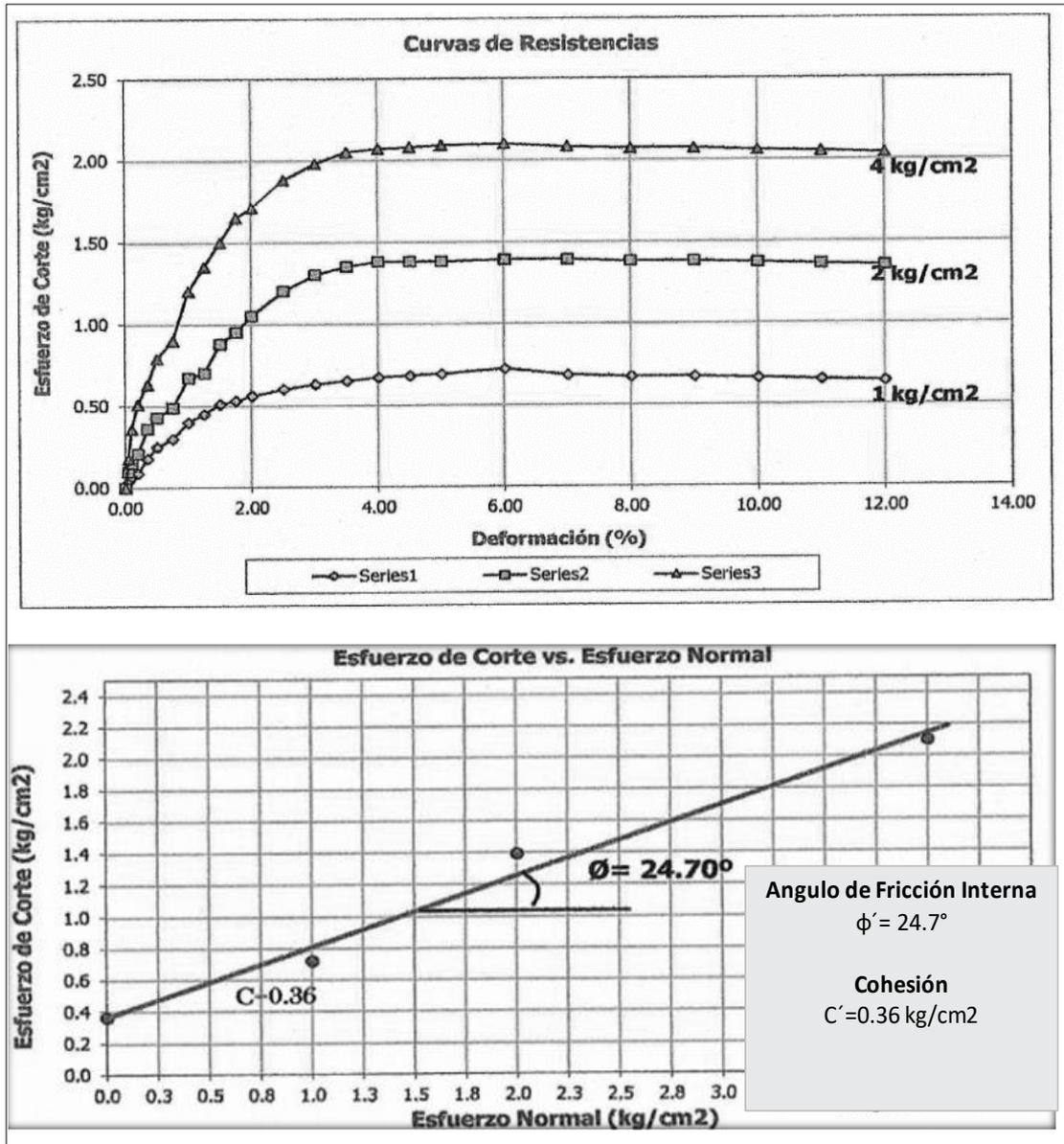


Ilustración 25: Esfuerzo normal Vs. Esfuerzo cortante

Peso Unitario de los Agregados

MTC E-203-2000

TIPO DE MUESTRA: SUELO NATURAL **TIPO DE ENSAYO:** Pus
REGION : LA LIBERTAD
CALICATA Material de Cantera Quebrada

Peso Unitario suelto (Pus)				
	N de ensayo	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
1	Peso del molde g	7339	7339	7339
2	Peso de agregado + molde g	20670	20550	20680
3	Peso de agregado + suelto g	13331	13211	13341
4	volumen de molde	9450.7	9450.7	9452.7
5	Peso Unitario suelto seco (3)/(4)	1.410583343	1.397885871	1.411342791
6	Gravedad Especifica promedio	1.407		

Peso Compactado (Puc)				
	N de ensayo	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
1	Peso del molde g	7339	7339	7339
2	Peso de agregado + molde g	22040	22000	22060
3	Peso de agregado + suelto g	14701	14661	14721
4	volumen de molde	9450.7	9450.7	9452.7
5	Peso Unitario suelto seco (3)/(4)	1.55554615	1.551313659	1.557332826
6	Gravedad Especifica promedio	1.555		

Determinación del contenido de humedad				
1	Recipiente	N°	73	9
2	Peso suelo húmedo + Recipiente de la muestra g		126.14	112.72
3	Peso suelo seco + Recipiente de la muestra g		123.54	110.41
4	Peso del recipiente		52.004	42.624
5	Humedad		3.6	3.4
6	contenido de humedad		3.5	

4.3 RESULTADOS HIDROLOGICOS

4.3.1 Problemática en la zona de riego

La ubicación de la Presa se encuentra en el ámbito de la Junta de Usuarios del Distrito de Riego de Santiago de Chuco, en donde se encuentran los sub sectores de riego Vicente Jiménez, Huarán, Chambuc Julgas, Conra Pueblo Nuevo del distrito de Santiago de Chuco, donde se siembran cebada, trigo, papa, maíz amiláceo, haba.

El área aproximada según la junta de regantes es de 635 has de las cuales solo 264 has cuentan con riego tradicional, lo que considera una proyección de 371 has más para cultivo.

La agricultura que se desarrolla en el la zona del proyecto es una agricultura de secano con bajos niveles tecnológicos basado en el desarrollo de una agricultura familiar de subsistencia.

Consecuente con ello, se lograr beneficiar a 2720 habitantes de los sub sectores de riego Vicente Jiménez, Huarán, Chambuc Julgas, Conra Pueblo Nuevo y otros del distrito de Santiago de Chuco

Eficiencia de Riego

Para este estudio se considera una eficiencia de riego de 45%, considerando perdidas en la toma de toma de captación, pérdidas en el canal de conducción tomas y compuertas laterales

4.3.2 Estudios Hidrológicos

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida, puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación, circulación. De lo contrario es un recurso no renovable en una localidad determinada.

Para la presente tesis para el estudio hidrológico considera la información disponible de las estaciones meteorológicas e hidrométricas cercanas a la

zona de estudio. Su estudio considera la disponibilidad de agua que aporta la cuenca y cálculo de la demanda, y la determinación de las pérdidas del sistema. Administrativamente pertenece a la jurisdicción de la Administración Local de Agua de Santiago de Chuco de la Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura.

4.3.3 Objetivo del estudio Hidrológico

Realizar la evaluación de las condiciones hidrológicas de la sub cuencas del ámbito del estudio y la demanda de agua para riego, con el propósito de dimensionar las estructuras de represamiento.

Para lo cual se debe realizar lo siguiente:

- Caracterización la zona de estudio.
- Revisión, análisis y procesamiento de información hidrométrica y meteorológica
- Estimar la oferta mensualizada de agua disponible del rio Pataraca, a partir de la ubicación de la presa y su ámbito de la sub cuenca.
- Estimar el volumen de agua de la demanda agrícola de acuerdo a las condiciones del sistema hidráulico y a la cédula de cultivo propuesto.
- Realizar el balance hídrico del proyecto y estimar el volumen de regulación (almacenamiento) del embalse proyectado.

4.3.4 Ubicación de la sub cuenca del rio pataraca

La cuenca del rio Pataraca se emplaza dentro de la cadena montañosa de los Andes, la cual es de relieve abrupto con laderas pronunciadas que alcanzan hasta 20% de pendiente. La zona presenta típicos depósitos fluviales que corren a lo largo de la cordillera o parte alta adyacentes a los cursos de agua.

En el recorrido de la cuenca siguiendo las características de la sierra, las partes altas de la cuenca tienen una configuración topográfica con mayor pendiente

o relieves más pronunciados y en su recorrido aguas abajo presenta relieves moderados con zonas de relieves livianos.

Los cursos de agua principales del río y sus quebradas afluentes presentan un cauce encañonado con relieves muy accidentados y laderas de fuertes pendientes.

4.3.5 Cuenca del río Pataraca

El tramo en estudio de la cuenca del río Pataraca se ubica entre los 2700 a 4250 msnm y cubren un área de drenaje de 51.28 km², se localiza entre las coordenadas Este de 801409 a 806973 y Norte de 9 102068 a 9 094957.

4.3.6 Recursos Hídricos

Se han identificado dentro de las cuencas las siguientes fuentes de recursos superficiales ríos y quebradas: río Canrre, río Lamballe y río Chulite.

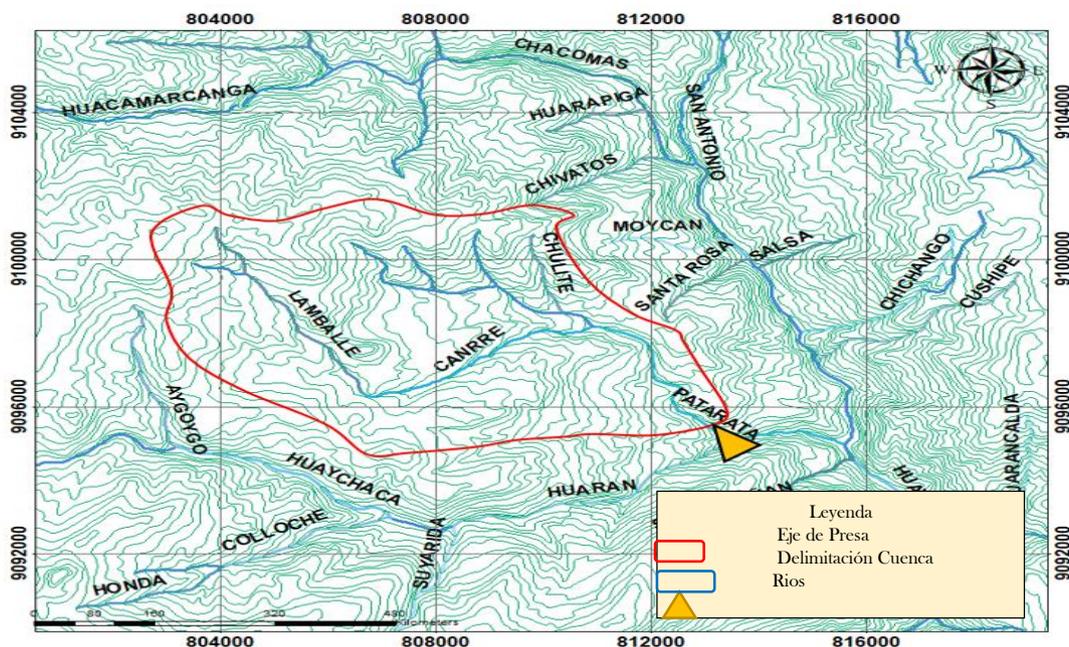


Ilustración 26: Delimitación de la cuenca del río Pataraca

Las características principales de los cálculos georfológicos de la sub cuenca del río Pataraca se muestra en la tabla N° 11 y los cálculos se presentan en el ítem 4.3.7

Tabla 11: Gemorfologia de las Subcuenca en estudio del ambito de la Presa Pataraca.

CUENCA	AREA(k m ²)	PERIMETRO (km)	LONGITUD TOTAL(km)	COTA MAX msnm	COTA MIN msnm	PENDIENTE MEDIA (m/m)	FORMA		
							Ancho Promedio Ap	Indice Compacidad K	Factor de Forma Ff
Rio Pataraca -Presa	51.28	30.00	14.51	4250.00	2700.00	0.11	3.53	1.17	0.24

Gemorfologia de las Subcuenca en estudio del ambito de la Presa Pataraca.

- El área que abarca el estudio hidrológico comprende varias zonas, la principal es cuenca del rio Pataruca hasta el cierre de la presa proyectada con un área de drenaje de 51.28 km².

4.3.7 Calculos del Geomorfologicos de la cuenca del rio Pataraca

1. Area de la cuenca

A través del programa Autocad, obtenemos lo siguientesiguiente:

Área total de la cuenca	51.28	Km ²
Perímetro de la cuenca	30.14	Km
Longitud del río mas largo	14.51	Km

2.- Cuadro de areas parciales y acumulados según la altitud

Del areado entre curvas de nivel o cotas, obtenemos las areas parciales

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
	m.s.n.m.	Km ²	(%)	POR DEBAJO		POR ENCIMA
(KM ²)				(%)	KM ²	(%)
Punto más bajo						
2700	0.00	0.00	0.00	0.00	51.28	100.00
2900	0.11	0.22	0.11	0.22	51.17	99.78
3100	5.99	11.68	6.10	11.90	45.18	88.10
3300	6.23	12.14	12.33	24.05	38.95	75.95
3500	12.89	25.14	25.22	49.19	26.06	50.81
3700	10.51	20.50	35.74	69.69	15.54	30.31
3900	8.03	15.67	43.77	85.36	7.51	14.64
4100	6.40	12.48	50.17	97.83	1.11	2.17
4250	1.11	2.17	51.28	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						
TOTAL	51.28	100.00				

2.- Parametros de Relieve

2.1 Cálculo de la curva Hipsométrica

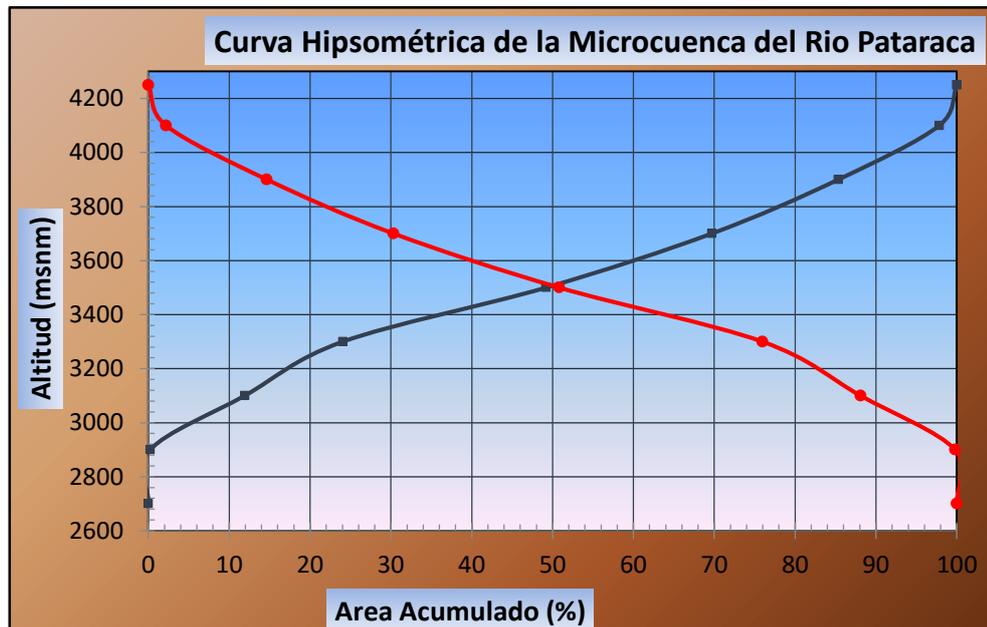


Ilustración 27: Curva Hipsométrica

2.2.- Cálculo de la Altitud Mediana

Altitud Mediana = **3,500.00** msnm (Intersección de las curvas hipsométricas)

2.3.- Cálculo de la Altitud Media Ponderada

$$H = \frac{\sum a_i c_i}{A} \quad c_i = \frac{(c_i + c_{i-1})}{2}$$

Altitud media Ponderada:

Donde :

- a_i = Área parcial de terreno entre curvas de nivel
- c_i = Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.
- A = Área de la cuenca

a_i	c_i	$a_i * c_i$
0.11	2800.0	315.11
5.99	3000.0	17974.80
6.23	3200.0	19926.50
12.89	3400.0	43836.45

10.51	3600.0	37852.99
8.03	3800.0	30531.00
6.40	4000.0	25593.58
1.11	4175.0	4638.79
51.28		180,669.20

H = 3,522.99 msnm

2.4.- Cálculo de la Altitud Media Simple:

Altitud Media Simple:

$$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2} \quad (19)$$

Donde:

CM = Cota o altitud más alta de la cuenca
 Cm = Cota o altitud más baja de la cuenca

CM = 4,250.00

Cm = 2,700.00

Hms = 3,475.00 msnm

2.5.- Cálculo del Polígono de Frecuencia de Areas Parciales:

COTA (msnm)	A. PARCIAL
2700	0.00
2900	0.22
3100	11.68
3300	12.14
3500	25.14
3700	20.50
3900	15.67
4100	12.48
4250	2.17

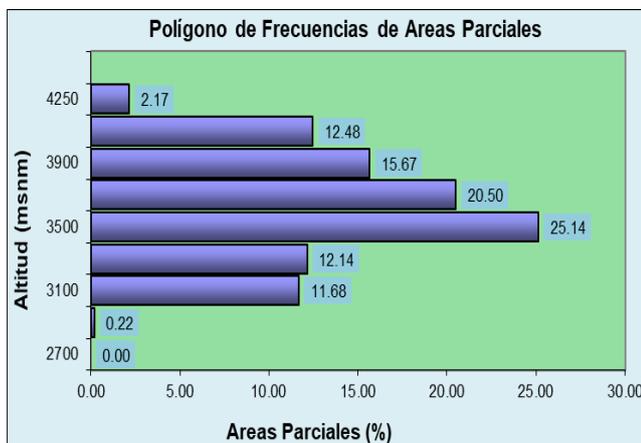


Ilustración 28: Polígono de Frecuencias de áreas parciales

3.- Parametros de forma:

3.1.- Cálculo del Índice de Gravelius (K):

El Índice de Gravelius (K):
$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (20)$$

Donde :

P = Perímetro de la cuenca en Km 30.14 Km

A = Area de la cuenca en Km² 51.28 Km²

Entonces: $K = 1.1785$

Como el valor de K se encuentra entre los rangos de 1.00 - 1.25, la forma de la cuenca es CASI REDONDA a OVAL REDONDA

3.2.- Cálculo del Rectángulo Equivalente:

$$\text{Lado Mayor} = L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (21)$$

$$\text{Lado Menor} = l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (22)$$

Donde:

$K =$ Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelious 1.1785
 $A =$ Area de la cuenca en Km² 51.28

$$\frac{K\sqrt{A}}{1.12} = 7.535 \quad \left(\frac{1.12}{K} \right)^2 = 0.903 \quad \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) = 0.311$$

$$L = 9.88$$

$$l = 5.19$$

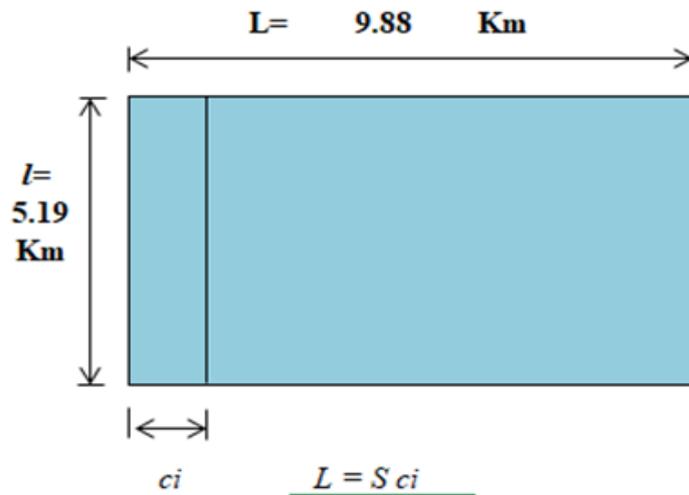


Ilustración 29: Rectangulo Equivalente

Cota (msnm)	Area Parcial ai (Km2)	Ancho, ci (Km)
2700	0.00	0.00
2900	0.11	0.02
3100	5.99	1.15
3300	6.23	1.20
3500	12.89	2.48
3700	10.51	2.03
3900	8.03	1.55
4100	6.40	1.23
4250	1.11	0.21

Suma ci=
L= **9.88**

3.3.- Cálculo del Factor Forma:

(23)

$$\text{Factor Forma: } F_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

l = Lado menor del rectángulo equivalente 5.19 Km
L = Lado mayor del rectángulo equivalente 9.88 Km
A = Area de la cuenca 51.28 Km²

$$Ff = 0.5255$$

$$Ff = 0.5255$$

4.- Perfil longitudinal del rio

Progresiva	Long. (m)	Cota	Desnivel	S	1/(S)^0.5
0+000	0.00	2700.00			
0+857	856.84	2900.00	200.00	0.2334	2.0698
0+954	954.02	3100.00	200.00	2.0580	0.6971
2+252	2251.89	3300.00	200.00	0.1541	2.5474
2+403	2402.72	3500.00	200.00	1.3260	0.8684
5+847	5847.39	3700.00	200.00	0.0581	4.1501
7+092	7092.06	3900.00	200.00	0.1607	2.4947
10+237	10236.73	4100.00	200.00	0.0636	3.9653
14+513	14512.60	4250.00	150.00	0.0351	5.3391
					22.1319

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad (23)$$

S = **0.0735**
(Según Taylor y Schwarz)

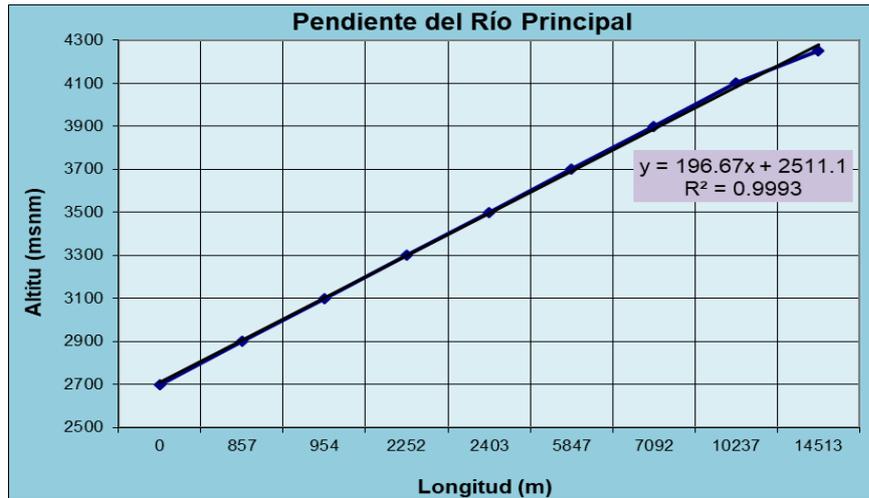


Ilustración 30: Pendiente del río principal

5.- PARAMETROS DE DRENAJE

5.1.- Cálculo de la Densidad de Drenaje:

Densidad de Drenaje:

$$D_d = \frac{L_i}{A}$$

Donde:	Longitud del cauce principal	14.51	Km
	Longitud de cauces aportantes	12.15	Km
$L_i =$	Longitud total de ríos	26.66	Km
$A =$	Area de la Cuenca	51.28	Km ²
	$D_d =$	0.52	

5.2.- Cálculo de la Frecuencia de los Ríos:

Frecuencia de los Ríos:	$Fr = N^{\circ} \text{cauces}/A$	$N^{\circ} \text{Cauces}$	5
		$Fr =$	0.097

5.3.- Cálculo de la Extensión media del Esguerrimiento Superficial (Es):

Extensión media del Esguerrimiento Superficial	$Es = A/4L_i$	
	$Es =$	0.481

5.4.- Cálculo del Tiempo de Concentración (Tc), Según Kirpich

Tiempo de Concentración (Tc)	$T_c = \left(\frac{0.87 L^3}{H} \right)^{0.385}$	
	$T_c =$	0.5411
		0.789

6.- OTROS PARAMETROS :

6.1 - Cálculo del Índice de Pendiente (Ip)

$$I_p = \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Indice de Pendiente (Ip): $\beta_i = \frac{A_i}{A_t}$

Ai	Bi = Ai/At	ai - ai-1	Bi* (ai -Ai-1)	Raíz (4)	5 * 1/(L)^0.5
1	2	3	4	5	6
0.00	0.00000	0	0.00000	0.00000	0.00000
0.11	0.00219	200	0.43889	0.66249	0.21078
5.99	0.11683	200	23.36684	4.83393	1.53797
6.23	0.12143	200	24.28501	4.92798	1.56790
12.89	0.25141	200	50.28214	7.09099	2.25608
10.51	0.20503	200	41.00671	6.40365	2.03740
8.03	0.15667	200	31.33392	5.59767	1.78097
6.40	0.12477	200	24.95332	4.99533	1.58932
1.11	0.02167	150	3.24987	1.80274	0.57356
51.28				Ip =	11.55398

6.2.- Cálculo de la Pendiente de la Cuenca

$$S = \frac{H}{L}$$

$$H = 1,550.00$$

$$L = 9,878.78$$

$$S = 0.1569$$

15.690 %

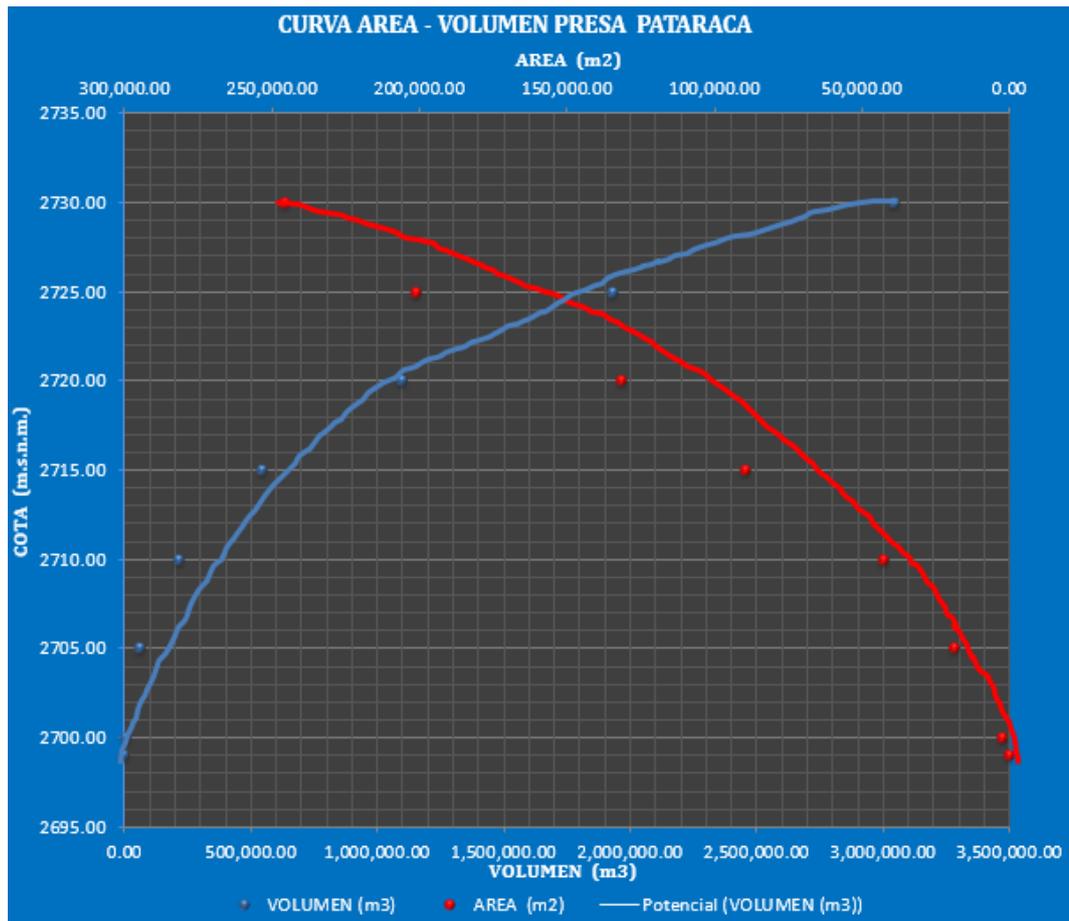


Ilustración 31: Curva area-volumen

Evaluación de la Información Hidrológica

La información hidrológica recopilada corresponde a registros de medición y control del SENAMHI .

Condiciones Climáticas

A los 3,500 m.s.n.m. de altitud, el clima es frío y subhúmedo, su temperatura oscila entre 4°C y 6°C en promedio anual con precipitaciones entre 1,000 y 1,250 mm. al año, la agricultura en esta zona es afectada por los fuertes cambios de temperatura.

El territorio de la provincia de Santiago de Chuco es netamente andina, presenta diversos climas que van desde zonas cálidas especialmente en los temples de Sitabamba y Santiago de Chuco, hasta zonas de frío intenso en

la puna del Distrito de Quiruvilca; las temperaturas oscilan entre los 21 °C hasta -5°C

Red Meteorológica

La información meteorológica (especialmente pluviométrica) disponible corresponde a los registros de precipitación efectuada en las estaciones pluviométricas ubicadas en el ámbito de influencia de la cuenca en estudio operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

De acuerdo a la información disponible, se ha evaluado la influencia, funcionamiento, periodos de registro y disponibilidad de información de 10 estaciones meteorológicas de la zona de estudio, las cuales registran principalmente los parámetros de precipitación total y precipitación en 24 horas. La ubicación geográfica de estas estaciones es la siguiente:

Tabla 12: Estaciones meteorológicas del ámbito del estudio

N°	ESTACION	OPERADOR POR:	ESTADO	ALTITUD msnm	COORDENADAS GEOGRAFICAS					
					Latitud			Longitud		
					°	'	"	°	'	"
1	Huamachuco	SENAMHI	Funcionando	3290	7	49	49	78	3	3
2	Santiago de Chuco	SENAMHI	Sin Funcionar	2900	8	8	1	78	10	1
3	Mollepata	SENAMHI	Funcionando	2580	8	11	41	77	57	20
4	Huangacocha	SENAMHI	Funcionando	3780	7	56	14	78	4	6
5	Quiruvilca	SENAMHI	Funcionando	3980	8	0	1	78	19	1
6	Cachicandan	SENAMHI	Funcionando	2890	8	6	6	78	9	9
7	Huacamarcanga	SENAMHI	Funcionando	3953	8	6	6	78	17	16
8	Julcan	SENAMHI	Funcionando	3460	8	3	3	78	29	28
9	Capachique	SENAMHI	Funcionando	2780	7	51	23	78	18	43
10	Salpo	SENAMHI	Funcionando	3250	8	0	1	78	37	1

Fuente: Elaboración Propia

De las 10 estaciones indicadas, se ha considerado 6 para estudio de la influencia de la cuenca del río Pataraca, el registro de las estaciones pluviométrica se presentan en el anexo, que luego de su análisis se ha considerado solo precipitaciones desde

el año 2004 hasta el año 2013, por falta de información completa hasta el 2018. A continuación se presenta la precipitación promedio mensual de las 6 estaciones consideradas:

Tabla 13: Precipitaciones promedio mensual periodo 2004 a 2013

Mes/Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	PROMEDIO ANUAL
ENERO	70.5	90.1	139.6	180.0	162.3	206.1	150.9	125.7	219.3	85.8	1,430.2
FEBRERO	135.0	156.1	171.0	81.7	157.0	146.4	144.5	80.9	204.0	181.6	1,458.2
MARZO	96.8	239.4	295.0	287.4	126.5	222.0	192.9	166.8	190.2	308.7	2,125.7
ABRIL	83.0	82.1	124.3	168.9	125.8	180.0	106.7	195.3	178.1	95.6	1,339.8
MAYO	49.3	14.1	21.4	47.7	40.2	82.7	51.3	15.4	58.2	54.6	434.8
JUNIO	5.3	5.6	36.2	3.7	23.4	23.9	18.7	5.7	9.8	12.5	144.8
JULIO	24.6	2.2	8.8	15.2	9.3	22.6	14.9	14.0	0.4	6.9	118.9
AGOSTO	6.9	10.9	13.1	8.9	10.9	10.4	9.4	2.0	15.9	20.6	108.8
SEPTIEMBRE	60.0	16.8	41.1	19.8	43.3	13.9	28.7	33.2	18.7	14.9	290.3
OCTUBRE	115.3	108.1	73.8	167.7	131.6	121.7	82.7	36.7	133.3	138.7	1,109.5
NOVIEMBRE	129.8	29.9	99.5	92.2	82.7	121.2	130.3	87.6	144.4	21.0	938.6
DICIEMBRE	117.6	121.6	159.2	105.7	44.4	143.7	133.8	196.5	104.4	125.9	1,252.8
	74.5	73.1	98.6	98.2	79.8	107.9	88.7	80.0	106.4	88.9	896.0

4.3.8 Resultados de la demanda de agua

A continuación se presenta el calendario de cultivo para la zona de estudio y la cedula de cultivos, información proporcionada por la junta de Regantes de Santiago de Chuco

Tabla 14: Calendario de cultivo o programación de siembra de los cultivos

CULTIVO	AREA SEMBRADA (Ha)	MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PERMANENTE													
OREGANO	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
TRANSITORIO													
PAPA	250	250	250	250								250	250
TRIGO	100			100	100	100	100	100					
MAIZ AMICELANEO	75				75	75	75	75	75				
MAIZ CHOCLO	150	150	150	150									150
CEBADA	70	70	70	70	70								70
HABAS	40	40	40	40								40	40
AJO	91					91	91	91	91	91	91		
QUINUA	50	50	50	50							50	50	50
TUBERCULOS ANDINOS	50	50	50	50								50	50
TOTAL	901	635	635	735	270	291	291	291	191	116	166	415	635

Fuente: Junta de Regantes de Santiago de Chuco

Tabla 15: Cedula de cultivo

CULTIVOS	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
	InicioSiembra											
PERMANENTES / SEMIPERMANENTES (*)												
Orégano	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
TRANSITORIOS												
Papa	0.50	0.83	1.15	1.00	0.75							
Trigo	0.40	0.85	1.15	0.75	0.40							
Maíz Amiceláneo	0.60	0.71	1.20	0.80	0.60	-						
Maíz Choclo	0.70	1.00	1.15	1.05								
Cebada	0.40	0.85	1.15	0.75	0.40							
Arveja	0.40	0.80	1.10	0.70								
Habas	0.60	0.80	1.15	1.10	0.70							
Ajo	0.70	0.80	0.90	1.00	1.00	0.70						
Quinoa	0.50	0.70	1.00	1.00	0.80	0.70						
Tuberculos Andinos	0.45	0.80	1.10	1.05	0.75							

Fuente: Junta de Regantes de Santiago de Chuco

En la tabla N° 16 se presenta el cálculo de la demanda de agua aplicando el método de Christiansen Hargreaves

Tabla 16: Calculo de demanda hidrica

DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
AREA DE CULTIVO	AREA DE CULTIVO (he)											
PERMANENTE: OREGANO	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
TRANSITORIO												
PAPA	250	250	250	0	0	0	0	0	0	0	250	250
TRIGO	0	0	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
MAIZ AMICELANEO	0	0	0	75	75	75	75	75	0	0	0	0
MAIZ CHOCLO	150	150	150	0	0	0	0	0	0	0	0	150
CEBADA	70	70	70	70	0	0	0	0	0	0	0	70
HABAS	40	40	40	0	0	0	0	0	0	0	40	40
AJO	0	0	0	0	91	91	91	91	91	91	0	0
QUINUA	50	50	50	0	0	0	0	0	0	50	50	50
TUBERCULOS ANDINOS	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	50	50
Kc de Cultivo RMANENTE: OREGANO	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Kc de Cultivo TRANSITORIO												
PAPA	1.15	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.83
TRIGO	0.00	0.00	0.40	0.85	1.15	0.75	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAIZ AMICELANEO	0.00	0.00	0.00	0.60	0.71	1.20	0.80	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
MAIZ CHOCLO	1.00	1.15	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
CEBADA	0.85	1.15	0.75	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
HABAS	1.15	1.10	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.80
AJO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.80	0.90	1.00	1.00	0.70	0.00	0.00
QUINUA	1.00	0.80	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.70	1.00
TUBERCULOS ANDINOS	1.05	0.75	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.80	1.10
DATOS CLIMATOLOGICOS												
TEMPERATURA T (°C)	13.24	13.05	13.00	13.05	12.74	12.30	12.16	12.60	13.07	13.08	12.60	12.68
HUMEDAD RELATIVA	0.83	0.83	0.84	0.83	0.83	0.81	0.83	0.83	0.81	0.81	0.82	0.81
PRECIPITACION EFECTIVA	91.48	94.66	111.63	77.54	27.75	0.90	0.90	6.14	34.01	61.46	53.84	67.21

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL												
NUMERO DE DIAS POR MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
BRILLO SOLAR (horas diarias promedio del mes)	12.480	12.360	12.100	11.880	11.720	11.620	11.680	11.840	12.000	12.260	12.480	12.580
BRILLO SOLAR (horas promedio/horas teoricas)(s)	1.040	1.030	1.008	0.990	0.977	0.968	0.973	0.987	1.000	1.022	1.040	1.048
VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/hora)	8.833	7.375	6.667	7.375	8.292	8.292	9.375	10.458	11.167	9.667	9.000	9.542
RADICACION EXTRATERRESTRE (Rxt)	16.100	16.100	15.500	14.400	13.100	12.400	12.700	13.700	14.900	15.800	16.000	16.000
CORRECCION POR TEMPERATURA (Ct)	0.798	0.792	0.791	0.792	0.783	0.771	0.766	0.779	0.793	0.793	0.779	0.782
CORRECCION POR HUMEDAD (CH)	0.766	0.766	0.751	0.766	0.766	0.796	0.766	0.766	0.796	0.796	0.781	0.796
CORRECCION POR VELOCIDAD DEL VIENTO (CW)	1.072	1.024	0.999	1.024	1.055	1.055	1.087	1.116	1.132	1.095	1.077	1.092
CORRECCION POR BRILLO SOLAR (Cs)	1.122	1.117	1.108	1.099	1.093	1.089	1.091	1.098	1.104	1.114	1.122	1.125
CORRECCION POR ALTITUD(Ce)	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240	1.240
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (mm/dia) (ETP)	4.755	4.496	4.091	3.956	3.644	3.511	3.558	4.026	4.720	4.888	4.727	4.915
CALCULO DEL CAUDAL DE DEMANDA POR MES SEGÚN HORAS DE RIEGO (m3/s)												
EVAPOTRANSPIRACION REAL (mm/dia)	4.983	4.563	3.106	2.608	3.155	3.110	2.468	3.288	4.517	3.201	2.779	3.850
EVAPOTRANSPIRACION REAL (mm/mes)	154.488	127.771	96.291	78.232	97.794	93.307	76.523	101.937	135.504	99.224	83.379	119.361
LAMINA DE RIEGO NETA	63.008	33.112	-15.337	0.694	70.049	92.408	75.625	95.798	101.489	37.764	29.544	52.149
EFICIENCIA DE RIEGO	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
LAMINA DE RIEGO BRUTA (mm/mes)	140.02	73.58	-34.08	1.54	155.66	205.35	168.06	212.88	225.53	83.92	65.65	115.89
VOLUMEN DE AGUA (m3)	889113	467248	-250497	4165	452980	597575	489040	406609	261616	139307	272458	735879
CAUDAL REQUERIDO (m3/s)	0.50	0.29	-0.14	0.00	0.25	0.35	0.27	0.23	0.15	0.08	0.16	0.41

4.3.9 Cálculo de Caudales Generados para el río Pataraca aplicando Modelo Matemático Precipitación Escorrentía Lutz Scholts

Para determinar los caudales de oferta del río Pataraca se ha utilizado el Software para estimar caudales promedios mensuales de la Autoridad Nacional de Agua, que se basa en un modelo matemático Modelo Matemático Precipitación Escorrentía Lutz Scholts. Se ha tomado los caudales generados observados del río Suyarita, cuya subcuenca está cerca a la zona de estudio y son tributarios del río Huaychaca.

El procedimiento se presenta de la Figura 31 a la figura 41 :

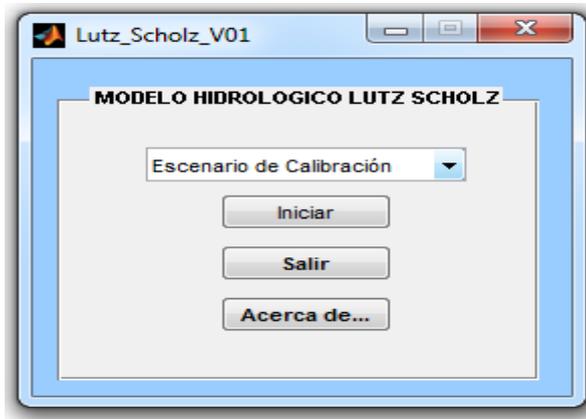


Ilustración 32: Inicio del programa

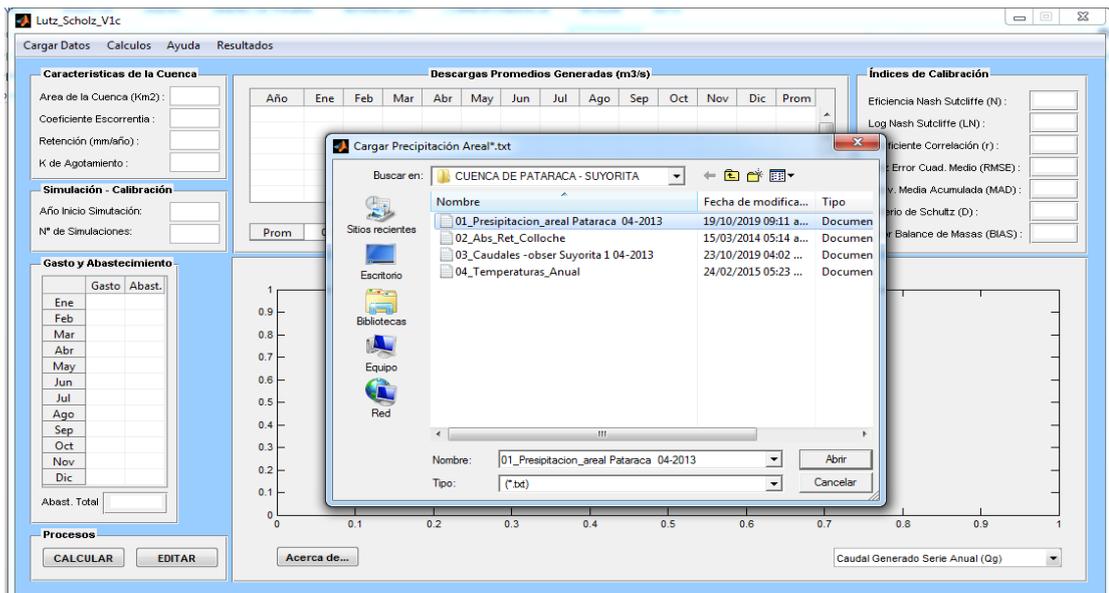


Ilustración 33: Inicio del programa

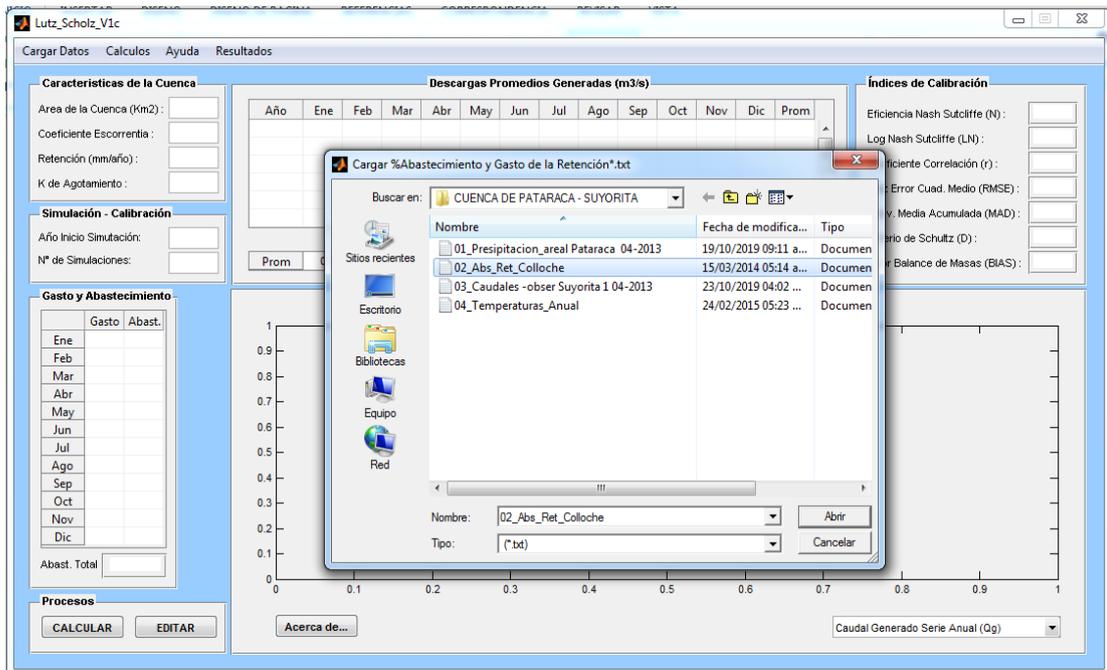


Ilustración 34: Ingreso de abastecimiento y gasto

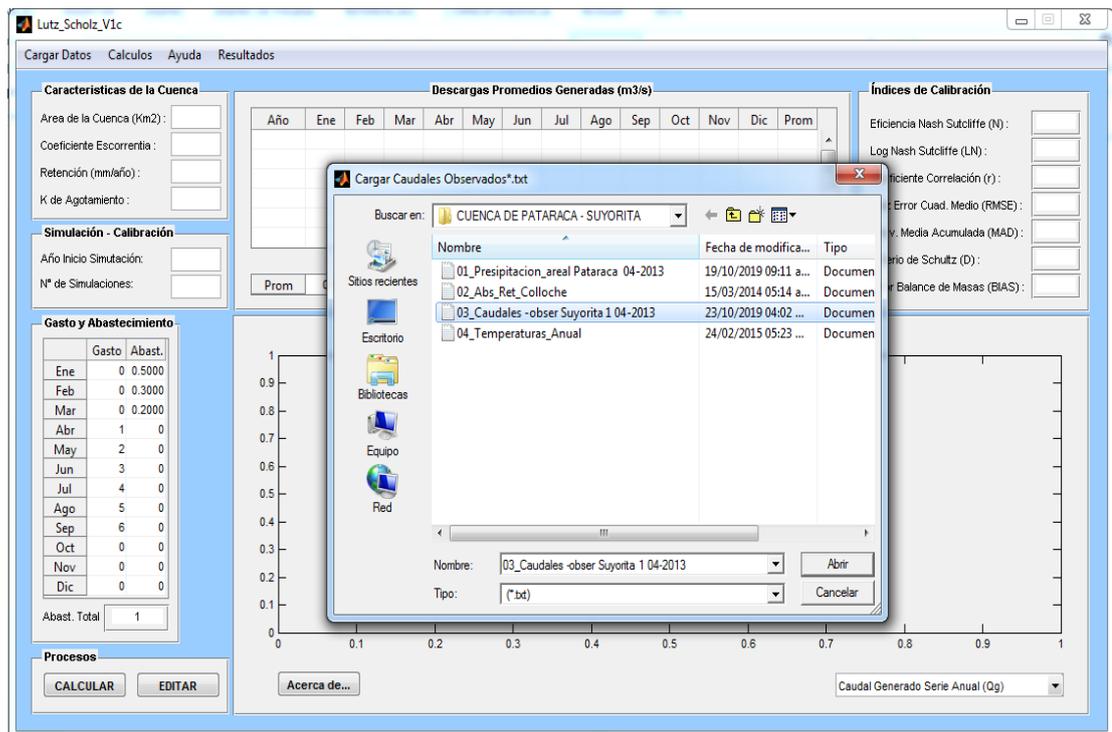


Ilustración 35: Ingreso de caudales observados del rio Suyarita

Tabla 17:caudales observados del rio Suyarita

AÑO	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2004	0.10	0.16	0.18	0.10	0.03	0.03	0.01	0.02	0.05	0.41	0.58	0.50
2005	0.10	0.54	1.35	0.52	0.12	0.06	0.03	0.04	0.04	0.26	0.10	0.40
2006	0.38	0.60	1.83	1.20	0.30	0.08	0.03	0.01	0.00	0.04	0.15	0.50
2007	0.65	0.29	1.54	1.49	0.34	0.10	0.05	0.05	0.08	0.48	0.32	0.20
2008	0.68	0.48	0.80	0.73	0.18	0.06	0.04	0.02	0.01	0.38	0.20	0.10
2009	1.11	0.86	1.08	1.14	0.33	0.08	0.03	0.02	0.04	0.60	0.96	0.70
2010	0.10	0.41	0.84	0.73	0.25	0.07	0.03	0.03	0.02	0.00	0.18	0.40
2011	0.58	0.26	0.73	1.42	0.35	0.09	0.05	0.02	0.06	0.01	0.14	0.80
2012	0.88	0.98	1.46	2.26	1.08	0.26	0.09	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02
2013	0.38	0.45	0.82	0.75	0.56	0.08	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.08

Cálculos previos: Coeficiente de escorrentía según la formula de L-Turc $C_e=0.34$

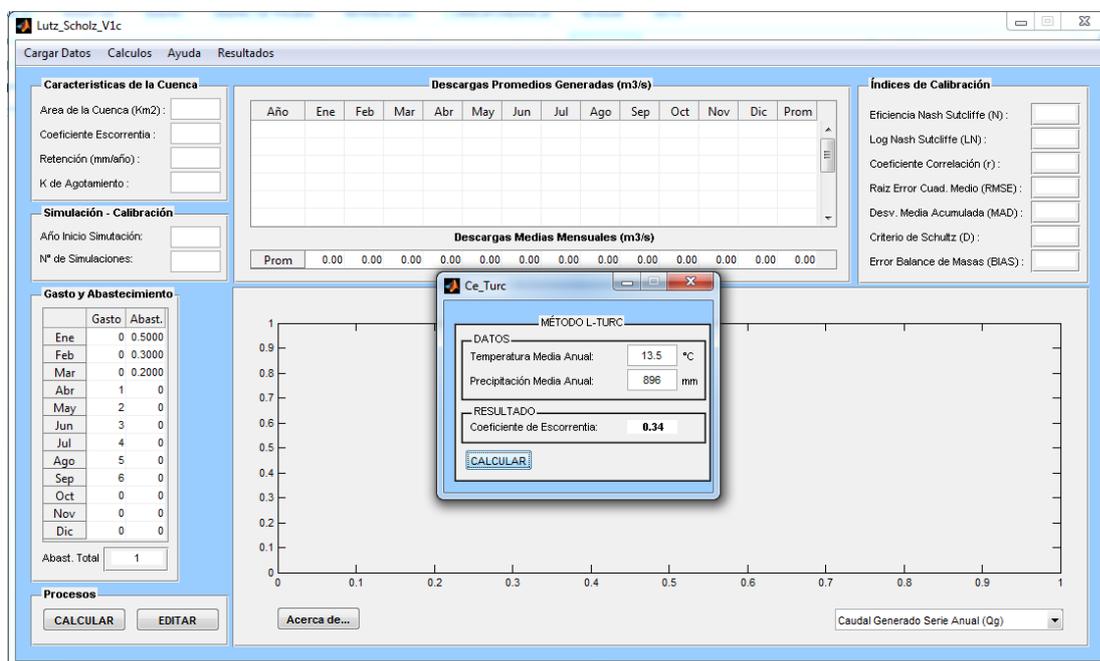


Ilustración 36:Estimación del Coeficiente de escorrentía según la formula de L-Turc

Estimación de la retención de la cuenca $R=26.24 \text{ mm/año}$

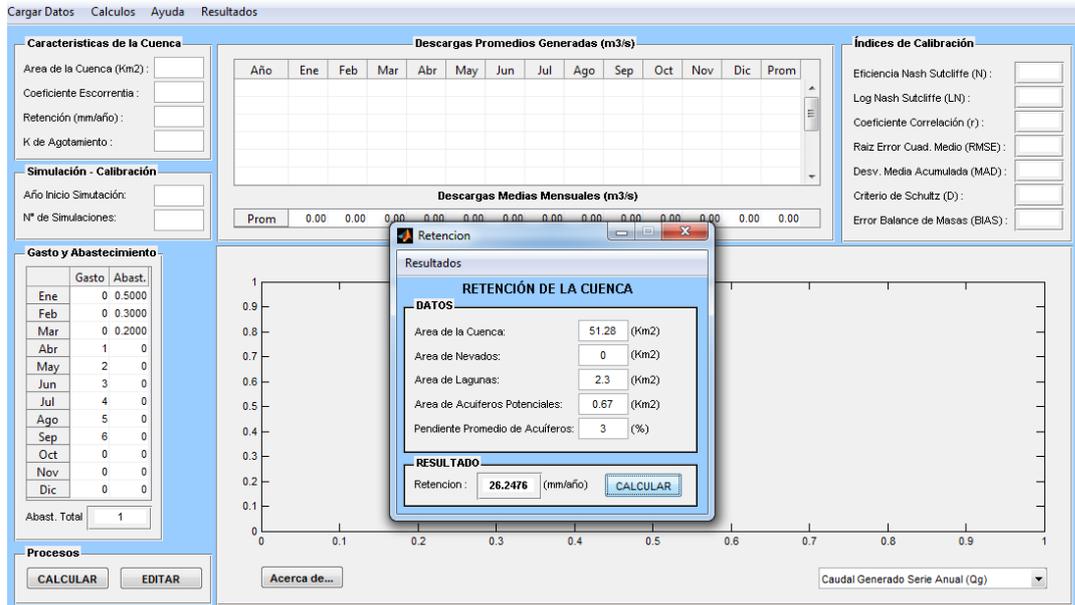


Ilustración 37: Estimación de la retención de la cuenca

Calculo de la evapotranspiración, considerando datos de precipitación y los calculados anteriormente: $E_o=1379.44 \text{ mm/año}$.

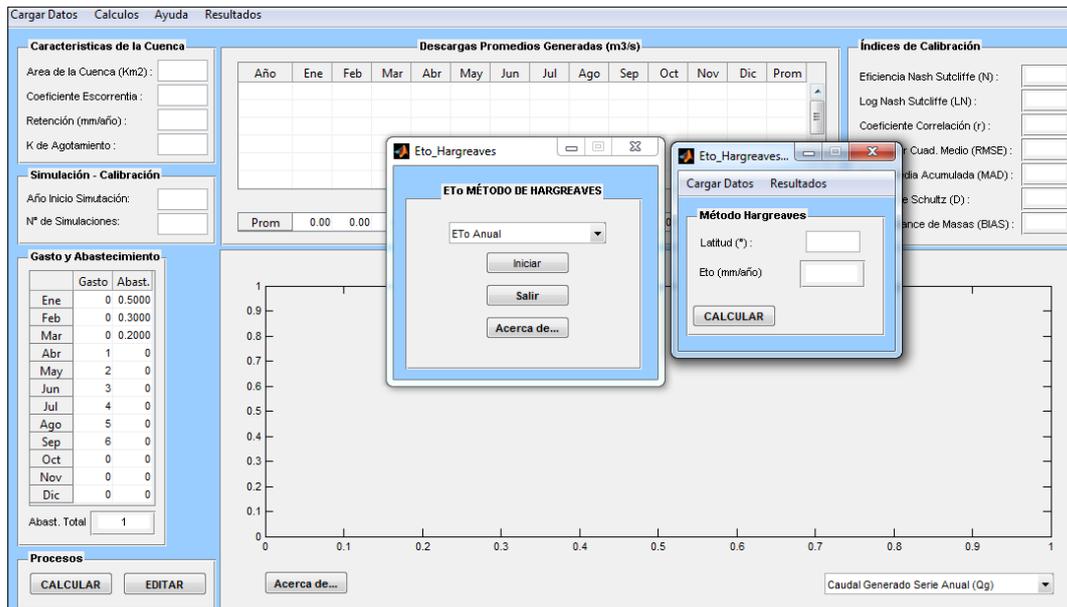


Ilustración 38: Inicio del sub programa para calcular la evapotranspiración

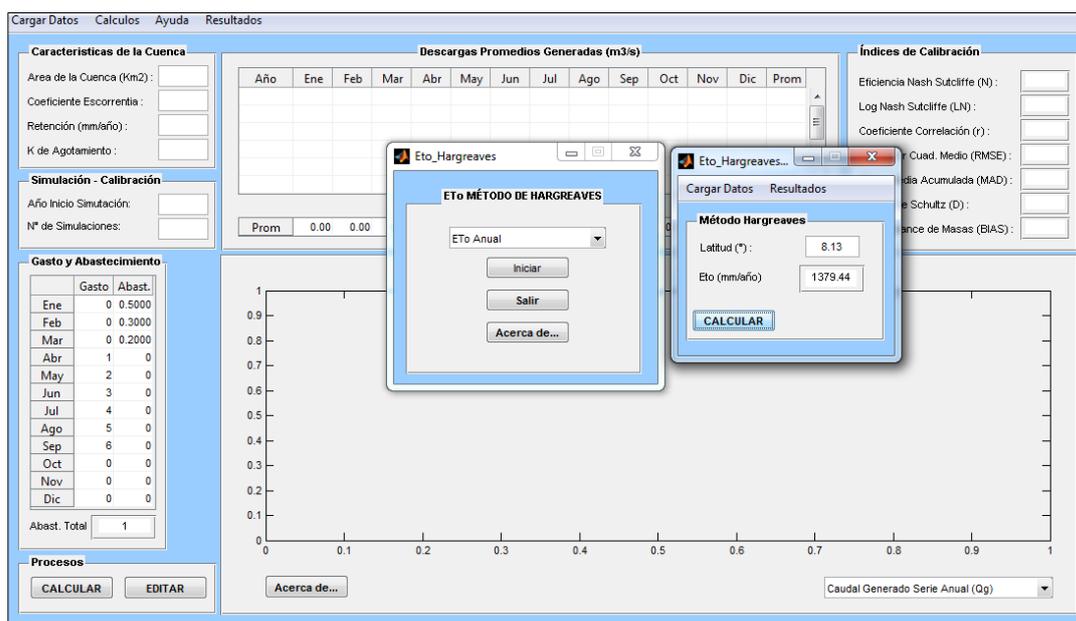


Ilustración 39: Resultado de la evapotranspiración $E_o=1379.44$ mm/año

Resultados de la simulación a partir del 2014 con 100 simulaciones:

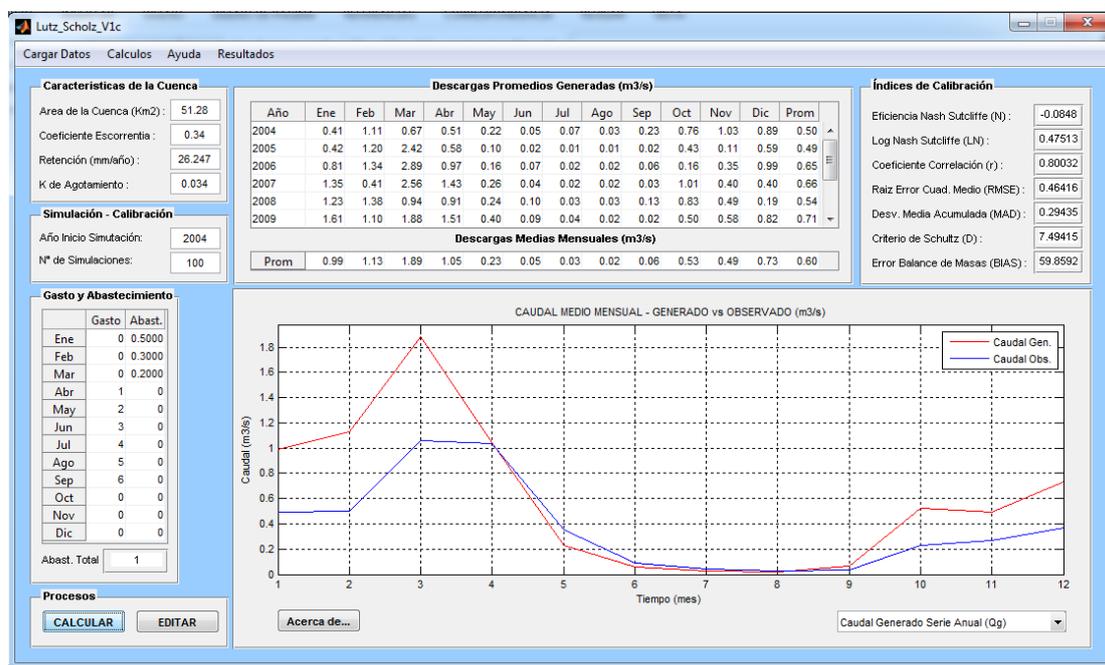


Ilustración 40: Resultado de la simulación inicial

A continuación, se realiza la calibración del modelo variando coeficiente de escorrentía, retención y factor de agotamiento, observando un mejor acercamiento en la grafica con los caudales observados con los caudales generados para el río Pataraca:

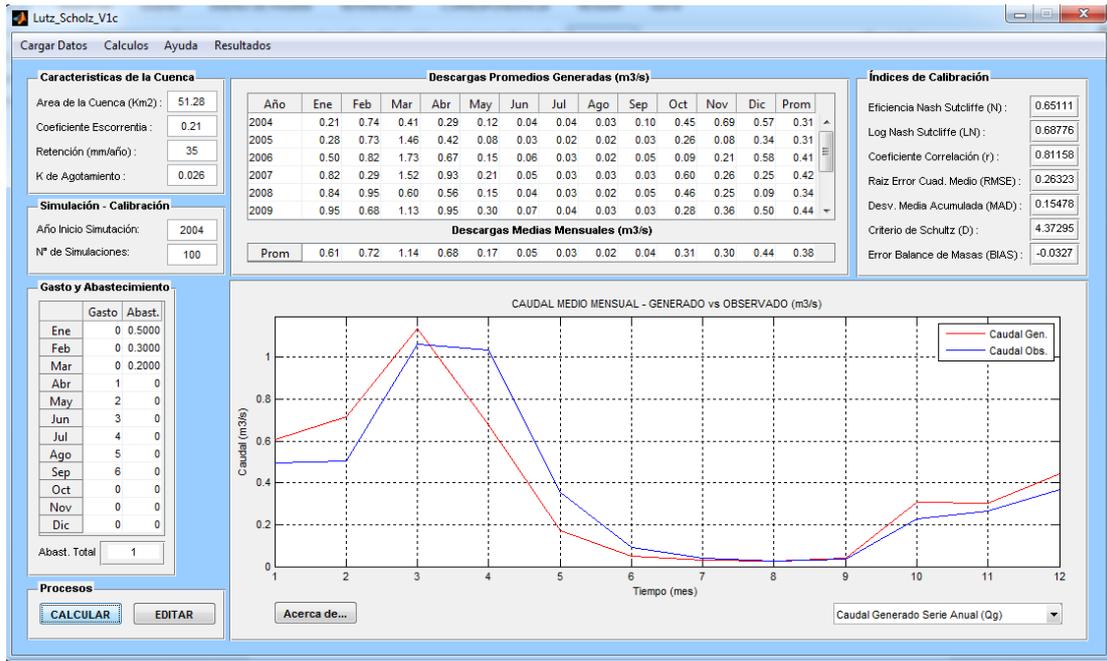


Ilustración 41: Resultados final de varias calibraciones

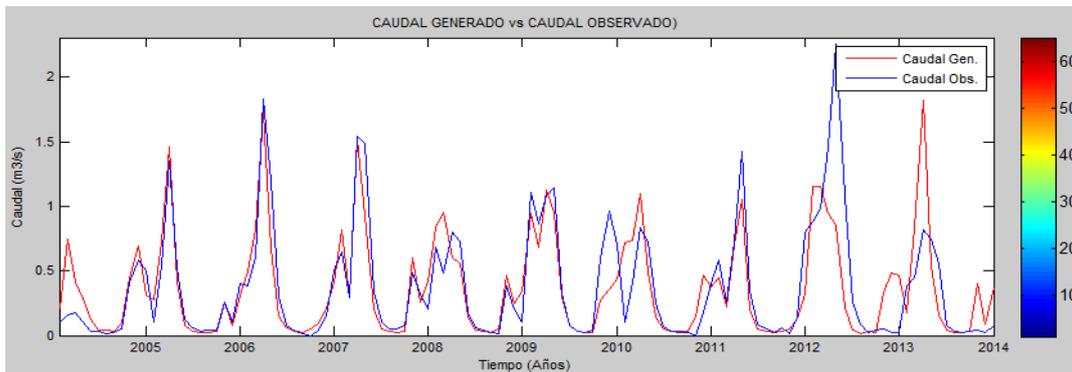
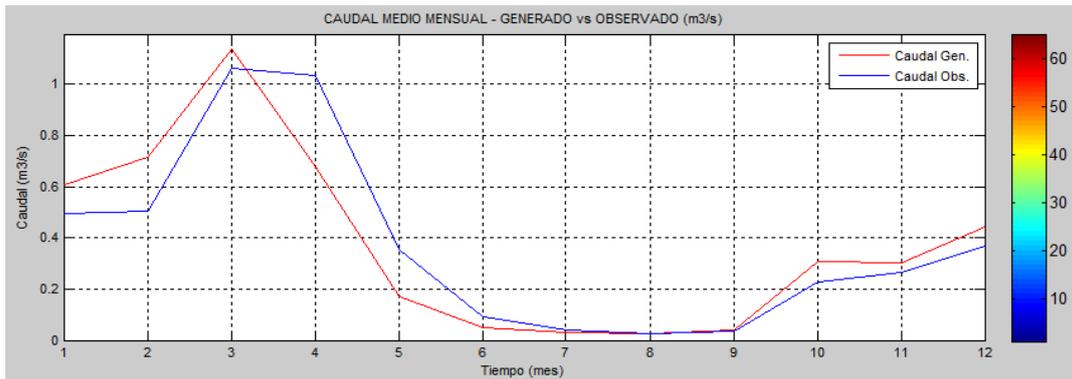


Ilustración 42: Comparación grafica de caudales observados y caudales generados anualmente

Resultados de los coeficientes máximos de calibración

COEFICIENTES MÁXIMOS DE CALIBRACION DE LAS SERIES							
NASH	LOGNASH	CORR.	RMSE	MAD	SCHULTZ	m	
0.6619	1.1270	0.8185	0.2591	0.1555	4.2886	1.2985	
UBICACION DE LA SERIE CON MÁXIMO COEF. DE CALIBRACION							
NASH	LOGNASH	CORR.	RMSE	MAD	SCHULTZ	m	
95.0000	79.0000	95.0000	95.0000	55.0000	95.0000		

Los caudales promedios generados mensualmente para los años 2004 y 2013 se muestran en la siguiente tabla N°18

Tabla 18: Caudales generados para el río Pataraca

DESCARGAS PROMEDIO GENERADOS RIO PATARACA(m3/seg)													
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO ANUAL
2004	0.210	0.740	0.410	0.290	0.120	0.040	0.040	0.030	0.100	0.450	0.690	0.570	0.308
2005	0.280	0.730	1.460	0.420	0.080	0.030	0.020	0.020	0.030	0.260	0.080	0.340	0.313
2006	0.500	0.820	1.730	0.670	0.150	0.060	0.030	0.020	0.050	0.090	0.210	0.580	0.409
2007	0.820	0.290	1.520	0.930	0.210	0.050	0.030	0.030	0.030	0.600	0.260	0.250	0.418
2008	0.840	0.950	0.600	0.560	0.150	0.040	0.030	0.020	0.050	0.460	0.250	0.090	0.337
2009	0.950	0.680	1.130	0.950	0.300	0.070	0.040	0.030	0.030	0.280	0.360	0.500	0.443
2010	0.720	0.740	1.100	0.500	0.140	0.050	0.030	0.020	0.040	0.140	0.470	0.530	0.373
2011	0.450	0.230	0.700	1.050	0.200	0.050	0.030	0.020	0.030	0.050	0.130	0.930	0.323
2012	1.160	1.150	0.940	0.860	0.220	0.040	0.020	0.030	0.030	0.330	0.490	0.280	0.463
2013	0.180	0.830	1.820	0.530	0.160	0.040	0.030	0.030	0.030	0.400	0.090	0.350	0.374
PROMEDIO MENSUAL	0.611	0.716	1.141	0.676	0.173	0.047	0.030	0.025	0.042	0.306	0.303	0.442	0.376

4.3.10 Balance hídrico

Para determinar el Volumen útil de embalse de la presa pataraca, se realiza un balance hídrico considerando los caudales de demanda y los caudales de oferta generados del río pataraca. En la siguiente tabla N°19 se presenta el cuadro de balance hídrico, obteniendo Volumen Util de 2.47 MMC.

Tabla 19: Balance hídrico de la zona de estudio

BALANCE HIDRICO FINAL													
DESCRIPCION	ENE 31	FEB 28	MAR 31	ABR 30	MAY 31	JUN 30	JUL 31	AGO 31	SET 30	OCT 31	NOV 30	DIC 31	TOTAL
DEMANDA													
m3/s	0.50	0.29	-0.14	0.00	0.25	0.35	0.27	0.23	0.15	0.08	0.16	0.41	
m3	1,333,669.76	700,871.92	-375,745.60	6,247.16	679,470.72	896,361.85	733,560.37	609,914.10	392,424.30	208,961.06	408,687.06	1,103,818.16	6,698,240.85
OFERTA													
m3/s	0.61	0.72	1.14	0.68	0.17	0.05	0.03	0.03	0.04	0.31	0.30	0.44	
m3	1,636,502.40	1,732,147.20	3,056,054.40	1,752,192.00	463,363.20	121,824.00	80,352.00	66,960.00	108,864.00	819,590.40	785,376.00	1,183,852.80	11,807,078.40
BALANCE HIDRICO													
m3/s	0.11	0.43	1.28	0.67	-0.08	-0.30	-0.24	-0.20	-0.11	0.23	0.15	0.03	
m3	302,832.64	1,031,275.28	3,431,800.00	1,745,944.84	-216,107.52	-774,537.85	-653,208.37	-542,954.10	-283,560.30	610,629.34	376,688.94	80,034.64	5,108,837.55
OPERACIÓN EMBALSE (CAPACIDAD)													
m3/s					0.08	0.30	0.24	0.20	0.11				
m3					216,107.52	774,537.85	653,208.37	542,954.10	283,560.30				2,470,368.14
												2.47	MMC

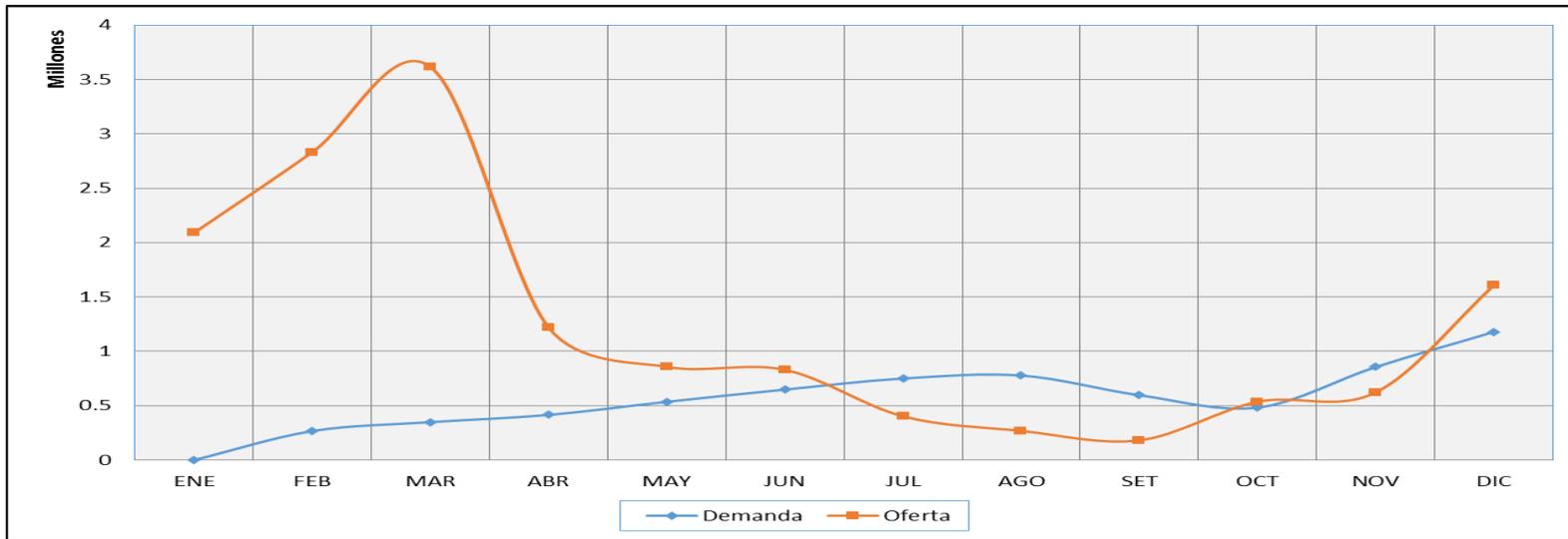


Ilustración 43: Representación grafica de los caudales de demanda y oferta hídrica del río Pataraca

4.3.11 Dimensionamiento hidrológico del embalse Pataraca

De la topografía se obtiene los datos de altitud y área del vaso como se muestra en la Tabla N° 20:

a) Curva cota –área –volumen

Tabla 20: Datos de altitud y área del vaso

ALTITUD	AREA DE ESPEJO DE AGUA
(m.s.n.m)	(m²)
2,699.00	0.00
2,700.00	2,514.12
2,705.00	18,456.45
2,710.00	42,654.24
2,715.00	89,655.57
2,720.00	131,575.45
2,725.00	201,454.46
2,730.00	245,569.85
Total	731,880.14

Tabla 21: Volumen acumulado

b) Calculo del volumen acumulado:

ALTITUD	AREA DE ESPEJO DE AGUA	VOLUMEN (m³)	
		PARCIAL	ACUMULADO
(m.s.n.m)	(m²)		
2,699.00	0.00	0.00	0.00
2,700.00	2,514.12	1,257.06	1,257.06
2,705.00	18,456.45	52,426.43	53,683.49
2,710.00	42,654.24	152,776.73	206,460.21
2,715.00	89,655.57	330,774.53	537,234.74
2,720.00	131,575.45	553,077.55	1,090,312.29
2,725.00	201,454.46	832,574.78	1,922,887.06
2,730.00	245,569.85	1,117,560.78	3,040,447.84
Total	731,880.14	3,040,447.84	6,852,282.67

Volumen Parcial

$$Vol(m^3) = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) * H$$

Donde:

Vol = Volumen parcial (m³)

A₁ = Área del espejo de agua inicial (m²)

$A_2 =$ Area del espejo de agua siguiente (m²)
 $H =$ Diferencia de altura entre 2 espejos de agua (m)

c) Curva altitud - volumen - area del vaso

ALTITUD	AREA ESPEJO	AREA DE ESPEJO DE AGUA	VOLUMEN ACUMUL.	VOLUMEN
(m.s.n.m)	(m ²)	(Has)	(m ³)	(MM ³)
2,699.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2,700.00	2,514.12	0.25	1,257.06	0.00
2,705.00	18,456.45	1.85	53,683.49	0.05
2,710.00	42,654.24	4.27	206,460.21	0.21
2,715.00	89,655.57	8.97	537,234.74	0.54
2,720.00	131,575.45	13.16	1,090,312.29	1.09
2,725.00	201,454.46	20.15	1,922,887.06	1.92
2,730.00	245,569.85	24.56	3,040,447.84	3.04
Total	731,880.14	73.19		

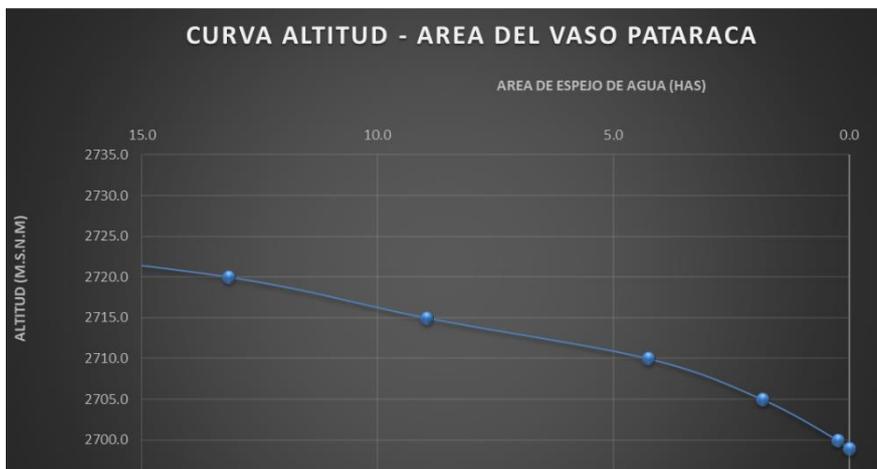
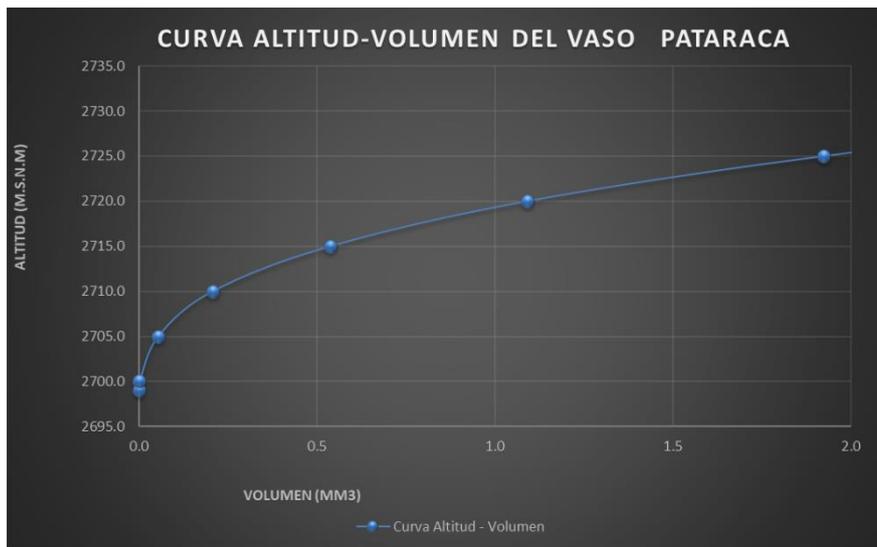


Ilustración 44: Curva Altitud -Volumen/Altitud Area

d). Calculo de la Capacidad de Almacenamiento

De la simulación de operación del Embalse, tenemos:

VOL. UTIL =	2,468,443.73	m3
	2.5	MMC

1)Calculo de aportacion de Sedimentos

FORMULAS EMPIRICAS PARTICULARES

A) DATOS:

Altitud	2,699	msnm
Area de la cuenca	51.23	Km2
Capacidad total inicial del embalse	0	m3
Longitud del colector principal	14.51	Km
Desnivel máximo de elevación en cuenca	1550.0	m
Altura media de la cuenca (curva hipsomet.)	3475.0	msnm
Area de la cuenca con vegetación	12.81	Km2
Pendiente de la cuenca	11.53	%
Precipitación media anual	896.00	mm

B) FORMULAS EMPIRICAS:

Formula de L.C. GOTTSCHALK

$$S = 0.0522 * C + 822.9542 * A + 330.7014 * T - 2217.09$$

s = Magnitud de la sedimentación ocurrida en un embalse, en m3

C = Capacidad total propuesta para el vaso, en m3

A = Area de la cuenca del Embalse en Km2.

T = Lapso en el que ocurrirá la Sedimentación del vaso en años

0.0	m3
51.230	Km2
50	años

$$S = 56,477.92 \text{ m3} = 22.05 \text{ (m3/Km2/año)}$$

Fórmula de NAMBA

$$As = 0.292 * P + 0.474 * H - 0.118 * F + 2.452$$

AS = Aportación de sedimentos, en m3/Km2/año

P = Precipitación media anual , en mm

H = Desnivel total de las elevaciones de la cuenca, en m.

F = Relación del area desnudo al área de suelo cubierto de vegetación en %

896.0
1550.0
300.00

$$AS = 963.38 \text{ (m3/Km2/año)}$$

Fórmula de J.B. OWEN y F.A.BRANSON

$$As = 19464.6 * \frac{H}{L} + 14.29 * Ps - 604.8$$

AS = Aportación de sedimentos, en m³/Km²/año

H/L = Cociente entre el desnivel máximo de las cotas y la longitud total del colector o cauce principal

0.107

Ps = Porcentaje de suelo desnudo de la cuenca

75.00 %

$$AS = 19,464.6 * 0.146 + 14.29 * 90 - 604.8$$

$$AS = \boxed{2546.21} \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

Fórmula de NAMBA-YAMAGUCHI

$$As = 6.398 * H^{0.72} * q^{1.67}$$

AS = Aportación de sedimentos, en m³/Km²/año

H = Desnivel total de todas las elevaciones de la cuenca en m.

1550.0

q = Gasto específico máximo anual en m³/Km²

0.000

$$AS = 6.398 * 755^{0.72} * 1.672^{1.67}$$

$$AS = \boxed{0.00} \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

Formula de MURANO

Esta ecuación, determinada en base a información de 103 embalses, relaciona el aporte específico de sólidos de la cuenca, con su precipitación anual, área, altitud y pendiente media.

$$Q_s = 10^{-3.2} * A^{-0.21} * P^{0.97} * Me^{1.21} * Sc^{0.68}$$

Qs = AS = Aportación de sedimentos, en m³/Km²/año

A = Area de cuenca en Km²

51.230

P = Precipitación media anual en mm

896.0

Me = Elevación media de la cuenca en msnm

3475.0

Sc = Pendiente Promedio de la Cuenca

0.115

$$AS = 10^{-3.2} * 23.93^{-0.21} * 1696^{0.97} * 4700^{1.21} * 0.095^{0.68}$$

$$AS = \boxed{894.00} \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{año}$$

RESUMEN

Aporte de sólidos en m³/Km²/año

GOTTSCHALK (m ³ /Km ² /año)	NAMBA (m ³ /Km ² /año)	OWEN- BRANSON (m ³ /Km ² /año)	N- YAMAGUCHI (m ³ /Km ² /año)	MURANO (m ³ /Km ² /año)	AS Promedio (m ³ /Km ² /año)
22.05	963.38		0.00	894.00	469.86

Aporte anual de sólidos en volumen MMC/Km²/año

GOTTSCHALK (MMC/Km ² /año)	NAMBA (MMC/Km ² /año)	OWEN- BRANSON (MMC/Km ² /año)	N- YAMAGUCHI (MMC/Km ² /año)	MURANO (MMC/Km ² /año)	AS Promedio (MMC/Km ² /año)
0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0009	0.0005

Para una vida útil de 50 años el volumen (MMC) será:

0.0011	0.0482	0.0000	0.0000	0.0447	0.0235
--------	--------	--------	--------	--------	--------

El volumen de sedimentos lo obtenemos aplicando las ecuaciones empíricas de diversos autores, para un tiempo de retorno de 50 años.

$$\text{Vol. Sedim} = \boxed{0.0235} \text{ MMC}$$

$$\boxed{\text{Vol.Sedim} = 23,492.92 \text{ m}^3} \text{ ó Vol. Muerto}$$

Se asume que la toma se ubicara en la cota: **2,702.50** msnm

2) Volumen muerto del embalse:

En un embalse típico el volumen muerto es igual al volumen de sedimentos o azolves calculado en el ítem anterior.

Sin embargo, en el embalse Pataraca, la salida sera a 1.24m por encima del nivel de sedimentos

$$\text{Cota de salida de la Toma} = \boxed{2,702.50} \text{ msnm}$$

$$\text{Volumen acum. hasta toma} = \boxed{27,470.27} \text{ m}^3$$

Volumen
muerto
embalse = 3,977.35 m³

3) Capacidad total del almacenamiento

VOL TOT = VOL MUERTO + VOL UTIL

Vol. Total del embalse =	2,472,421.1	m³
	2.47	MMC

4) Nivel de aguas normales (NAN)

Segun la capacidad del embalse el NAN (cresta del aliviadero) se ubica en la cota:

De la curva altitud - volumen : 2,728 msnm

O por interpolación en el cuadro de volúmenes:

1,090,312.29	2,720.00	msnm
2,472,421.08	2,728.30	
1,922,887.06	2,725.00	

5) Nivel de aguas maximas extraordinarias)(NAME)

Considerando un transito de avenidas en la que por encima de la cresta del aliviadero pasa una altura de agua de :

0.75m (altura de superalmacenamiento).

Entonces la cota del NAME sería:

Cota

NAME = Cota NAN + superalmacenamiento

= 2,729 msnm

6) Borde libre o resguardo

El borde libre es la diferencia de cotas entre el nivel máximo de embalse (NAME) y el de la coronación. Este borde se fija en función al oleaje debido al viento y sismos.

Margen Libre (f):

Por la altura de la presa para que no sea desbordado:

Tabla: Borde libre en función de la altura de la presa

H: Altura de presa (m)	f: Borde libre (m)
H<50m	2
50m<H<100m	3
h>100m	3.5

Borde Libre (BL)

BL = h1 + h2 + h3 + asentamientos
--

olas $h1=0.03227(V * F)^{1/2}$
 mareas $h2=V^2 * F / 62816 * D$
 choque olas $h3=0.6 * h1$

Donde :

h1=altura de olas (m)
 V=veloc. Max. viento (Km/hr) a 7.5 m sobre el nivel del agua
 F=Fetch (Km), long. mayor del embalse hasta el eje de la presa
 h2=efecto de mareas (m)
 D=prof. media del agua = vol.agua/area espejo
 h3=choque de olas RUN UP
 asentamientos=0.5-1.0 m

Datos:

V =	5.00	m/s
	18	Km/hr
F=	0.85	Km
D=	10.72	m

Entonces:

h1=	0.13	m
h2=	0.05	m
h3=	0.08	m
Asentamientos		
=	0.50	m
BL=	0.75	m

Para presas pequeñas el bordo libre mínimo es =

1.00m

Entonces la cota a la que se ubicara la CORONA de la presa es:

Cota de la CORONA = Cota NAME + B.L

2,730

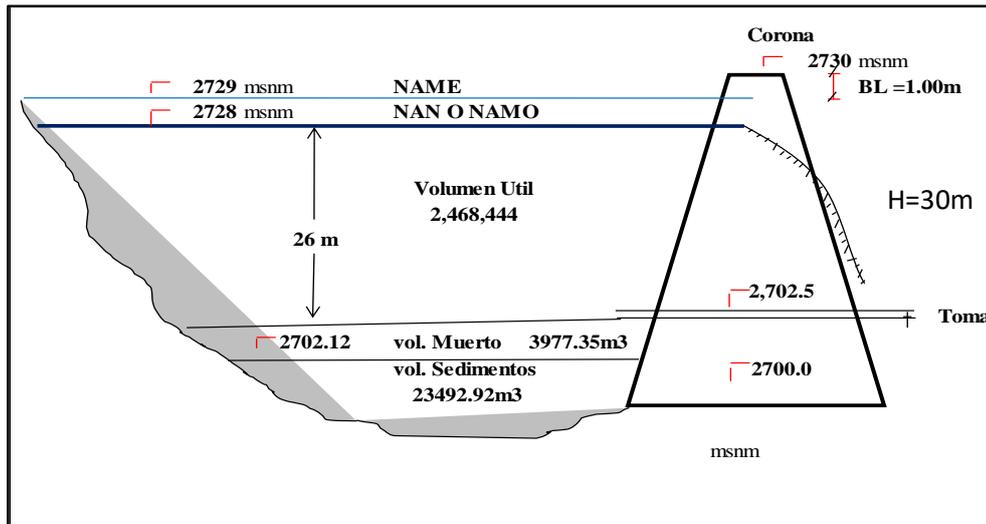


Ilustración 45: Cotas de la presa

7) Altura total de la presa (H)

Si el eje de la presa (cortina) hasta la profundidad de la cimentación tiene la cota de :

2,700.00 msnm

La altura de la PRESA de enrocado será:

Altura de la Presa (H) = Cota de la CORONA - Cota de la cimentación= 30m

Figura N° : Cotas y Altura de la Presa de Tierra Pataraca

8) Determinación de las taludes de la presa:

Frecuentemente se establecen valores que pueden servir como punto de partida en una alternativa: $Z = H/V$

Ciertos reglamentos de presas fijan como taludes mínimos los siguientes:

Altura de la Presa	Talud aguas arriba	Talud aguas abajo
4.5 a 12m.	2.0:1	1.5:1
12 a 30m	2.5:1	2.0:1
30 a 45m	3.0:1	2.5:1

9) Ancho de coronación

El ancho de la corona de una presa depende de varias consideraciones, como son:

- Naturaleza de los materiales del terraplén y distancia mínima permisible de percolación a través del terraplén al nivel normal de embalse.
- Altura e importancia de la estructura.

- Requerimiento de ancho para proveer masa al terraplén para resistir a los efectos sísmicos.
- Requerimiento de tránsito vehicular.
- Practicidad de construcción

Otros criterios complementarios son: que se fija este ancho para aumentar el volumen de la presa y por consiguiente su estabilidad, para asegurar las resistencias de esta parte contra los deterioros ocasionados por el oleaje y para establecer los servicios que sean necesarios de la presa

Fórmulas y expresiones contenidas en diferentes reglamentos, considerando la altura de la presa: $H = 30\text{m}$ ($1\text{m} = 3.28024\text{ pies}$)

<i>Ancho de Coronación de Presa</i>			
<i>Bureau of Reclamation</i>	<i>Norma Italiana</i>	<i>Norma Japonesa</i>	<i>Norma Española</i>
$8(H)^{1/3} - 5$	$B = \frac{H}{5} + 10$	$B = 1.4 * (H - 1.5)^{0.5}$	$B = 3.6 * (H - 3)^{1/3}$
			$B = 1.5 * (3 + 1.5 * (H - 15)^{1/3})$

- Bureau of Reclamation $B = 8 H^{1/3} - 5 = 9.75\text{ m}$
- Norma Italiana $B = H/5 + 10 = 29.68\text{ pies} = 9.04\text{ m}$
- Norma Japonesa $B = 10.80\text{ m}$
- Norma española $B = 10\text{ m}$

El ancho de corona adoptado es de **9.0 m**, dimensión que deviene en primera instancia por el tipo de material que conforma el cuerpo de la presa (material aluvial) y en segunda instancia por la aplicación de instructivos y normas técnicas que están en función de la altura de presa, entendiéndose por tal a la distancia desde su corona hasta su cimentación excluyendo el empotramiento y la pantalla o cortina no estructural. La altura de presa a su vez está ligada a la capacidad total de embalse.

10) Dimension final de la presa de tierra:

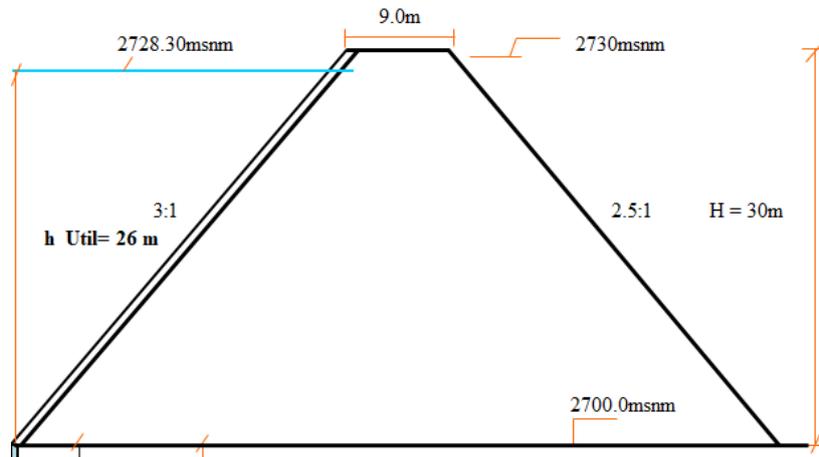


Ilustración 46: dimensionamiento de la presa

4.4 ANALISIS DE FILTRACION EN LA PRESA DE TIERRA

Se ha realizado el modelo matemático para análisis de filtraciones de la Presa Pataraca, evaluando la Sección Principal, la red de filtraciones se realizó hasta el nivel de agua máximo del embalse, así como los gráficos de salida de Equipotenciales, Presión de Poros y Gradiente hidráulico, velocidades.

Se utilizará el software de cómputo **Geo Studio – Sub programa Sweep**, el cual utiliza el método de los elementos finitos para generar el modelo.

4.4.1 CRITERIO DE DISEÑO

4.4.1.1 Análisis de Filtraciones.- Se deben cumplir la condición siguiente:

El caudal de filtraciones no debe ser mayor que el 2% del caudal de diseño, es decir las filtraciones no deben ser mayores a **0.0019314 m³/s**.

4.4.1.2 Cálculos Previos para Análisis de Infiltración

Volumen de embalse al NAME : 3045476.08 m³

4.4.1.3 Cálculo del caudal de filtración Máxima

- Caudal Medio

$$Q_m = \frac{V}{365 * 86400}$$
$$Q_m = 0.09657 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Caudal de filtración Máximo Permisible

$$Q_{fmp} = 0.02 * Q_m$$

$$Q_{fmp} = 0.0019314 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Volumen filtración Máximo Anual

$$V_{fma} = Q_{fma} \times 86400 \times 365$$

$$V_{fma} = 60\,908.63 \text{ m}^3$$

4.4.1.4 Resultados del analisis de filtraciones presa pataraca

Caudal de Filtracion total		Maximo Permisible	
Qf(m ³ /s)	Qf(lt/s)	Qf(lt/s)	OBS
6.45E-06	6.45E-03	1.93E+00	OK

4.4.1.5 Interpretacion de resultados del analisis de filtraciones de la presa

Se muestra una línea de filtración a partir de la cota máxima de embalse analizado (NAME) fue de 2729 m.s.n.m., la tendencia de la línea de flujo es casi horizontal (hacia abajo) hasta llegar el al Filtro, para luego recorrer el centro del filtro hacia abajo y llegar al nivel más bajo del filtro, luego recorre aguas abajo para finalmente salir al exterior a través del enrocado.

4.4.1.6 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de los modelos matemáticos analizados se concluye que la sección transversal de la Presa propuesta presenta un caudal de filtración inferior al máximo permisible (1.93 lt/s) y un mejor comportamiento hidráulico, obteniéndose del análisis realizado un caudal de filtración unitario total de 6.45 e-03 lt/s.

4.4.1.7 Recomendaciones

Después del análisis y conclusiones realizados para la Sección Propuesta de la Presa se recomienda utilizar dicha sección pues cumple con los parámetros de valores máximos permisibles.

4.5 CALCULO DE ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA

4.5.1 Concepción básica en el diseño de Presas

En el diseño general de obras de embalsamiento, la concepción fundamental que debe tener el proyectista es básicamente en tres aspectos fundamentales que a continuación se menciona:

- **Estabilidad de la Estructura:** se basa en que toda estructura de la presa debe ofrecer estabilidad frente a las diferentes cargas que actúan sobre ella, teniendo en cuenta que el factor de seguridad a los diferentes formas de estabilidad estén por encima del mínimo permisible establecido.
- **Impermeabilidad. (estanqueidad):** en lo que respecta a la estanqueidad del embalse, se tiene que hacerse un análisis de redes de flujo de agua subterránea, limitándose también por debajo del máximo permisible, esto para evitar el fenómeno de la tubificación que se puede dar en el cuerpo y fundación de la estructura.
- **Excesivos esfuerzos:** los esfuerzos que se generan en las presas pueden ser tanto en el cuerpo como en las cimentaciones, estos esfuerzos deben limitarse a los máximos establecidos, para dar garantía una estructura segura.

Ubicación del eje de la Presa

El eje se ha ubicado en la parte alta del río Pataraca, de acuerdo a la disponibilidad y existencia de los materiales de construcción, a las condiciones geológicas y geotécnicas, así como a las características topográficas de la sección de cierre, se ha adoptado una sección típica de presa zonificada de configuración simétrica, conformada por un núcleo de material homogéneo (Limos, Arcillas, Gravas y Arenas), seguido las dimensiones mínimas recomendadas por el U.S. Bureau of Reclamation.

4.5.2 Estados de Análisis de estabilidad de presas de tierra

En el estudio de la estabilidad de taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. El “agente” externo responsable de la

inestabilidad es una fuerza de masa: el peso y eventualmente los efectos de filtración.

La preponderancia de las acciones gravitatorias condiciona, sobre todo, la definición de seguridad frente a rotura. Para unas características dadas del terreno, tiene un sentido obvio.

Para el diseño de Presas de Tierra, cuya finalidad recae en contener o almacenar agua debemos tener en cuenta ciertas leyes físicas y geológicas para el buen desempeño y construcción de estas. Dichas leyes que regirán esta simulación se basan en la presión hidrostática, la gravedad, empujes producidos por el agua almacenada así como ciertos riesgos a tomar en cuenta en lo que se refiere a movimientos de tierra debido a sismos, entre otros. Las disposiciones anteriores deben cumplirse de manera tal que proporcionen a la presa la resistencia sobre las fuerzas que sobre ella serán ejercidas, la confección de esta debe a su vez proveer a la estructura impermeabilización, es decir evitar filtraciones en su haber y prevenir destrucción de la misma.

En esta parte de la tesis se presenta el análisis de estabilidad de taludes de la Presa Pataraca de acuerdo a las acciones propuestas para la Sección Principal, para los estados de vida de la presa de acuerdo a los parámetros de diseño y la normatividad vigente. Se utilizará el programa de cómputo Geo Estudio. Los estados de de craga o escenarios para el Análisis de Estabilidad de Taludes considerado considerados son:

- Fin de Construcción: Aguas Arriba y Aguas Abajo
- Embalse Lleno: Aguas Arriba y Aguas Abajo
- Embalse Parcialmente Lleno: Aguas Arriba y Aguas Abajo

Norma Alemana DIN N° 4084

Existen normas internacionales a las cuales deben ceñirse los trabajos de diseño de presas, así como los procesos constructivos.

Tabla 22: Factores de Seguridad Mínimos

Condición de diseño	Factor de Seguridad	
	Talud aguas arriba	Talud aguas abajo
1. Al final de la construcción	1.3	1.3
2. A largo plazo y con presa llena	-	1.5
3. A desembalse rápido	1.5	-
4. Con sismo (1 y 2)	1.0	1.0

Estos valores son los que van a determinar la estabilidad de nuestra presa.

4.5.3 Metodologías del análisis de Estabilidad de Taludes de la Presa

La metodología adoptada en el análisis de estabilidad para los diferentes estados de operación de la presa, será la que sigue la **U.S. Army Corps of Engineers (USACE)** y la **U.S. Bureau of Reclamation (USBR)** y habrá que procesar los parámetros geotécnicos de acuerdo a las recomendaciones que esa institución proporciona.

Fin de construcción: Se han realizado los análisis de estabilidad de los dos taludes exteriores, tanto sin sismo (análisis estático) como sismo (análisis pseudo – estático), usando los parámetros de resistencia al corte de los suelos Cohesión (C) y el ángulo de fricción interna para valores de esfuerzos totales. Para los análisis de estabilidad de talud de aguas arriba en la condición de embalse parcialmente lleno, o del talud de aguas abajo en la condición de embalse lleno hasta el NAME y flujo establecido tanto sin sismo (análisis estático) como con sismo (análisis pseudo – estático) se usaron los valores de los ensayos de corte directo y para los materiales friccionantes los obtenidos por analogía para valores de esfuerzos efectivos.

El criterio referido para el análisis en sí, se trata de las cargas estáticas, para ello se usó el software de computadora del programa Geo Estudio, el cual cuenta con las metodologías de BISHOP simplificado y JANBU.

Datos de cálculo

Los datos del cálculo han sido proporcionados por los estudios de suelos realizados, el cual nos brinda, 3 consideraciones principales el peso específico, cohesión y ángulo de fricción.

Consideraciones del análisis pseudo - estático

- Se utiliza el método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad de taludes, adicionando un coeficiente sísmico.
- El coeficiente lateral sísmico es semiempírico, que depende de la sismicidad del país.
- Ruesta, Díaz y Alva (1988) han propuesto valores del coeficiente lateral sísmico para presas de tierra y enrocado en el Perú. Los valores propuestos son consistentes con las presas de tierra y enrocado diseñadas y construidas en el Perú y el mundo.
- El análisis de estabilidad pseudo-estático sirve además para determinar la aceleración de fluencia que se emplea en el método simplificado de deformaciones inducidas.
- En una presa de tierra el análisis de estabilidad de taludes se realiza típicamente para alcanzar los factores de seguridad.

Sismo de diseño

El diseño sísmico de presas de tierra y de enrocado por el método pseudo – estático incluye la selección del coeficiente sísmico a utilizar en el análisis, el cual depende la ubicación, importancia del proyecto. En los métodos pseudo – estáticos la fuerza de inercia y la presión de poros inducidas por el sismo son remplazados por una fuerza estática horizontal que es proporcional al coeficiente sísmico.

Justificación del uso del parámetro sísmico de 0.15g

Las consideraciones del comportamiento de presas durante sismos, son:

- Cualquier presa bien construida puede soportar sismos moderados, con aceleraciones máximas de 0.2 g, sin daños.
- Presas de material arcilloso con cimentación arcillosa o rocosa pueden soportar sismos fuertes con magnitudes Richter de 8.25 y aceleraciones máximas de 0.35 a 0.8 g, sin daños aparentes.
- Presas de enrocado con pantalla de concreto se mantienen secas y son capaces de soportar sismos extremadamente fuertes, con solamente pequeñas deformaciones.
- El diseño sísmico debe concentrarse en las presas que pueden sufrir daños por sismos severos o tienen cuerpos granulares saturados que pueden perder resistencia durante sismos, ocasionando movimientos.

Por lo descrito anteriormente consideramos lo que indica la norma y el gráfico de la zonificación del Coeficiente Sísmico en el Perú. Para la región de la Libertad la aceleración que se debe usar para el análisis pseudo-estático, debe estar entre el 15% y 18% de la aceleración de la gravedad. Para el análisis sísmico pseudo-estático, se consideró un coeficiente sísmico de 0.15 de acuerdo al mapa de zonificación sísmica, como se muestra en la Figura N° 46.

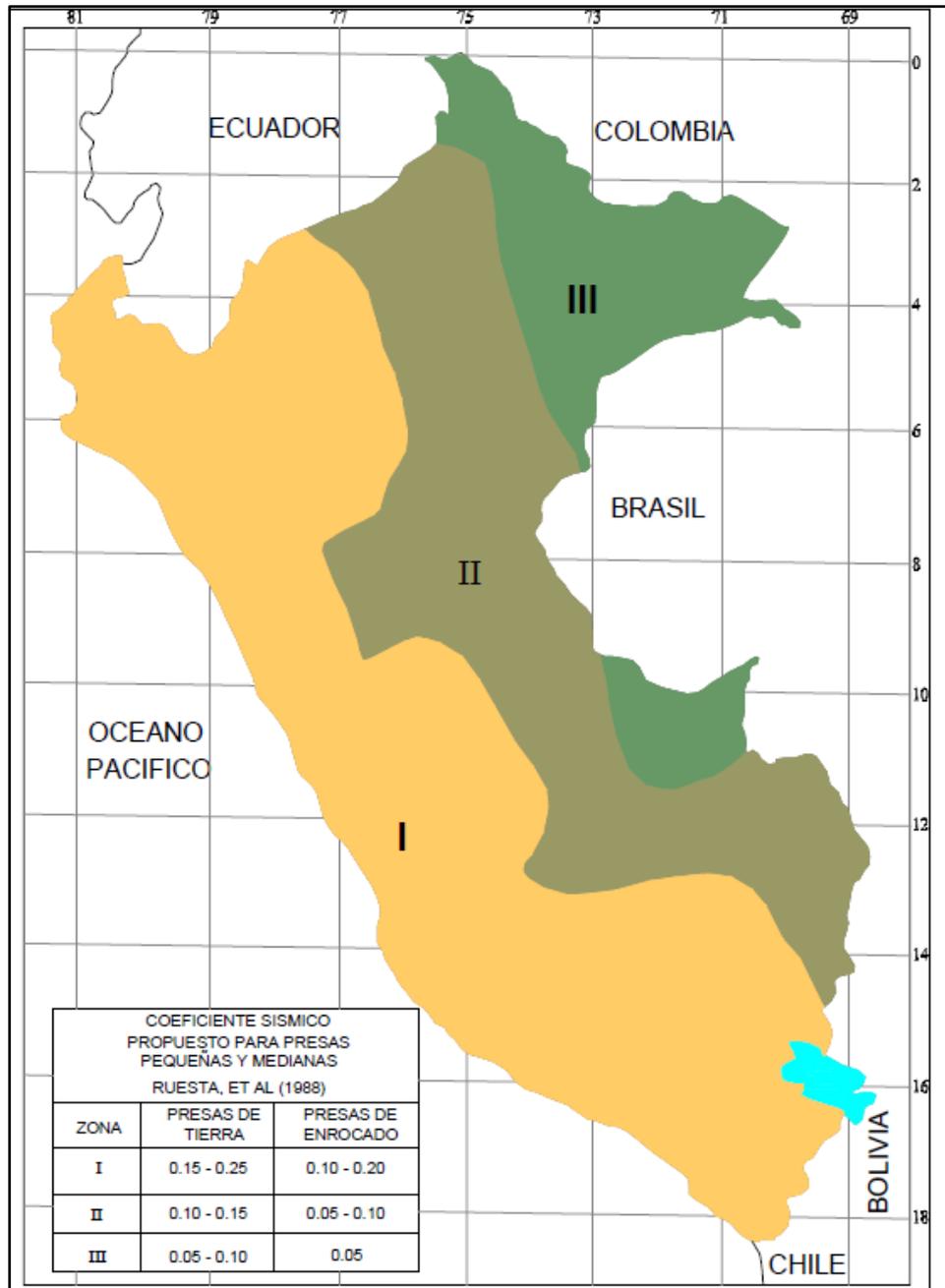


Ilustración 47: Coeficiente sísmico propuesto para presas pequeñas y medianas según Ruesta (1988)

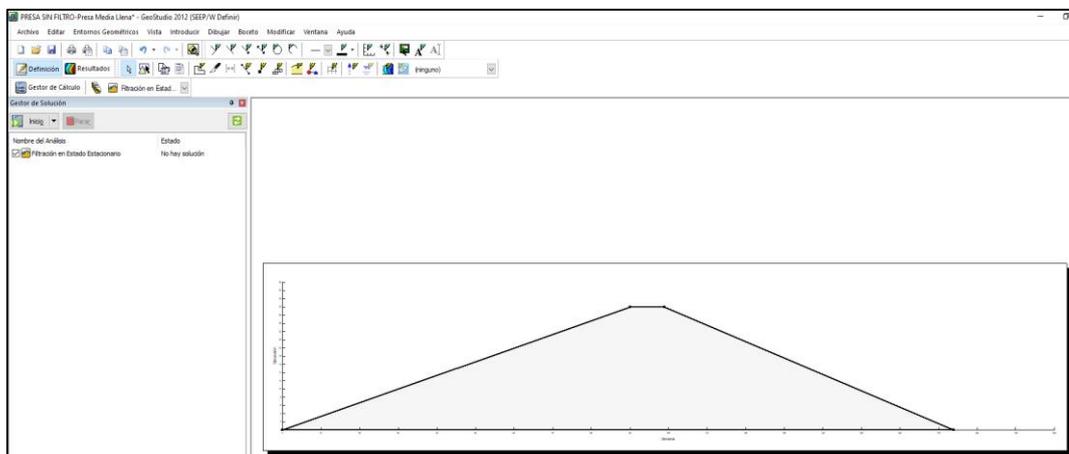
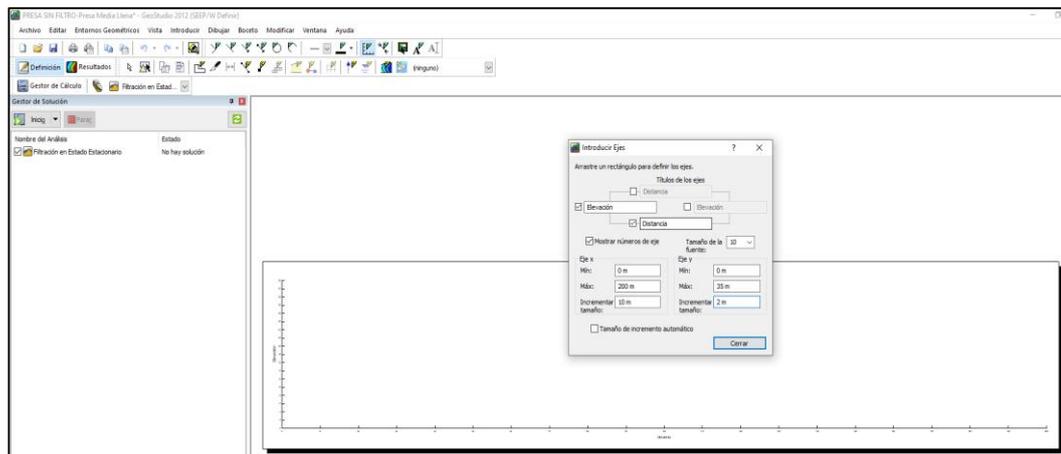
4.5.4 Aplicación del programa Geo Estudio para el calculo de la estabilidad

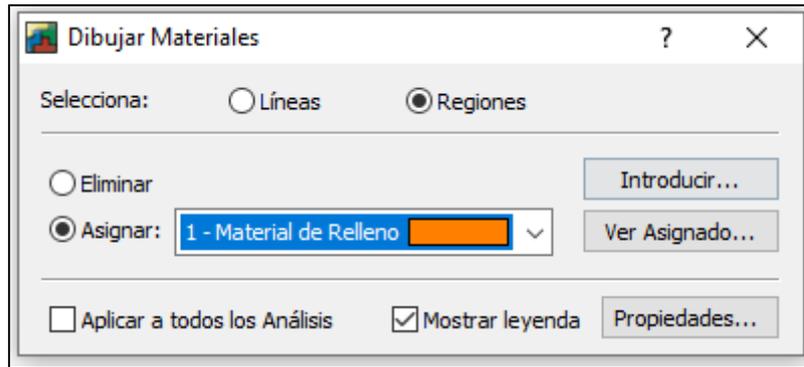
El programa geo estudio, presenta varias metodologías para calcular el factor de seguridad de las presas den tierra, en este estudio se va a considerar para el análisis de la estabilidad solo tres métodos:

- Método de Bishop
- Morgenstern-Price
- Método de Janbu

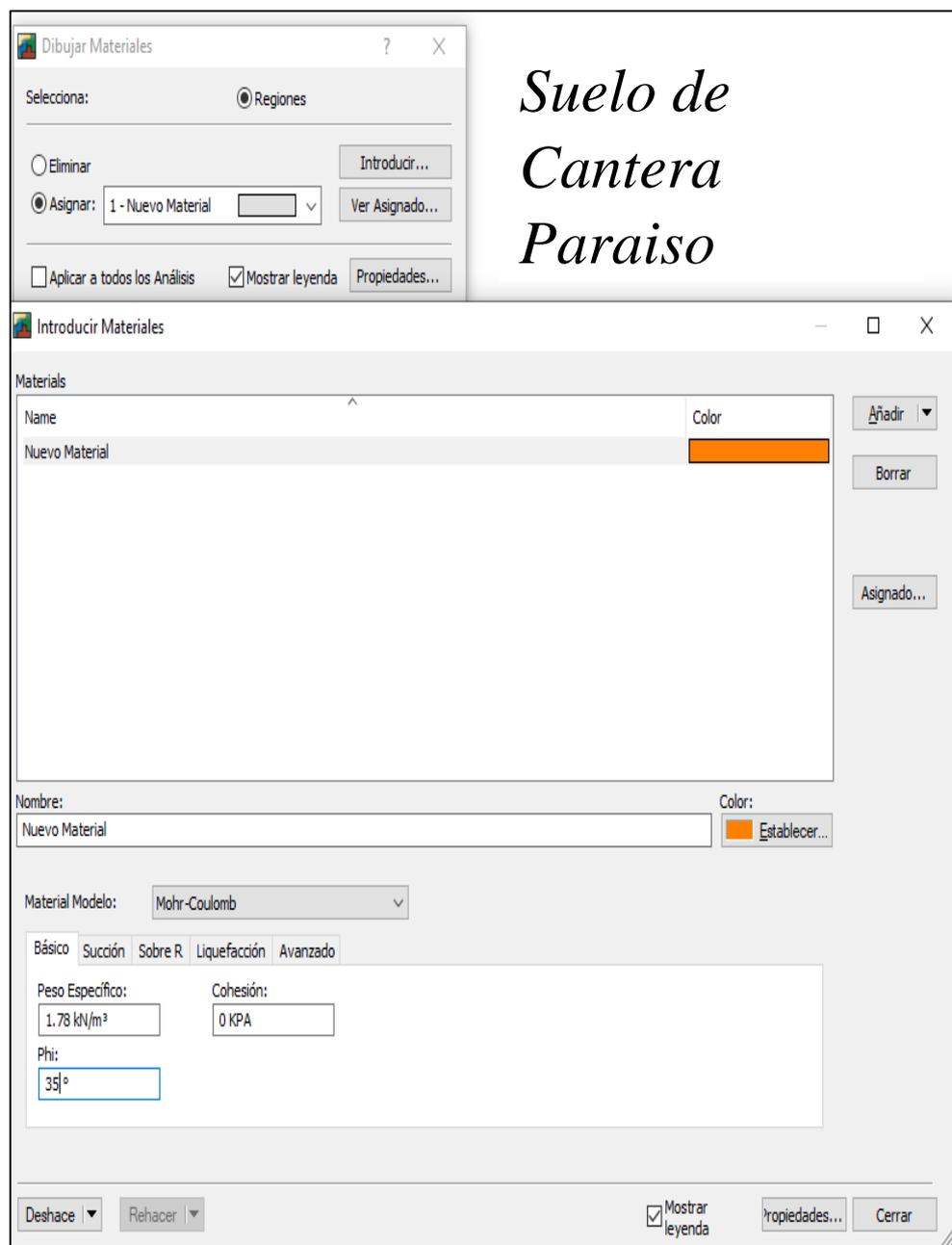
Acontinuación el procesamiento de la aplicación del programa Geo Estudio:

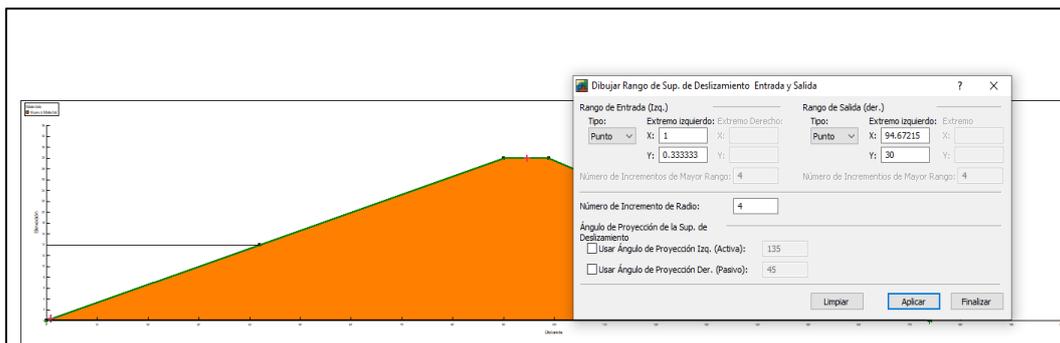
1. Dibujado de eje y presa, y los factores del material a utilizar en la presa





2. Modelado para calcular la filtración





Definición de parámetros del Material

The screenshot shows the 'Introducir Funciones de Contenido de Agua Volumétrica' dialog box. The main window displays a graph titled 'Arcilla' showing 'Contenido de agua Vol. (m³/m³)' on the y-axis (ranging from 0.1 to 0.5) and 'Succión Mátrica (KPA)' on the x-axis (ranging from 0 to 1000). The curve starts at 0.5 for 0 KPa and drops to approximately 0.15 at 1000 KPa. The dialog box includes fields for Name (Arcilla), Parameters (Contenido de agua Vol. vs Presión de Poro por Agua), and Types (Datos de Puntos de la Función CA Vol). It also has options for 'Encajar Curva' (Aprox. and Exacto) and 'Segmentos' (Recto and Curvo). A smaller dialog box 'Función de estimación de contenido de vol d...' is open, showing 'Método de Estimación' as 'Función Ejemplo', 'WC Saturado' as '0.5 m³/m³', and 'Material de Ejemplo' as 'Arcilla'. It also has fields for 'Rango Succión' (Mínima: 0.01, Máxima: 1,000) and 'Número de Puntos' (20).

The screenshot shows the 'Introducir Materiales' dialog box with 'Material de Relleno' selected. The 'Propiedades Hidráulicas' section shows 'Fn Conductividad Hidr.' set to 'K cuerpo'. The 'Introducir Funciones de Conductividad Hidráulica' dialog box is open, showing a graph titled 'K cuerpo' with 'Conductividad -X (m/seg)' on the y-axis (log scale from 1.0e-12 to 1.0e-06) and 'Succión Mátrica (KPA)' on the x-axis (0 to 1000). The curve shows a sharp drop in conductivity as suction increases. The dialog box includes fields for Name (K cuerpo), Parameters (Conductividad -X vs Presión de Poro por Agua), and Types (Datos de Puntos de la Función Hidr K). It also has options for 'Encajar Curva' and 'Segmentos'. A smaller dialog box 'Estimación de Función de Conductividad Hidráulica' is open, showing 'Método de Estimación' as 'Van Genuchten', 'Fn. Contenido Vol. de Agua' as 'Arcilla', 'Kx-Saturación' as '5e-07 m/seg', and 'Contenido Residual de Agua' as '0.15 m³/m³'. It also has fields for 'Rango Succión' (Mínima: 0.01, Máxima: 1,000) and 'Número de Puntos' (20).

The screenshot shows the 'Introducir Materiales' dialog box. The 'Material de Relleno' is selected, and the 'Material Modelo' is set to 'Saturado/Insaturado'. The 'Propiedades Hidráulicas' section shows 'Fn Conductividad Hidr.' set to 'K cuerpo'. The 'Anisotropía' section shows 'Ky/Kx' as 1 and 'Rotación' as 0°. The 'Fn. Contenido Vol. de Agua' is set to 'Arcilla'. The 'Activación PWP' checkbox is unchecked. The 'Deshace' and 'Rehacer' buttons are visible at the bottom left.

Dibujar Condiciones de límite ?

Regiones
 Líneas
 Puntos

Introducir

Categoría: Eliminar
 Asignar:

Hidráulico
 Aguas Arriba

Ver Asignar

Introducir Condiciones de límite ? ✕

Categoría de CL: Hidráulico

Hidráulico Boundary Conditions

Name	Category	Color
Aguas Abajo	Hidráulico	
Aguas Arriba	Hidráulico	

Nombre:
 Color:

Tipo:

Constante Acción:

Función

Revisión de Potencial de Filtración

Dibujar Condiciones de límite ?

Seleccionar: Regiones Líneas Puntos

Categoría: Eliminar Asignar:

Hidráulico

Introducir... Ver Asignac...

Introducir Condiciones de límite ? X

Categoría de CL: Hidráulico

Hidráulico Boundary Conditions

Name	Category	Color
Aguas Abajo	Hidráulico	
Aguas Arriba	Hidráulico	

Añadir | Borrar | Asignado...

Nombre:
 Color: Establecer...

Tipo:

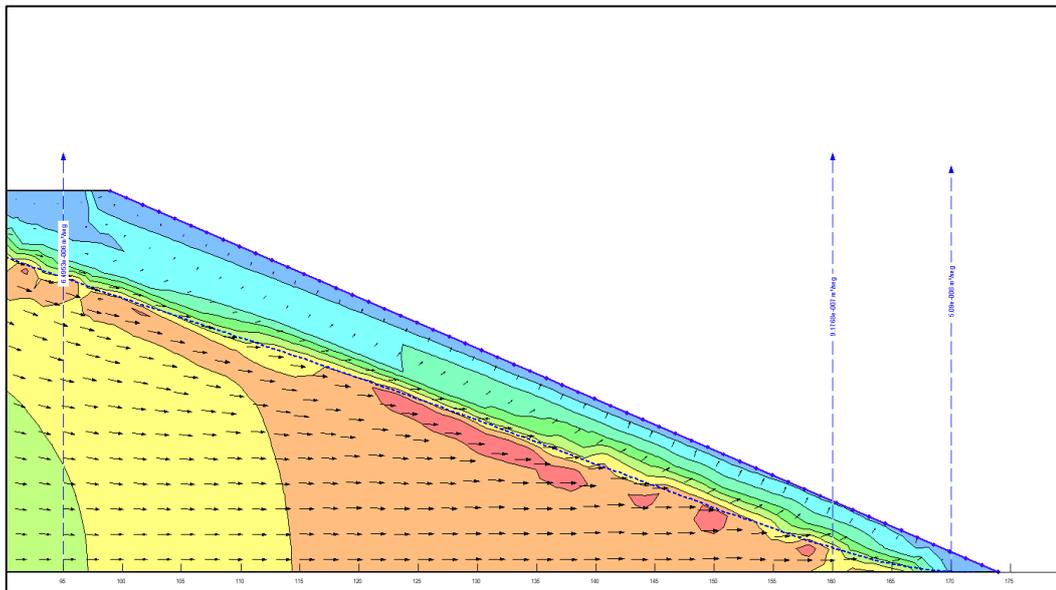
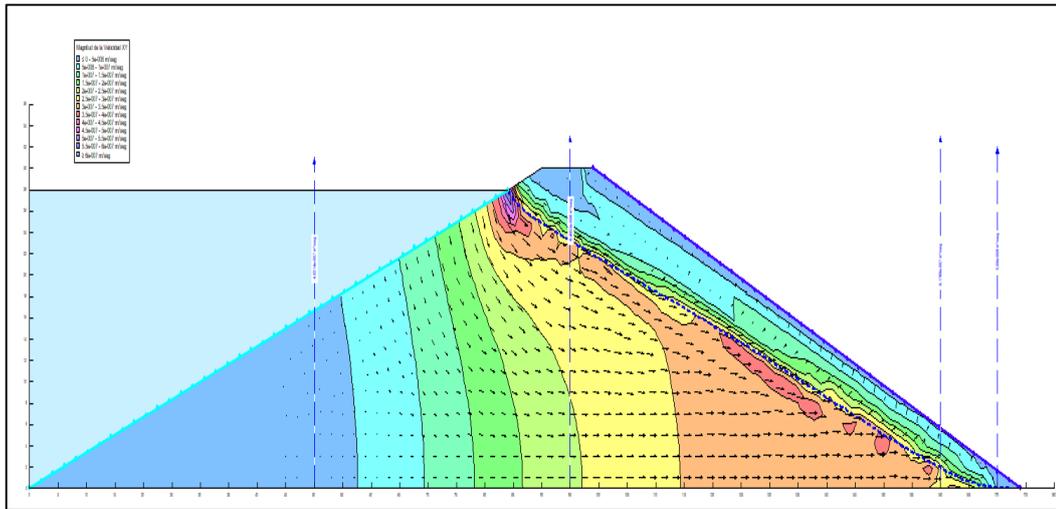
Constante Acción:

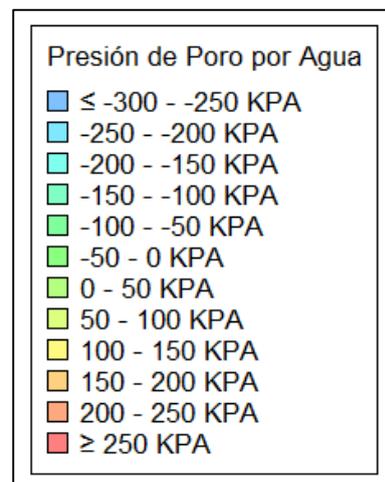
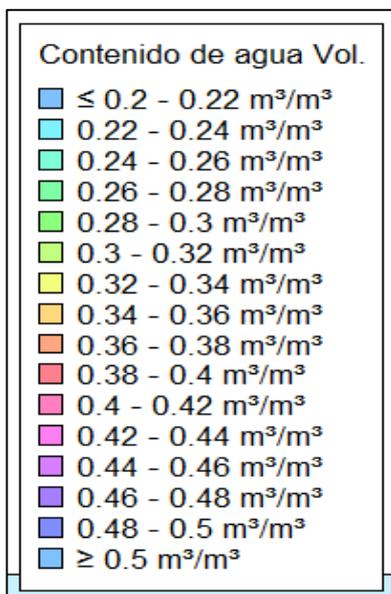
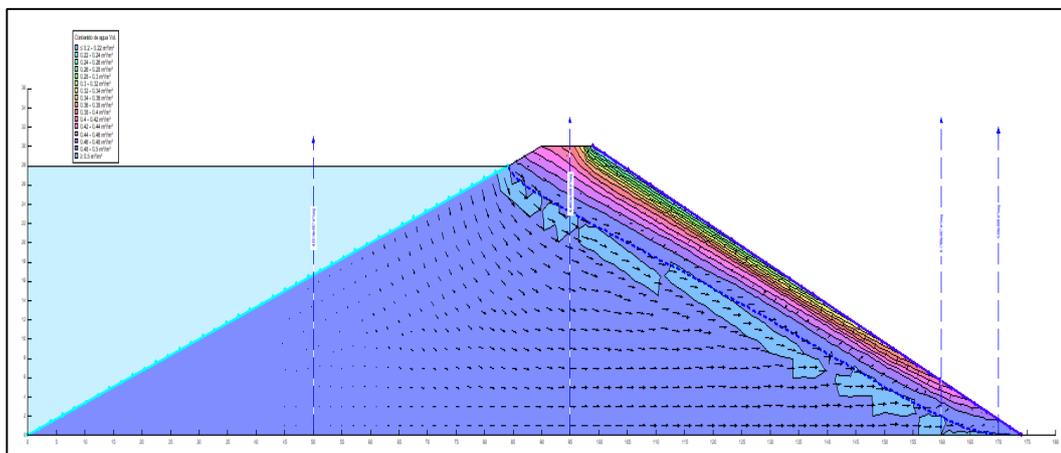
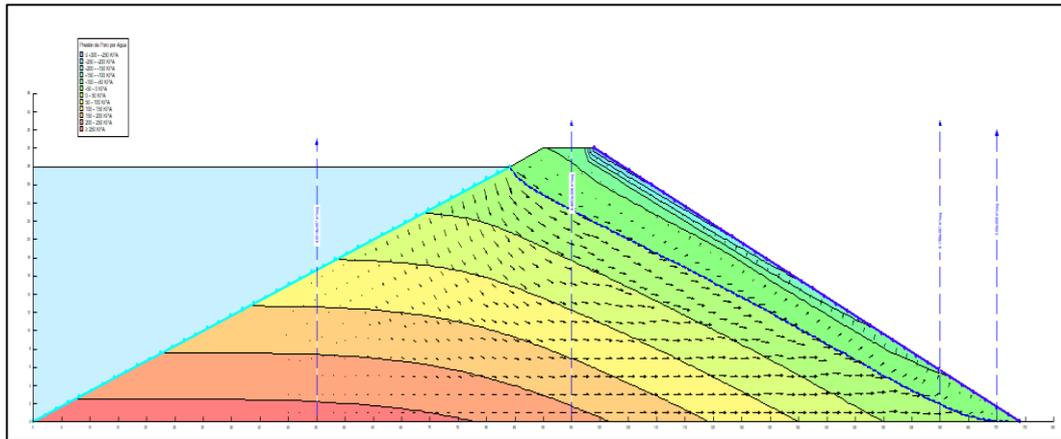
Función

Revisión de Potencial de Filtración

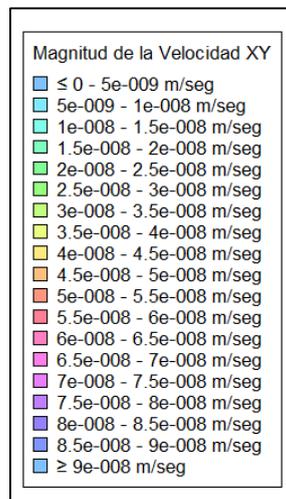
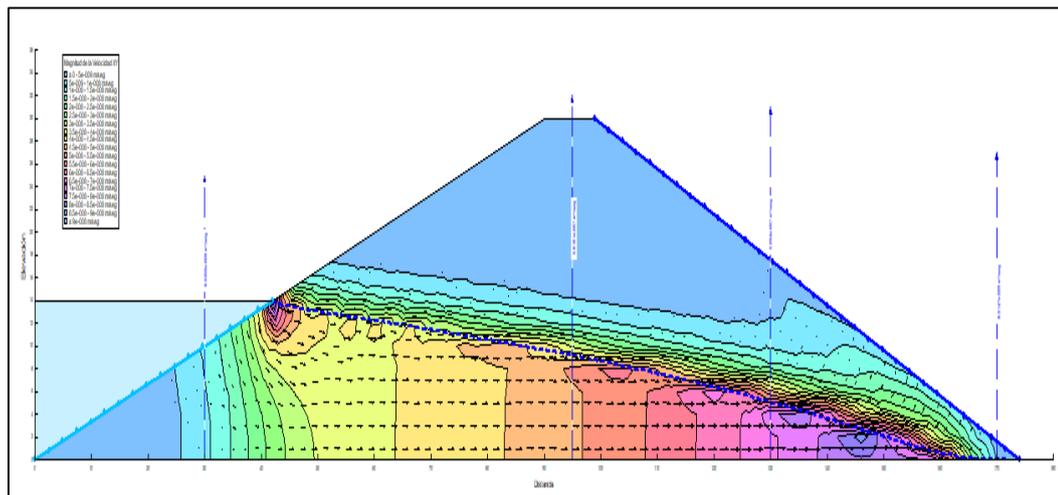
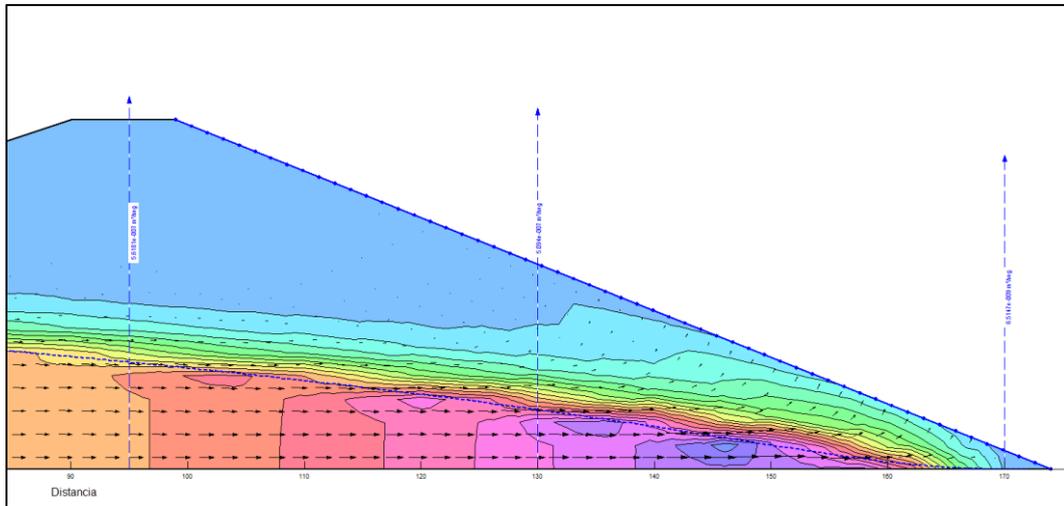
Deshace | Rehacer | Cerrar

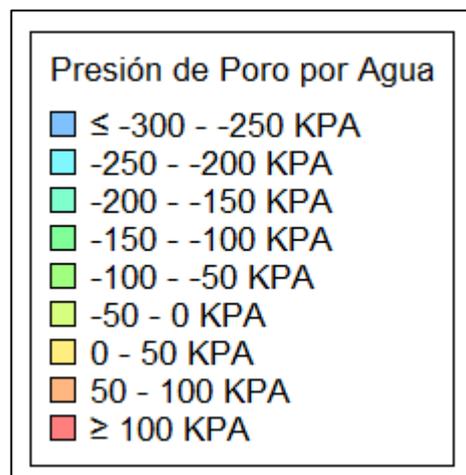
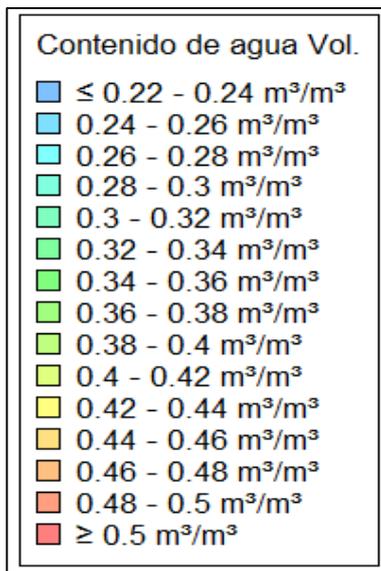
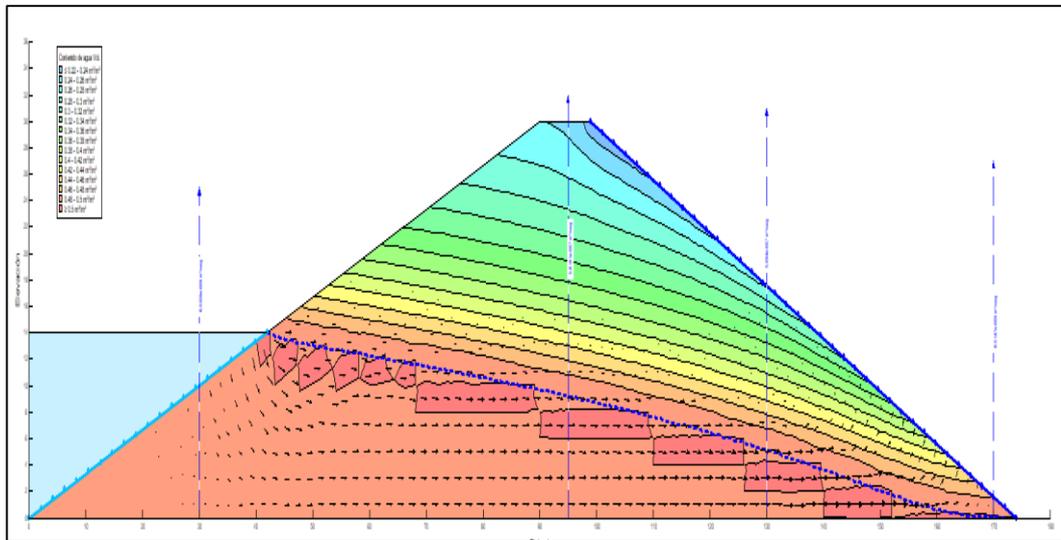
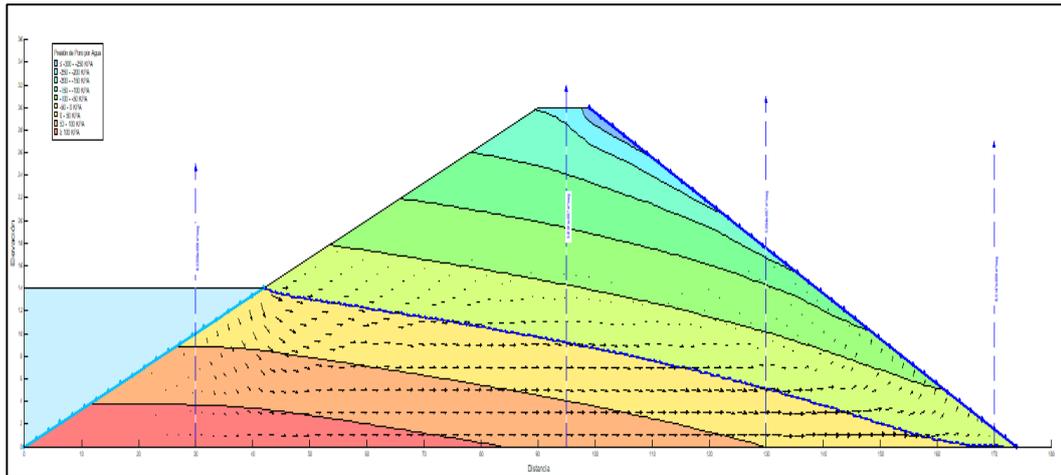
Filtración de la presa en estado lleno



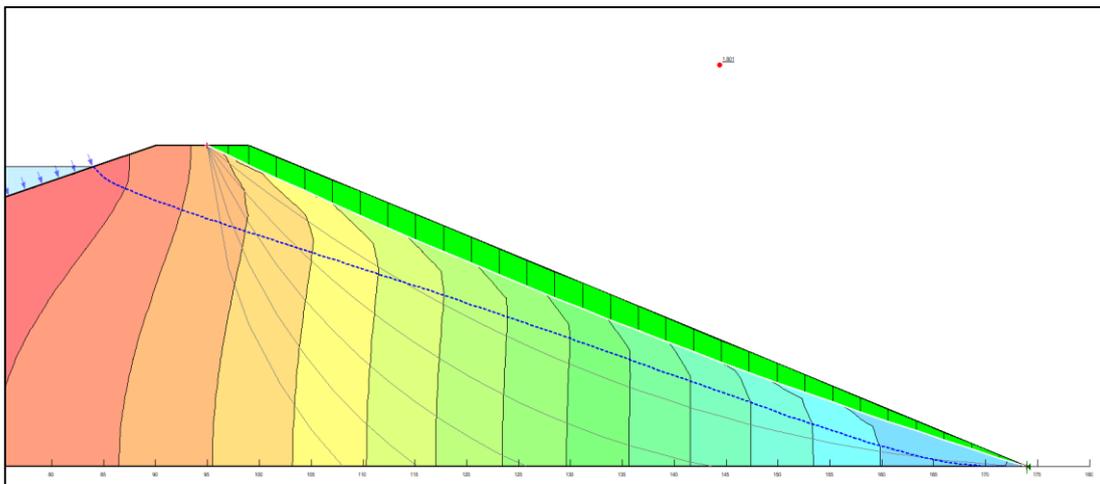
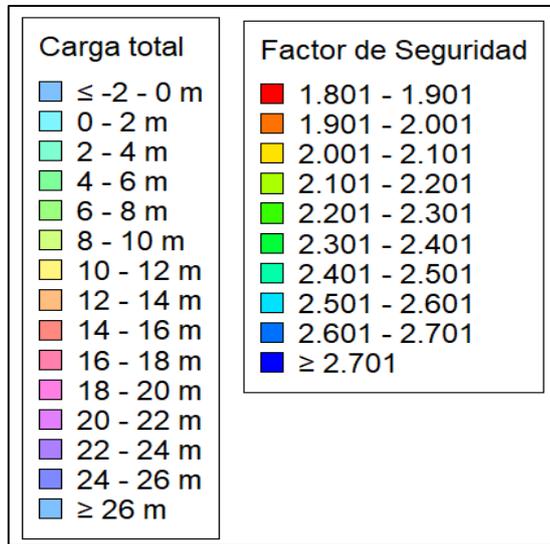
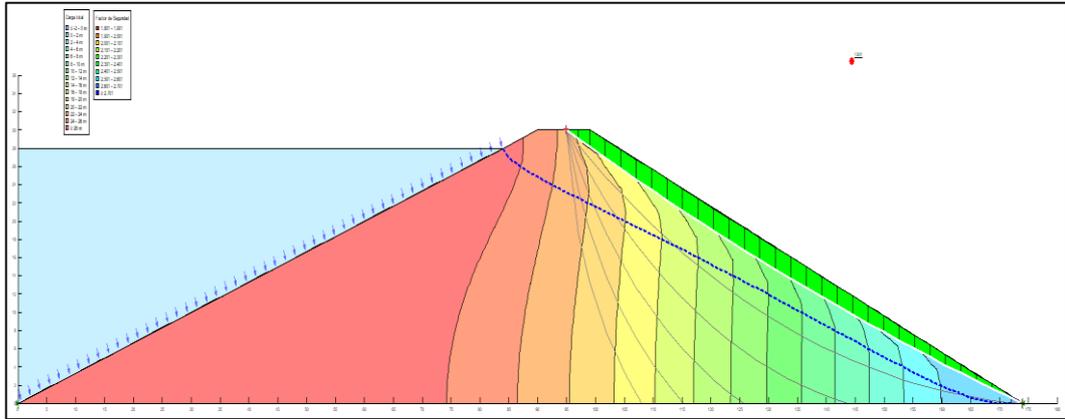


Filtración en Presa en estado Medio Lleno

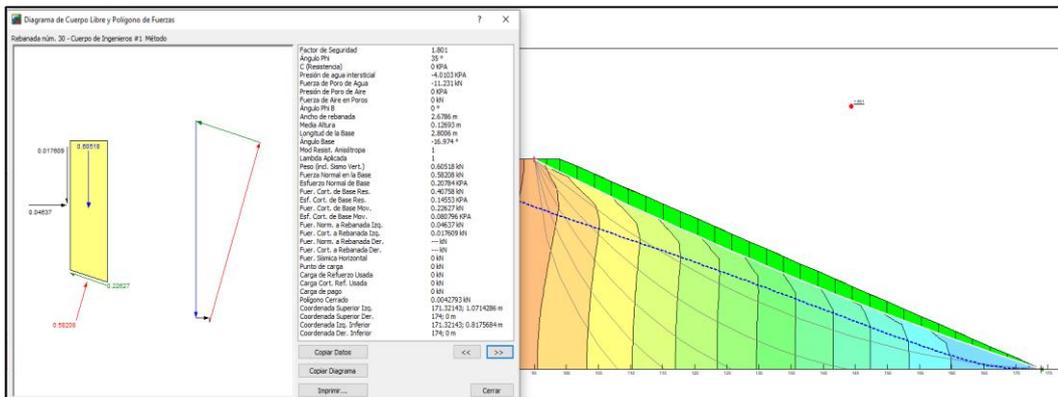
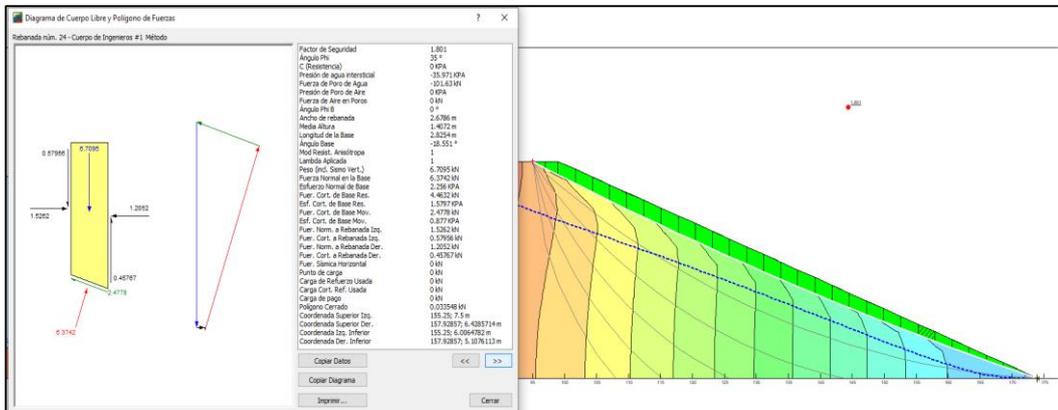
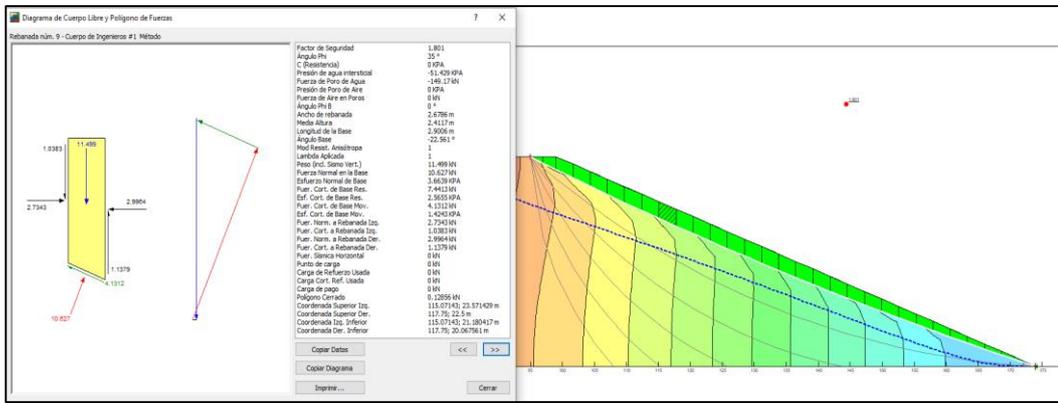
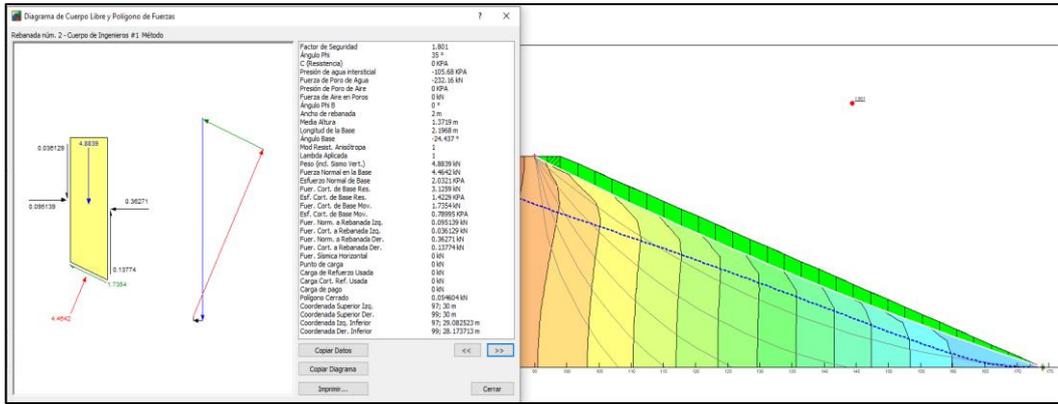




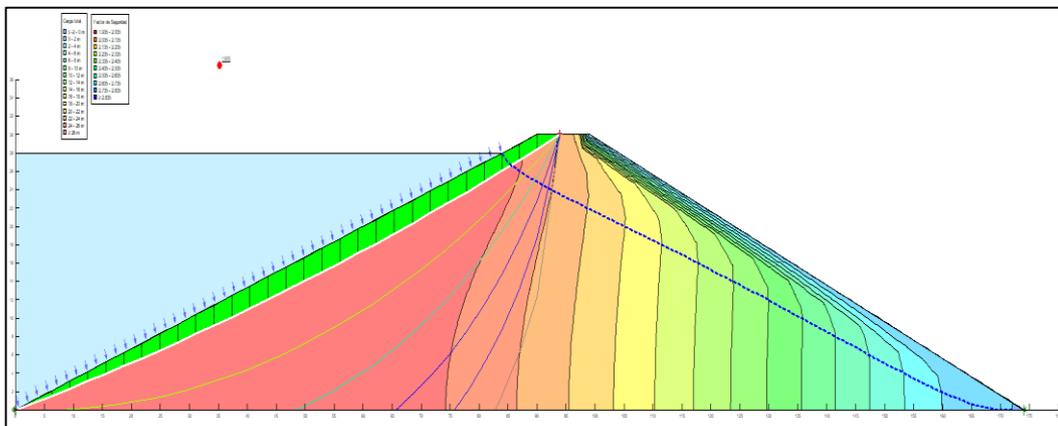
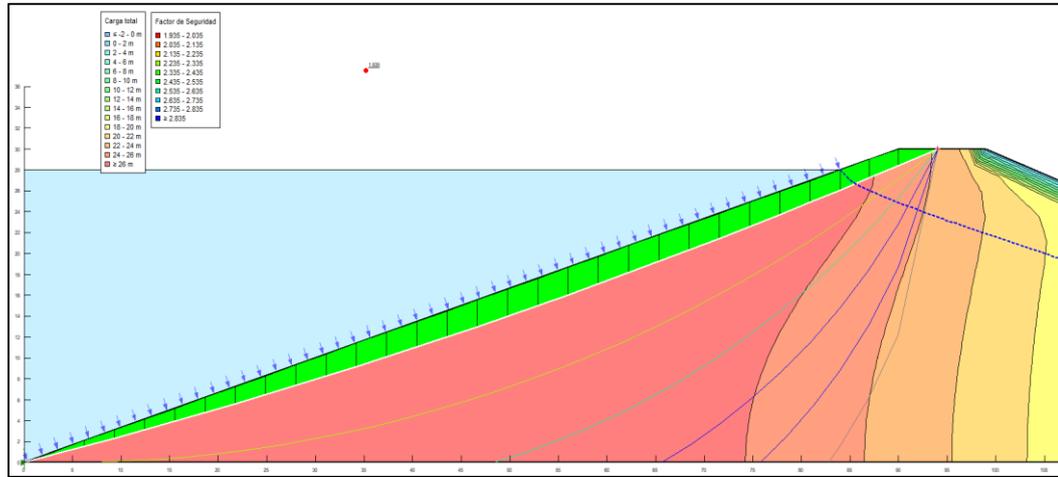
Estabilidad por Método Bishop Aguas Abajo-Presa Llena



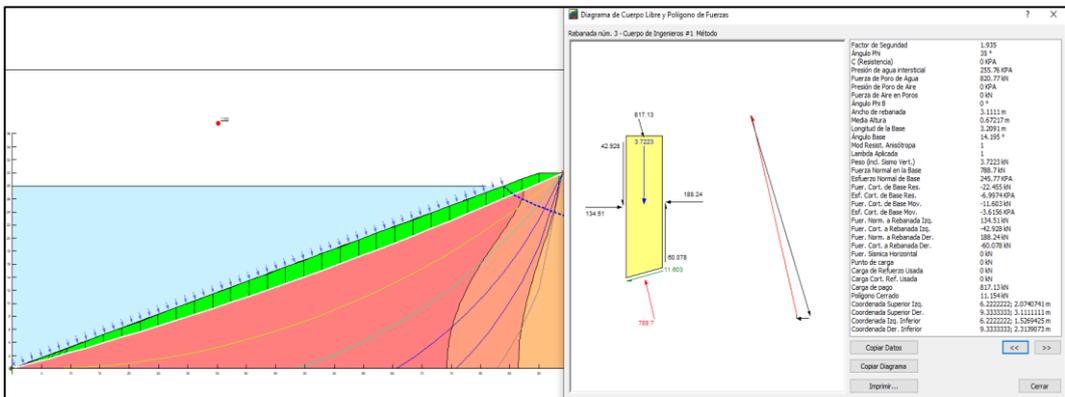
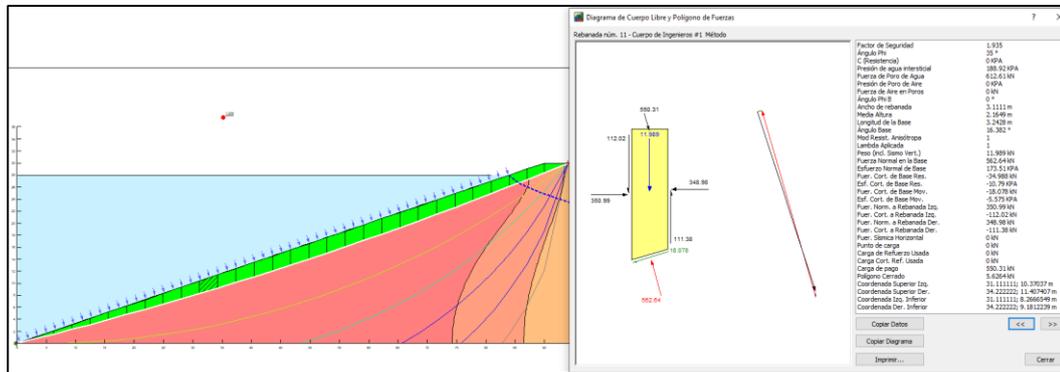
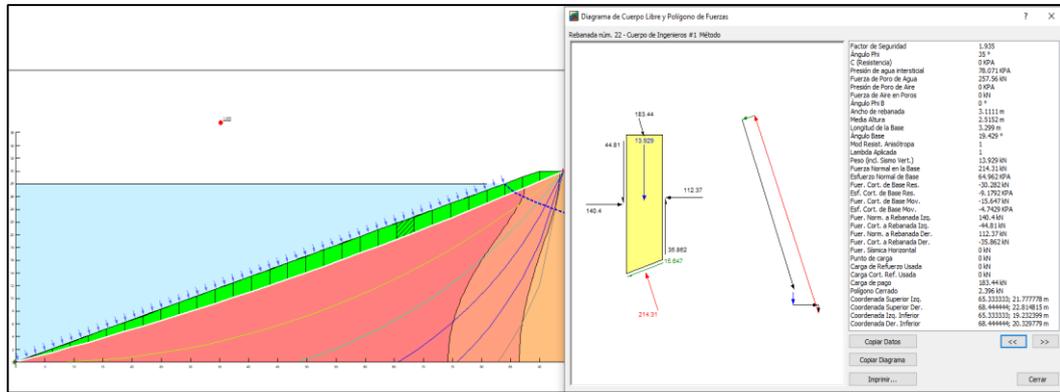
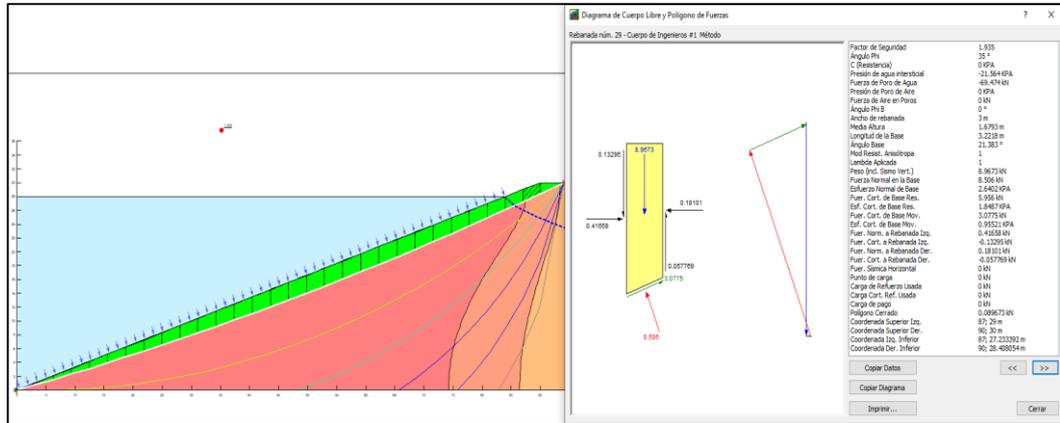
Rebanas del Metodo Bishop Aguas Abajo-Presa Llena



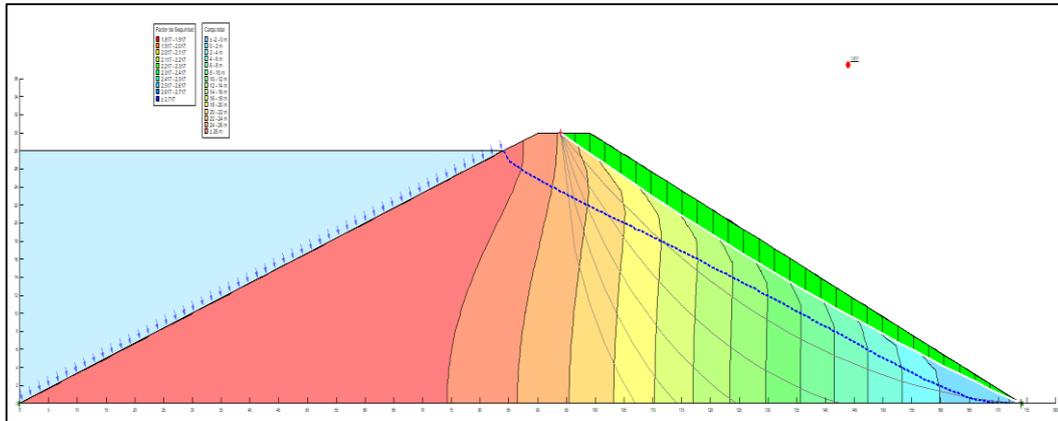
Estabilidad por Método Bishop Aguas Arriba-Presa Llena



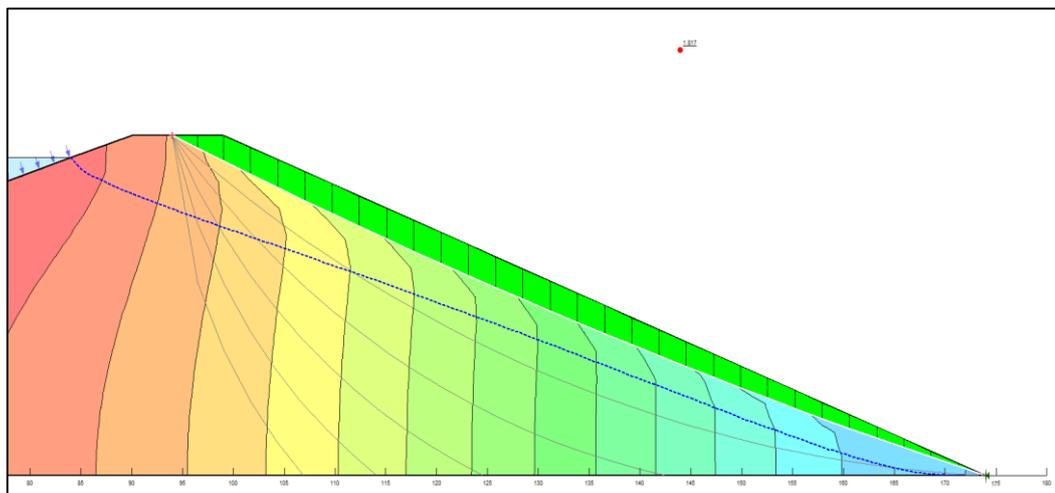
Rebanas del Metodo Bishop Aguas Arriba-Presa Llena



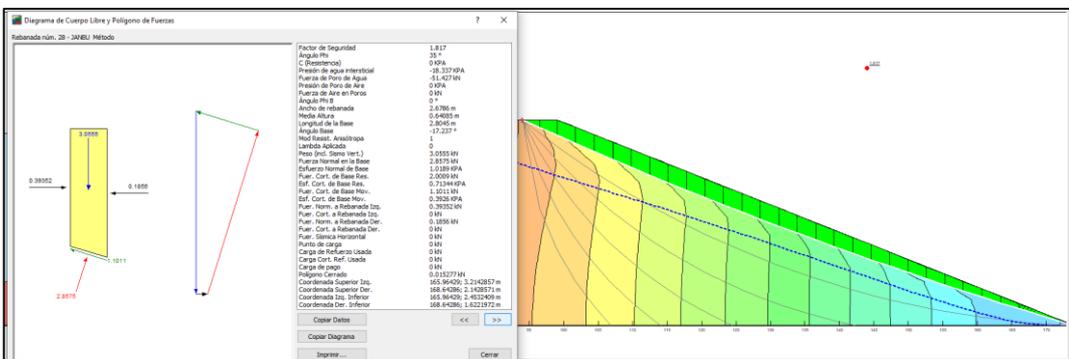
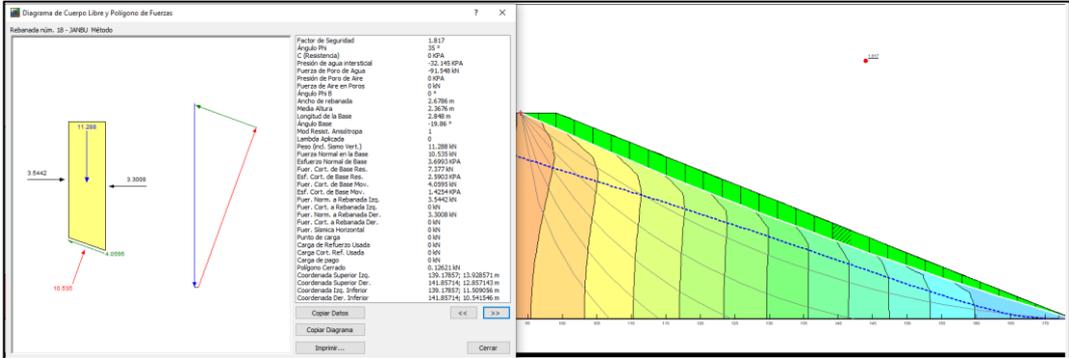
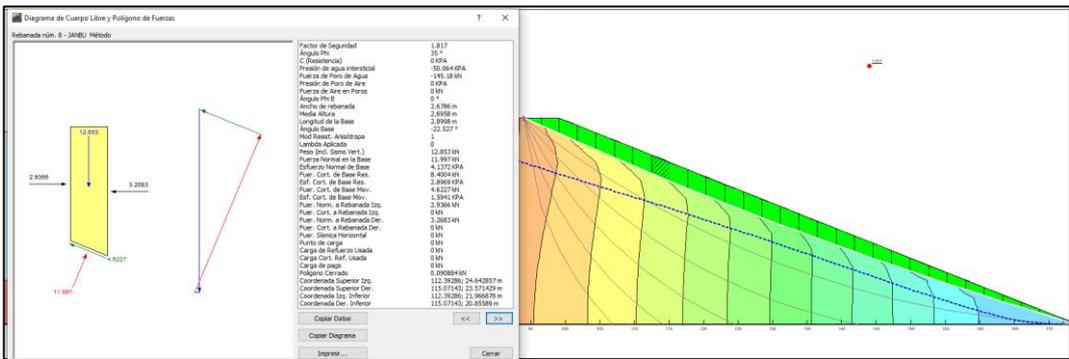
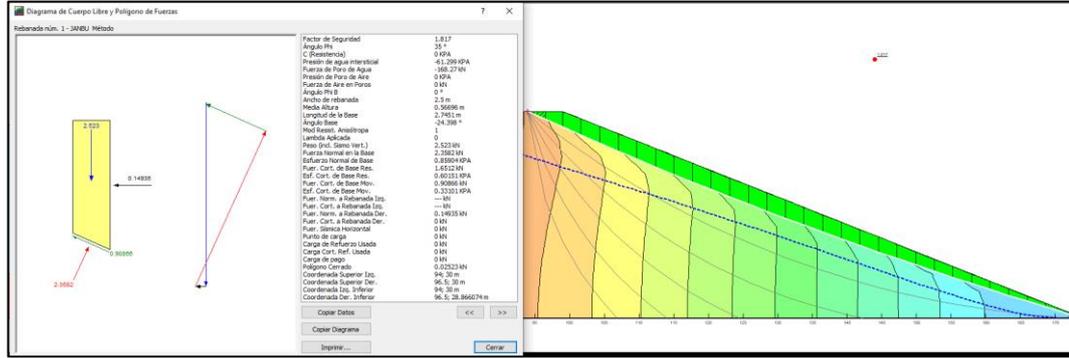
Estabilidad por Método Jambu Aguas Abajo - Presa Llena



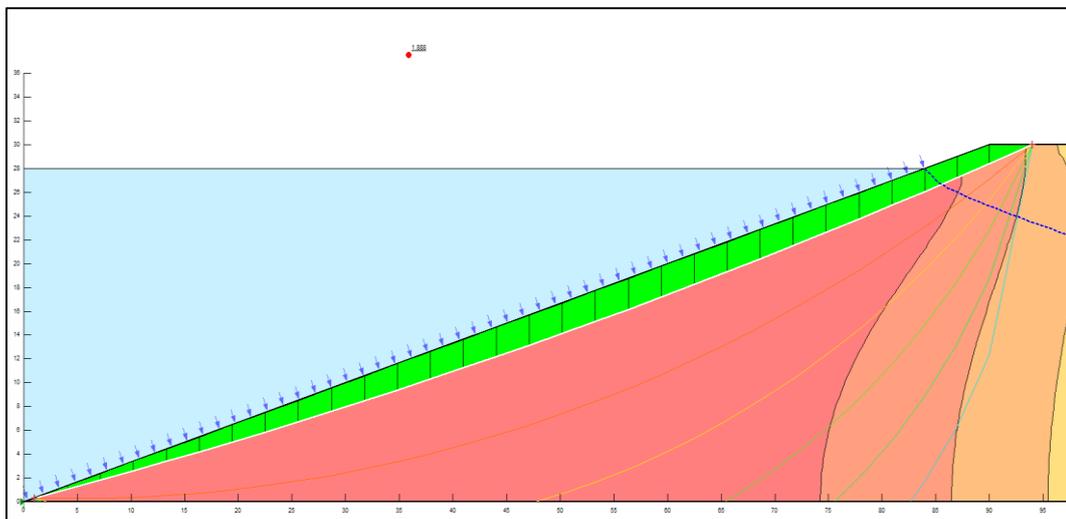
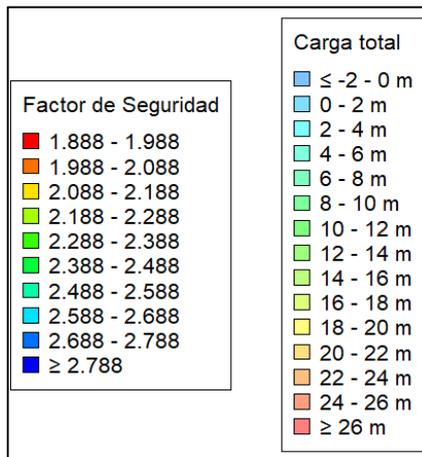
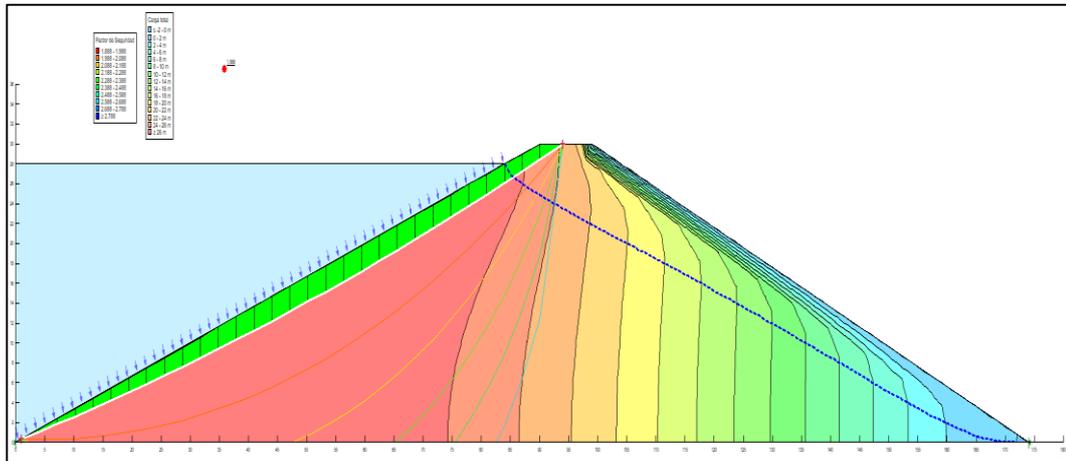
Factor de Seguridad	Carga total
1.817 - 1.917	≤ -2 - 0 m
1.917 - 2.017	0 - 2 m
2.017 - 2.117	2 - 4 m
2.117 - 2.217	4 - 6 m
2.217 - 2.317	6 - 8 m
2.317 - 2.417	8 - 10 m
2.417 - 2.517	10 - 12 m
2.517 - 2.617	12 - 14 m
2.617 - 2.717	14 - 16 m
≥ 2.717	16 - 18 m
	18 - 20 m
	20 - 22 m
	22 - 24 m
	24 - 26 m
	≥ 26 m



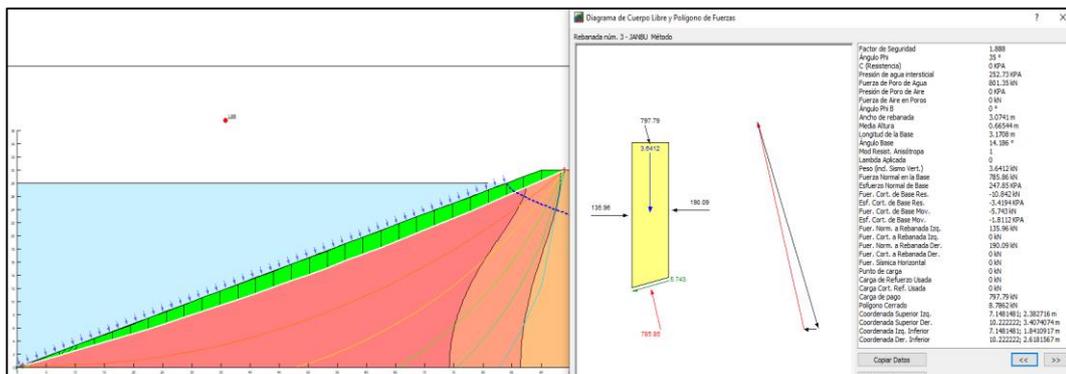
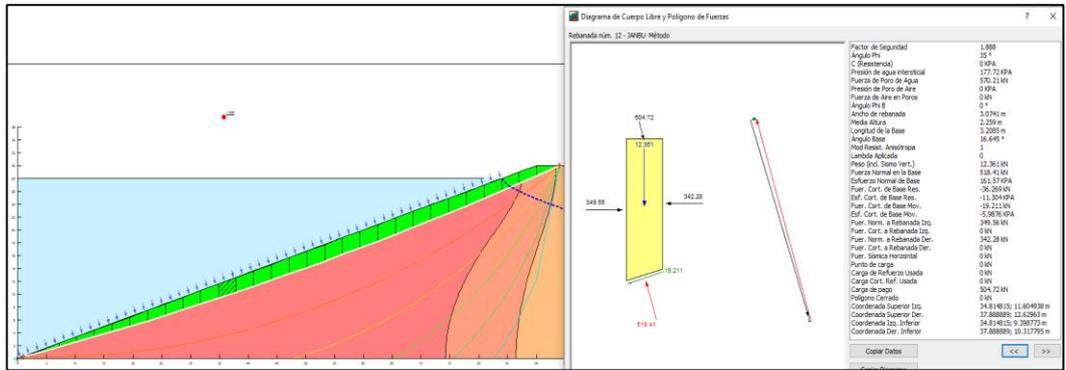
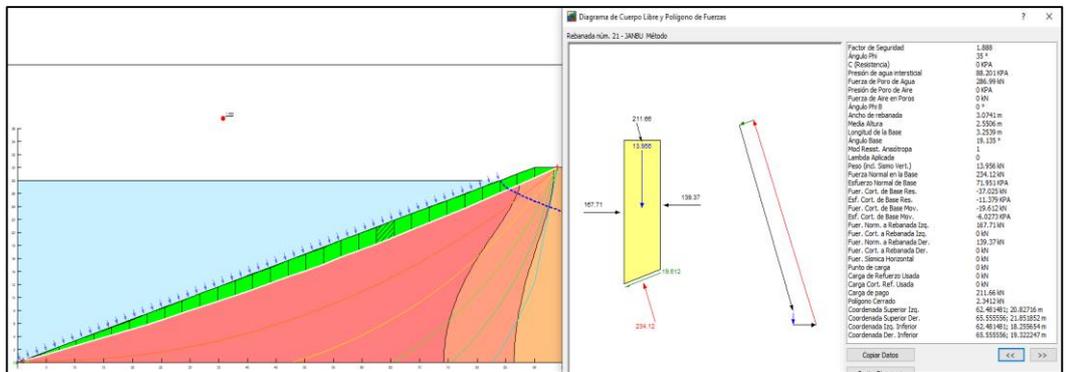
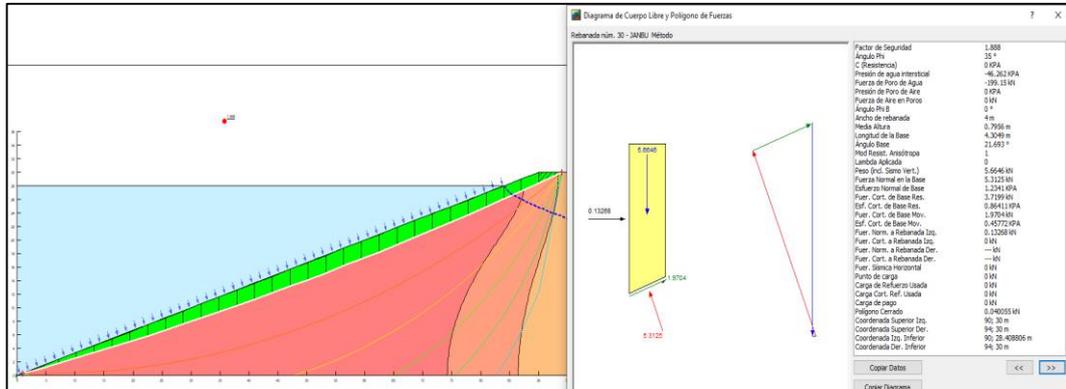
Rebanas del Metodo Jambu Aguas Abajo-Presa Llena



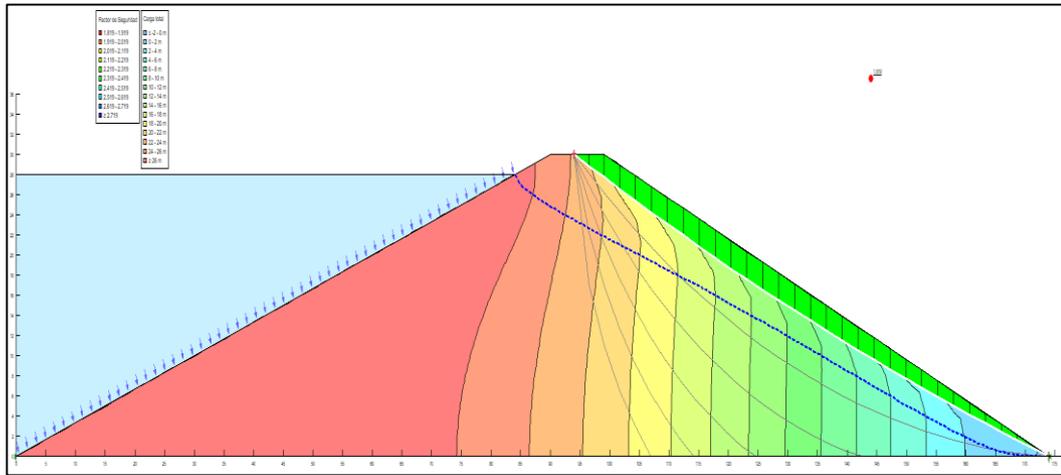
Estabilidad por Método Jambu Aguas Arriba - Presa Llena



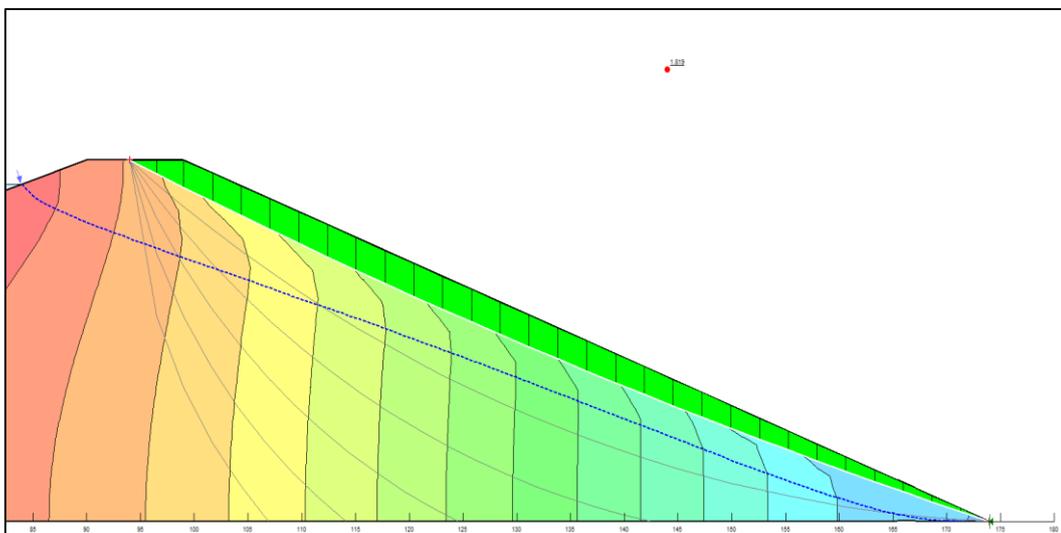
Rebanas del Metodo Jambu Aguas Arriba-Presa Llena



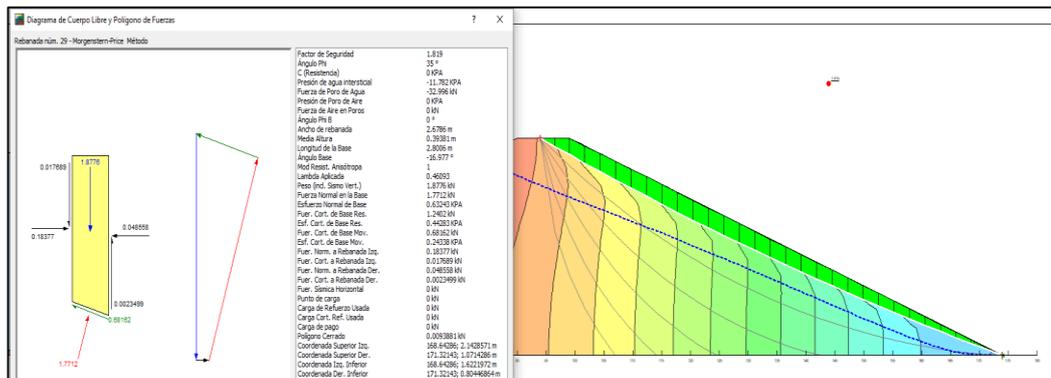
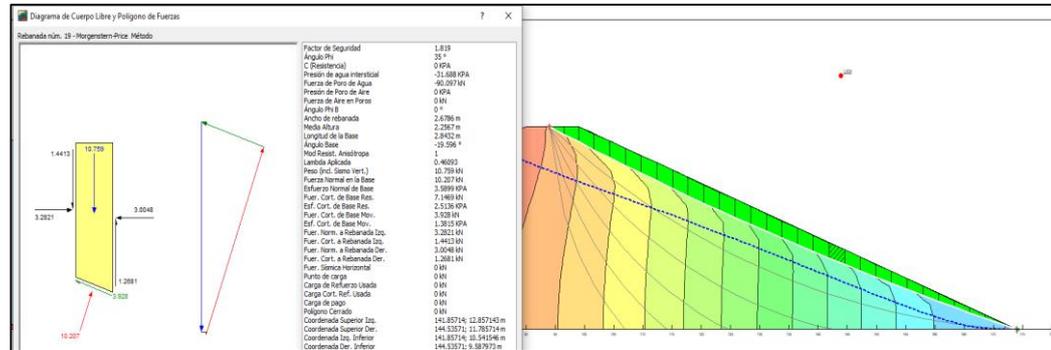
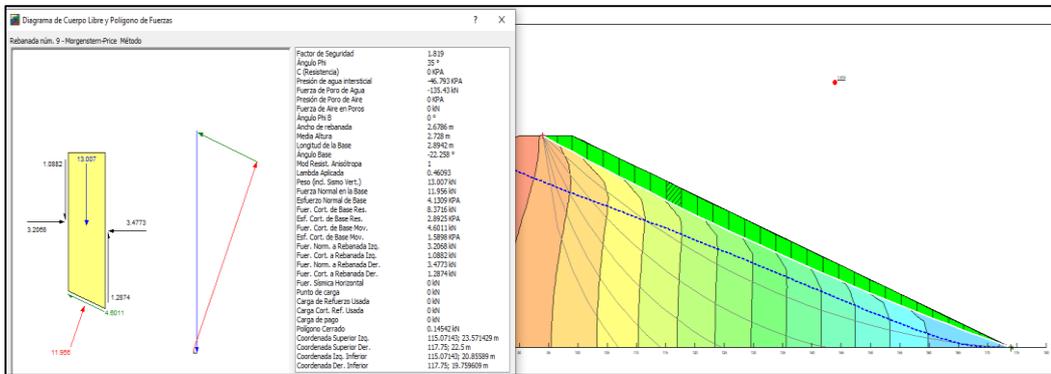
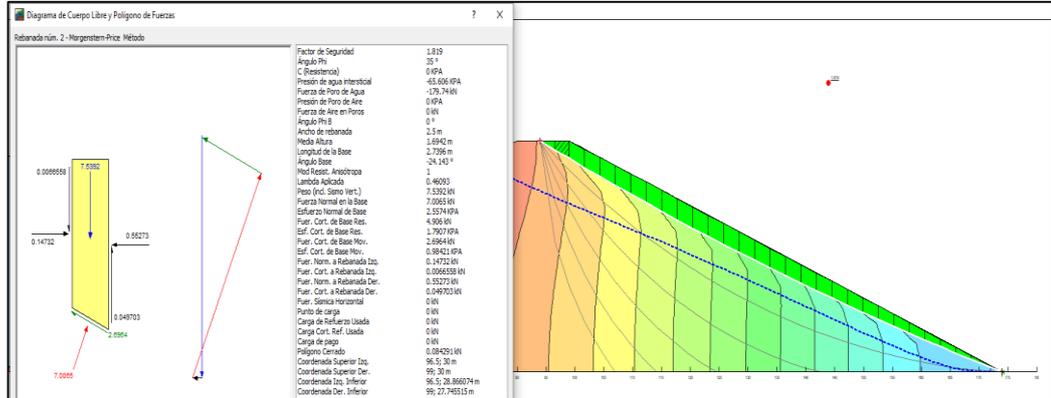
Estabilidad por método Morgenstein-Price Aguas Abajo - Presa Llena



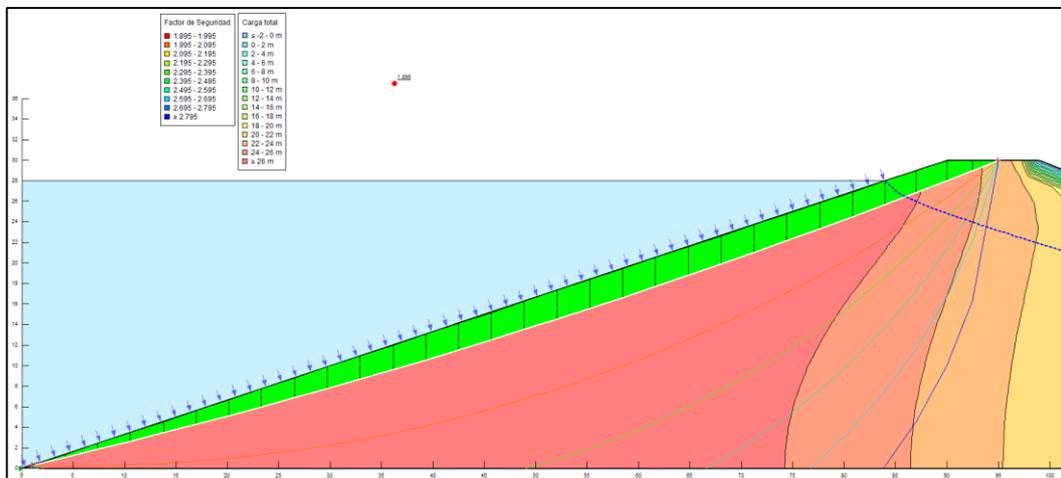
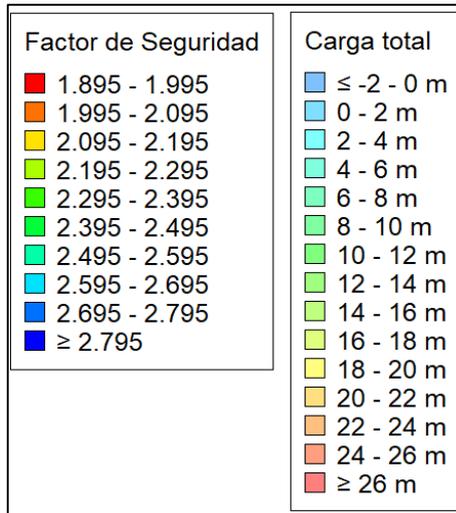
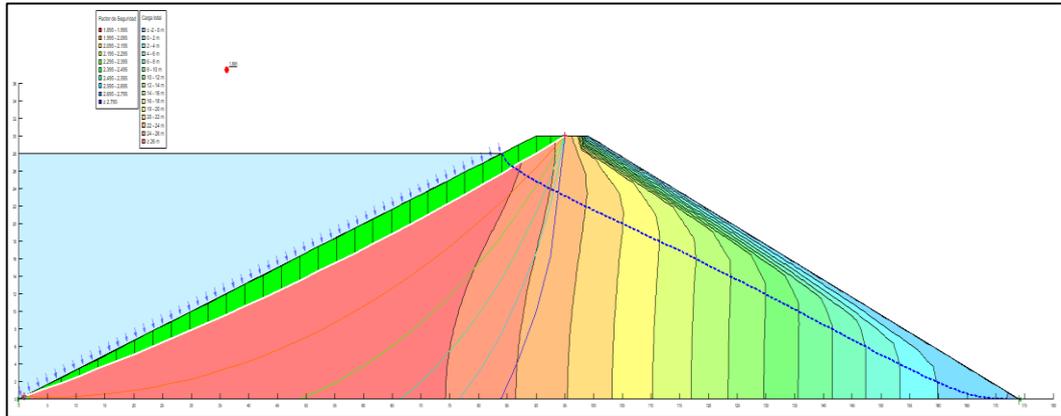
Factor de Seguridad	Carga total
1.819 - 1.919	≤ -2 - 0 m
1.919 - 2.019	0 - 2 m
2.019 - 2.119	2 - 4 m
2.119 - 2.219	4 - 6 m
2.219 - 2.319	6 - 8 m
2.319 - 2.419	8 - 10 m
2.419 - 2.519	10 - 12 m
2.519 - 2.619	12 - 14 m
2.619 - 2.719	14 - 16 m
≥ 2.719	16 - 18 m
	18 - 20 m
	20 - 22 m
	22 - 24 m
	24 - 26 m
	≥ 26 m



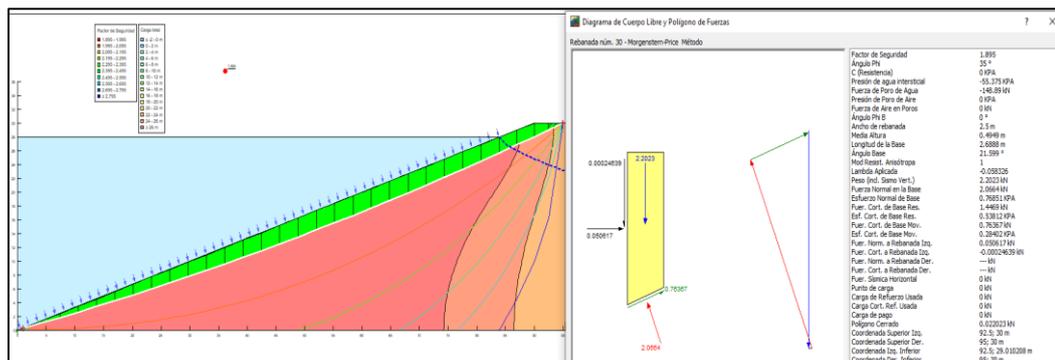
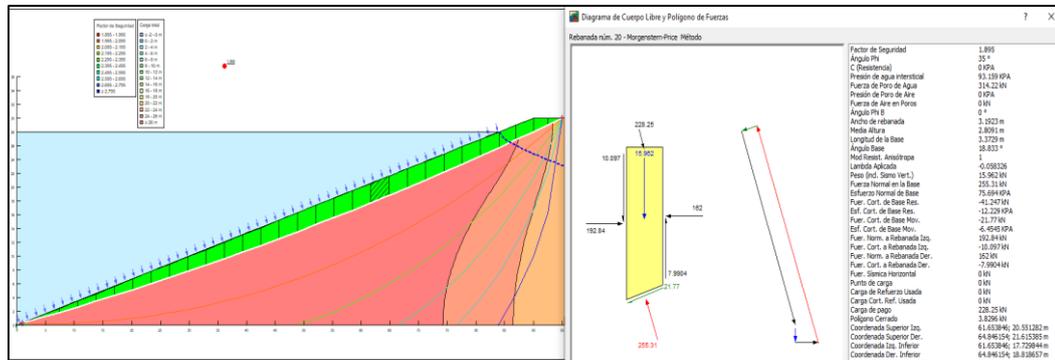
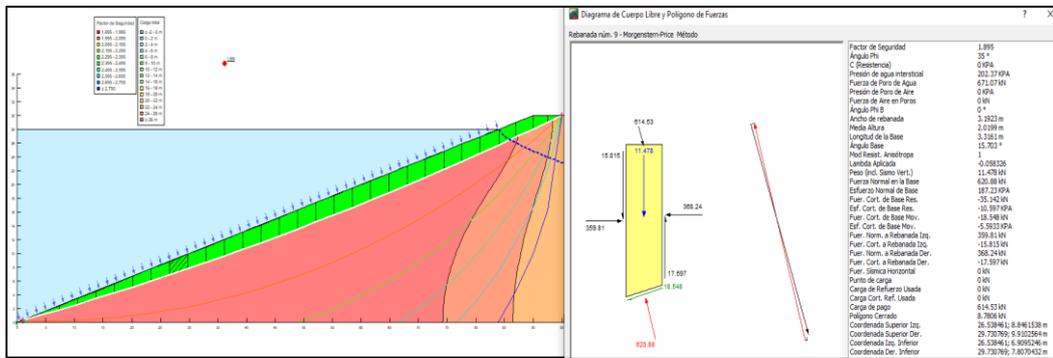
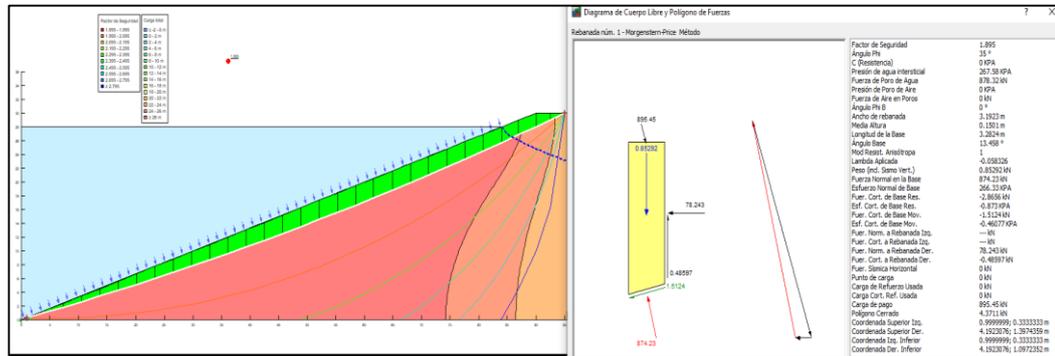
Rebanas del método Morgenstein-Price Aguas Abajo -Presa Llena



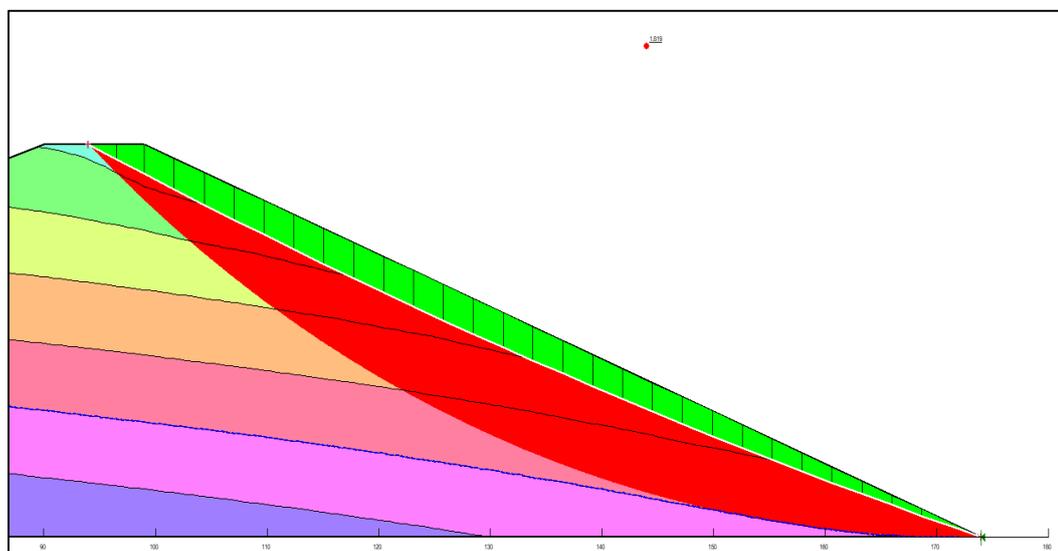
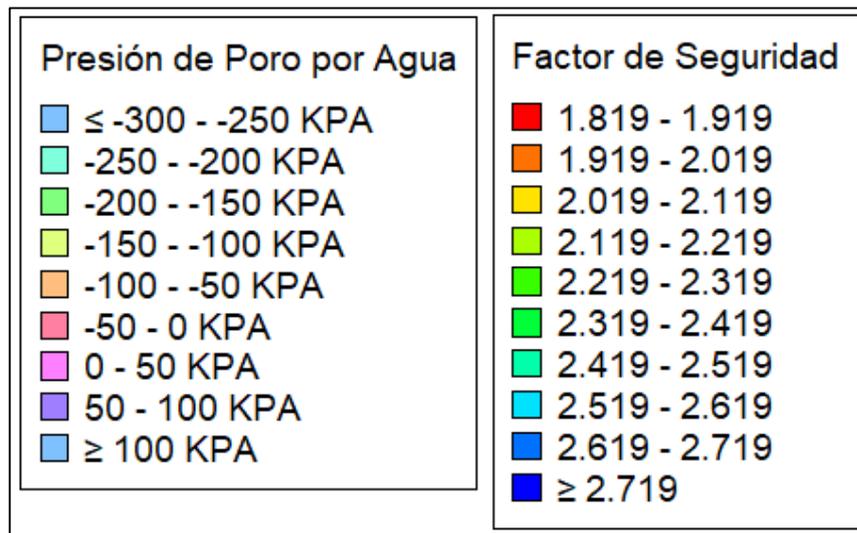
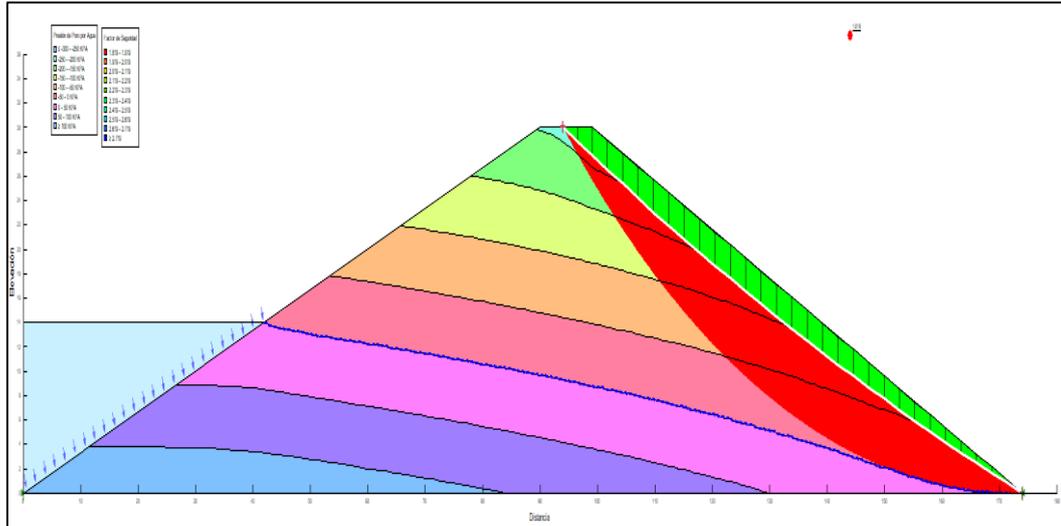
Estabilidad por método Morgenstein-Price Aguas Arriba-Presa Llena



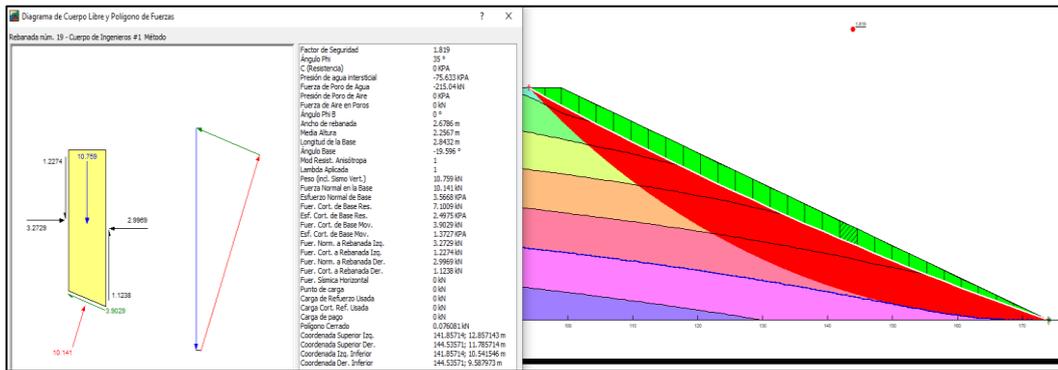
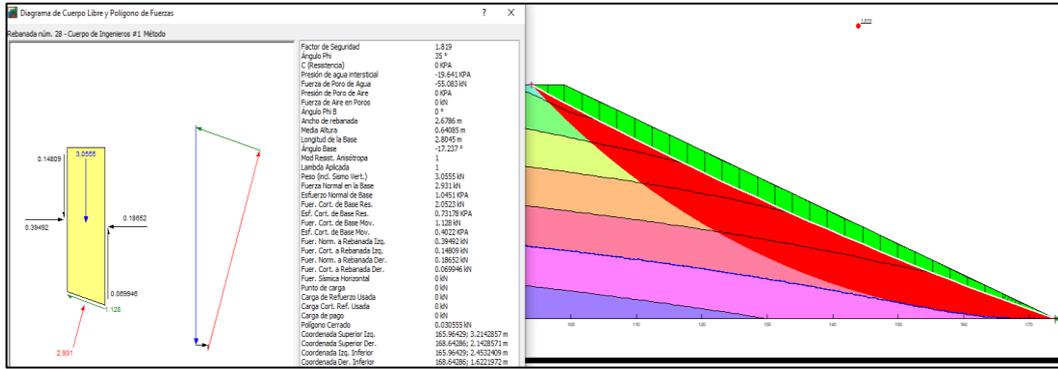
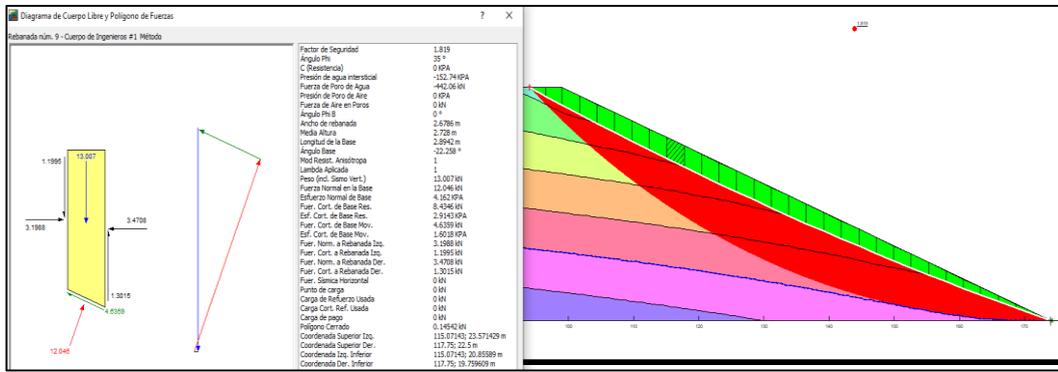
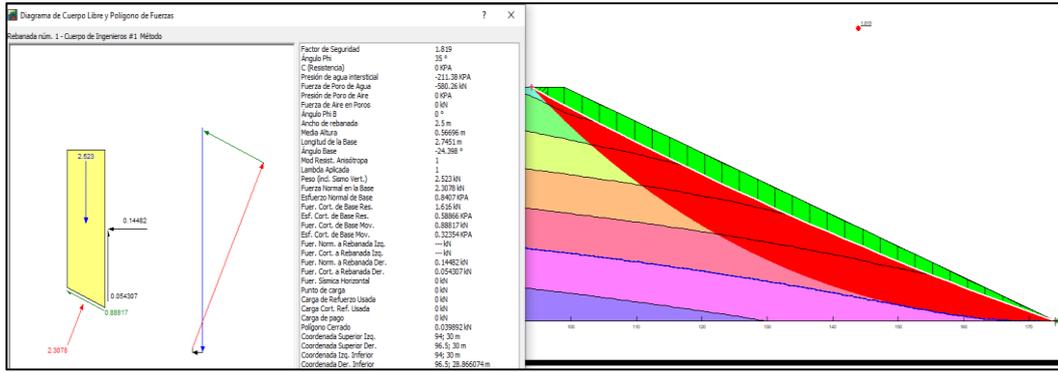
Rebanas del método Morgenstein-Price Aguas Arriba -Presa Llena



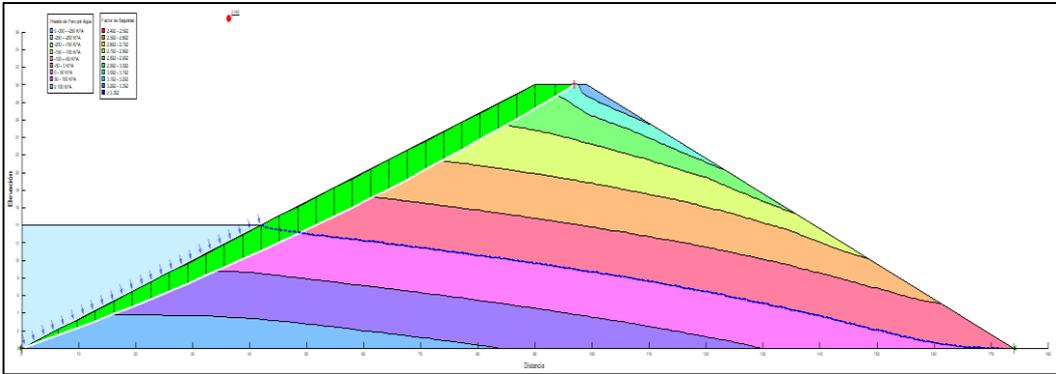
Estabilidad por Método Bishop Aguas Abajo-Presa Media Llena



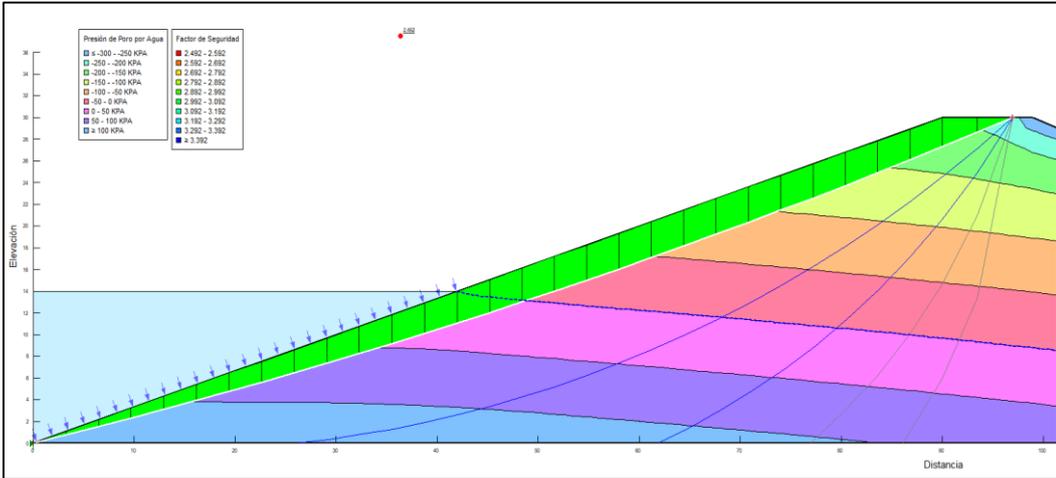
Rebanas del Metodo Bishop Aguas Abajo-Presa Media Llena



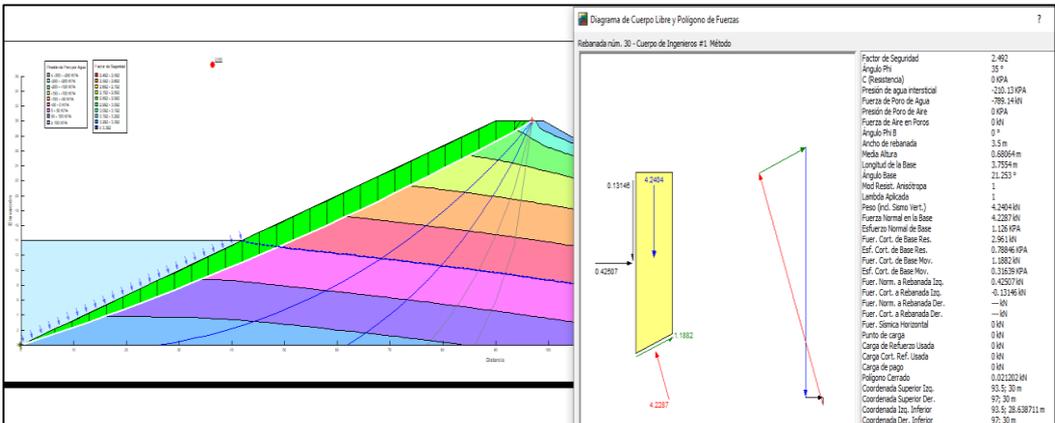
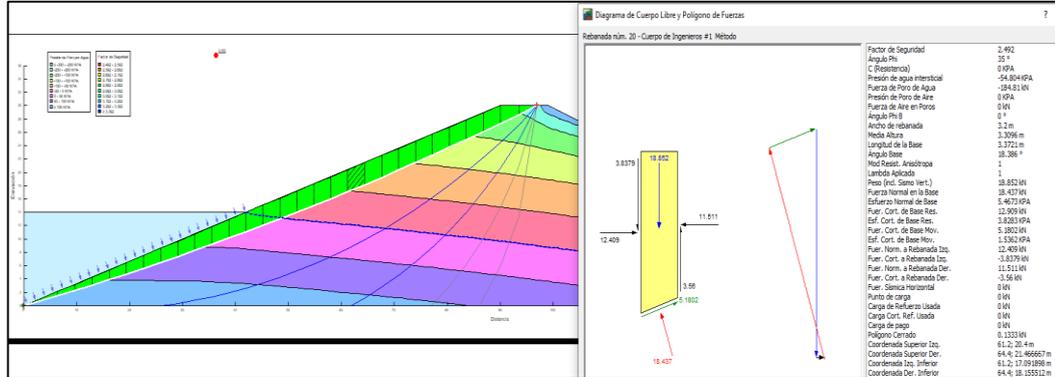
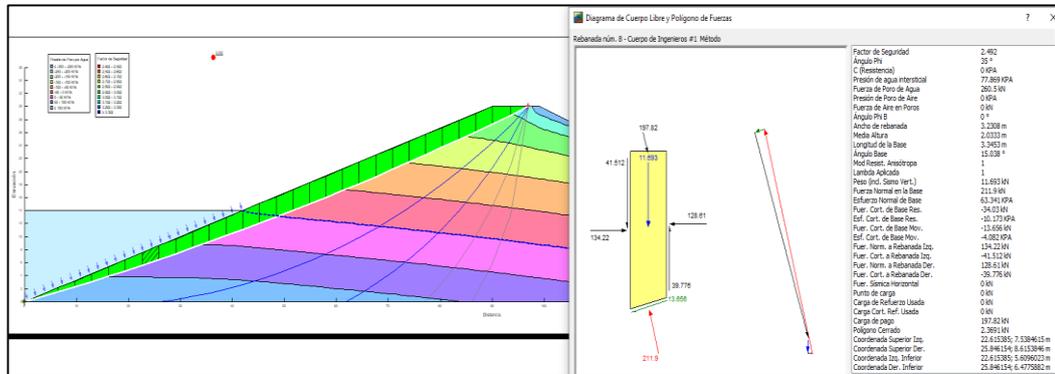
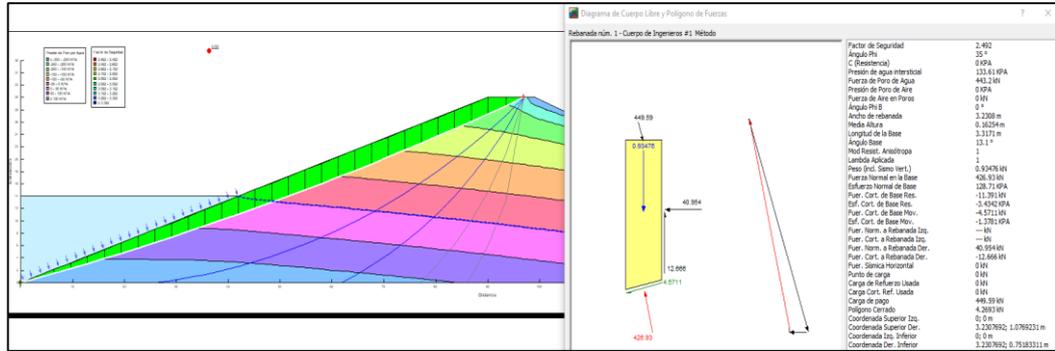
Estabilidad por Método Bishop Aguas Arriba-Presa Media Llena



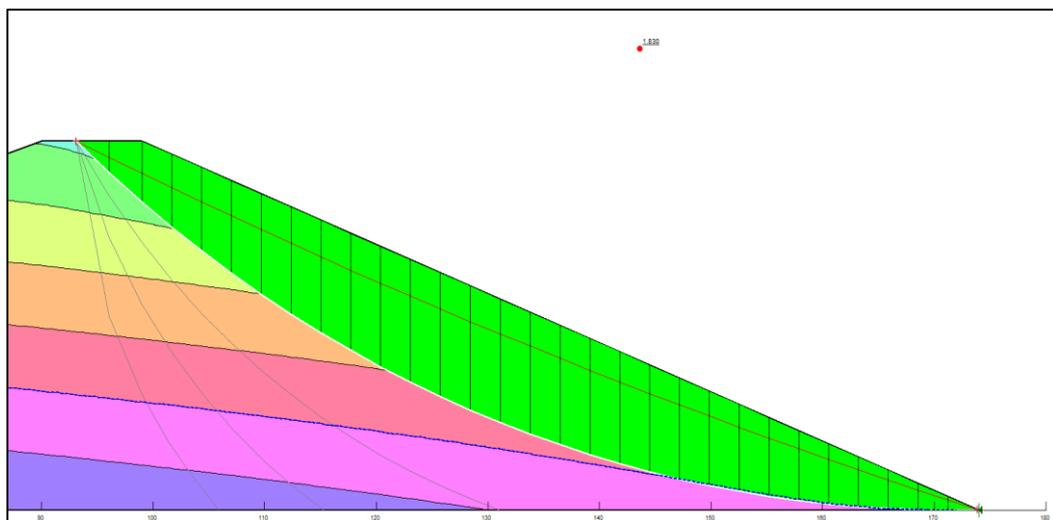
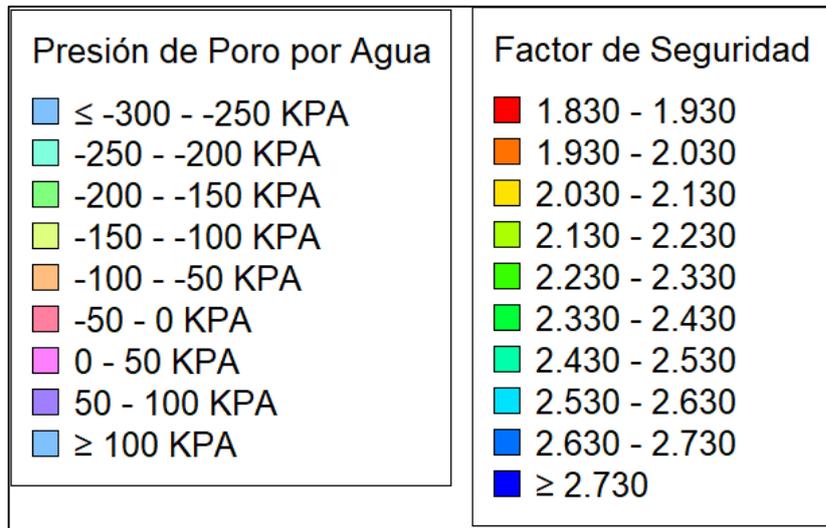
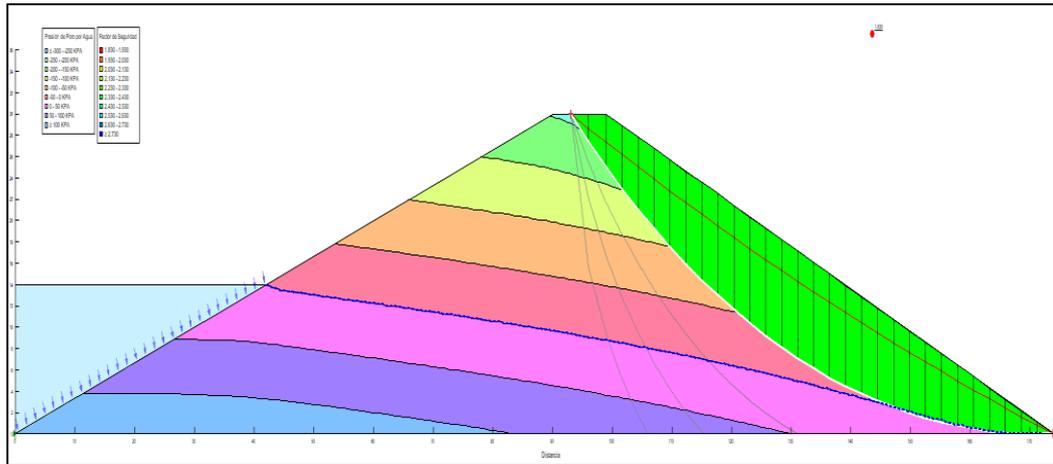
Presión de Poro por Agua	Factor de Seguridad
≤ -300 - -250 KPA	2.492 - 2.592
-250 - -200 KPA	2.592 - 2.692
-200 - -150 KPA	2.692 - 2.792
-150 - -100 KPA	2.792 - 2.892
-100 - -50 KPA	2.892 - 2.992
-50 - 0 KPA	2.992 - 3.092
0 - 50 KPA	3.092 - 3.192
50 - 100 KPA	3.192 - 3.292
≥ 100 KPA	3.292 - 3.392
	≥ 3.392



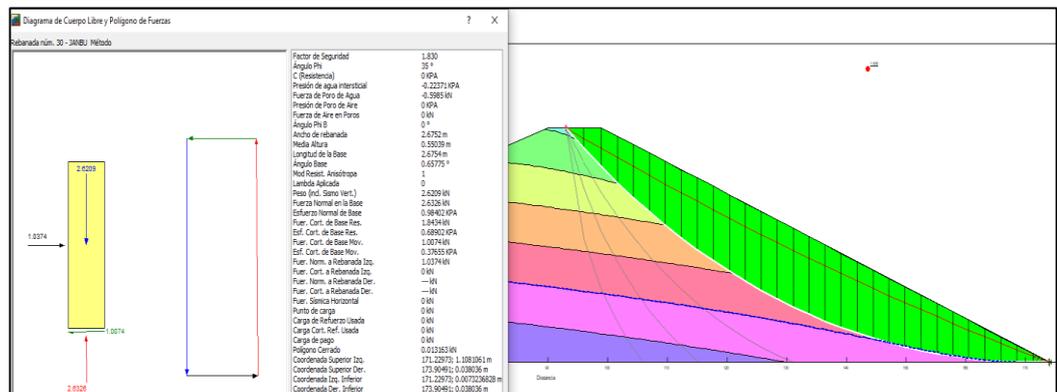
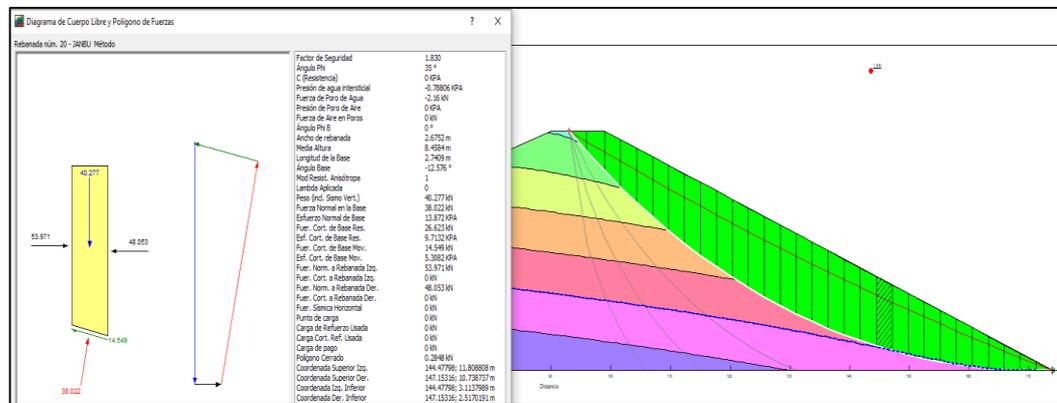
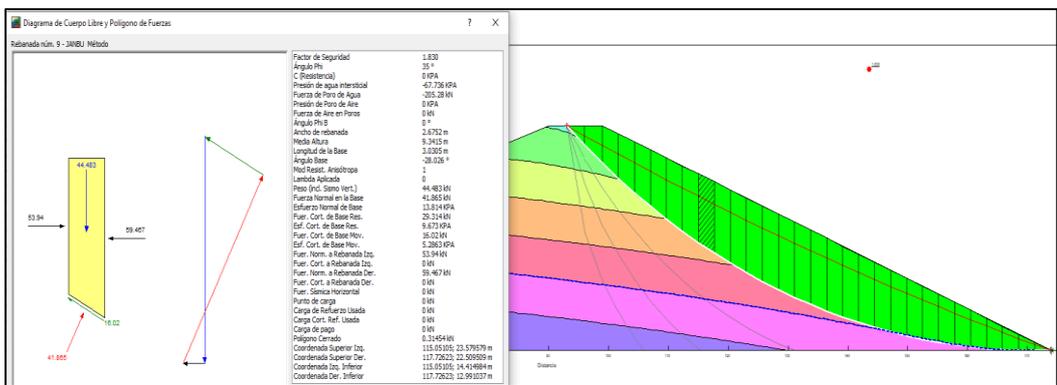
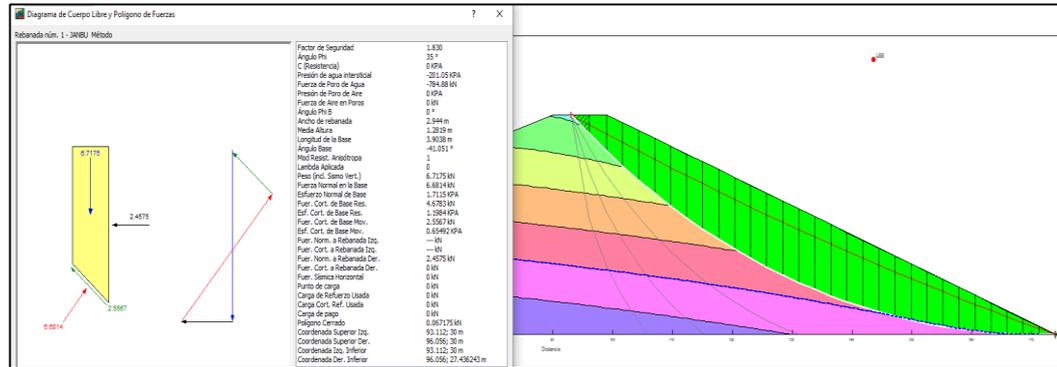
Rebanas del Metodo Bishop Aguas Arriba-Presa Media Llena



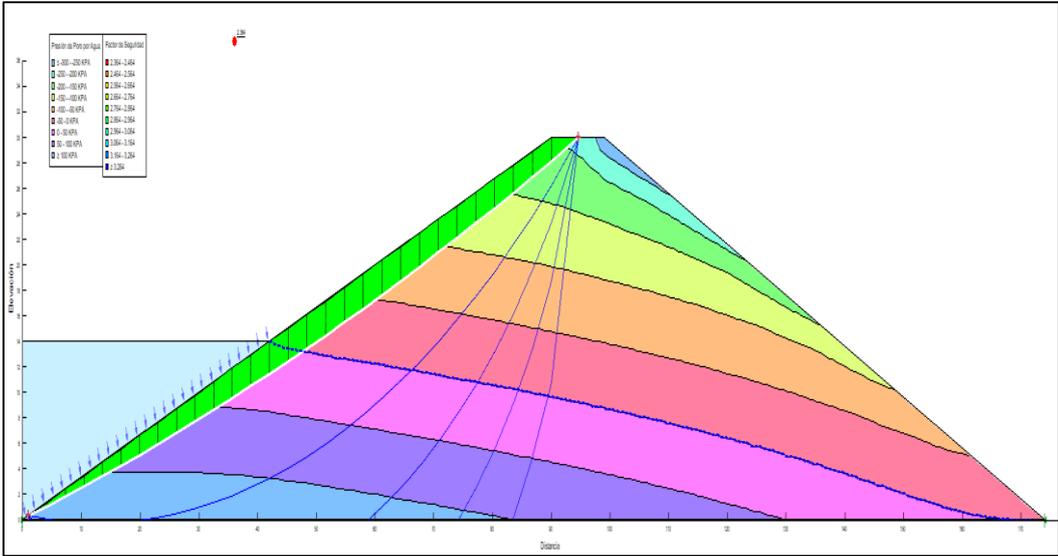
Estabilidad por Método Jambu Aguas Abajo –Presa Media Llena



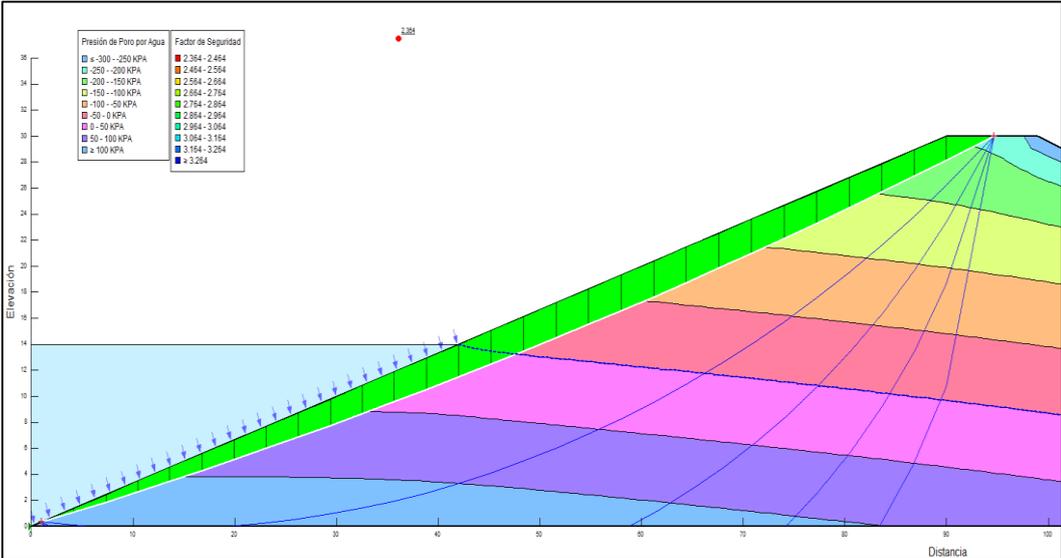
Rebanas del Metodo Jambu Aguas Abajo-Presa Media Llena



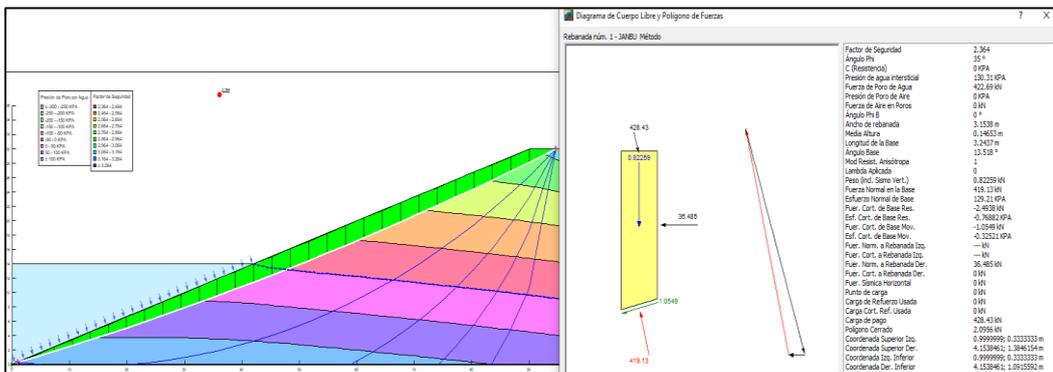
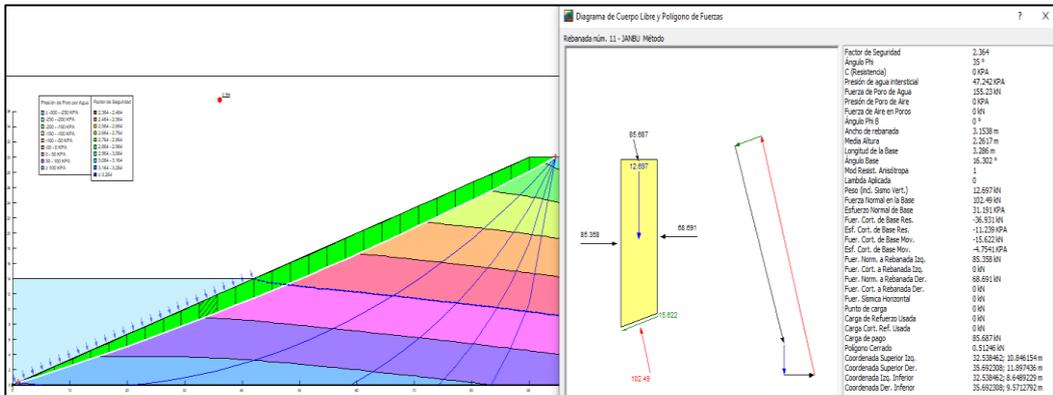
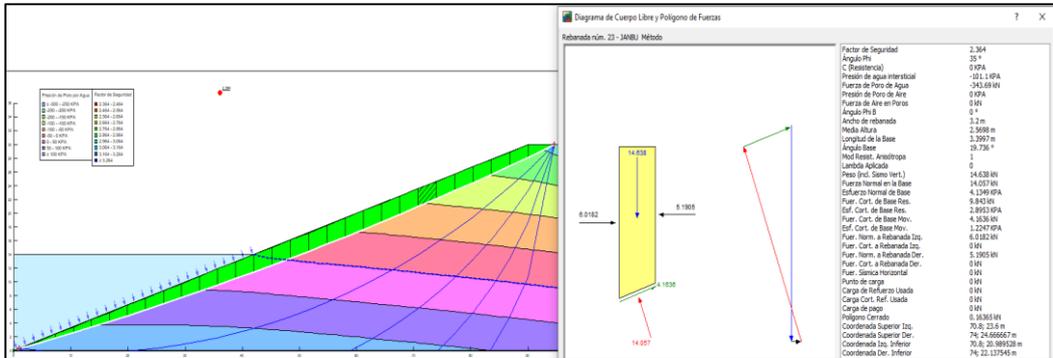
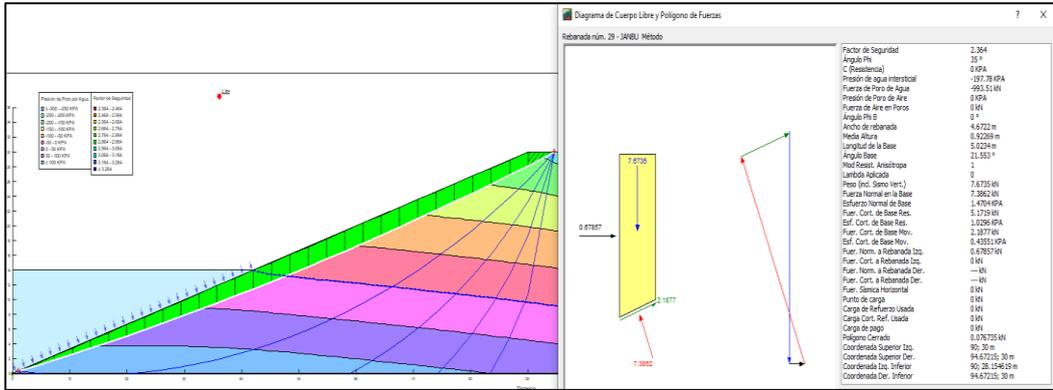
Estabilidad por Método Jambu Aguas Arriba -Presa Media Llena



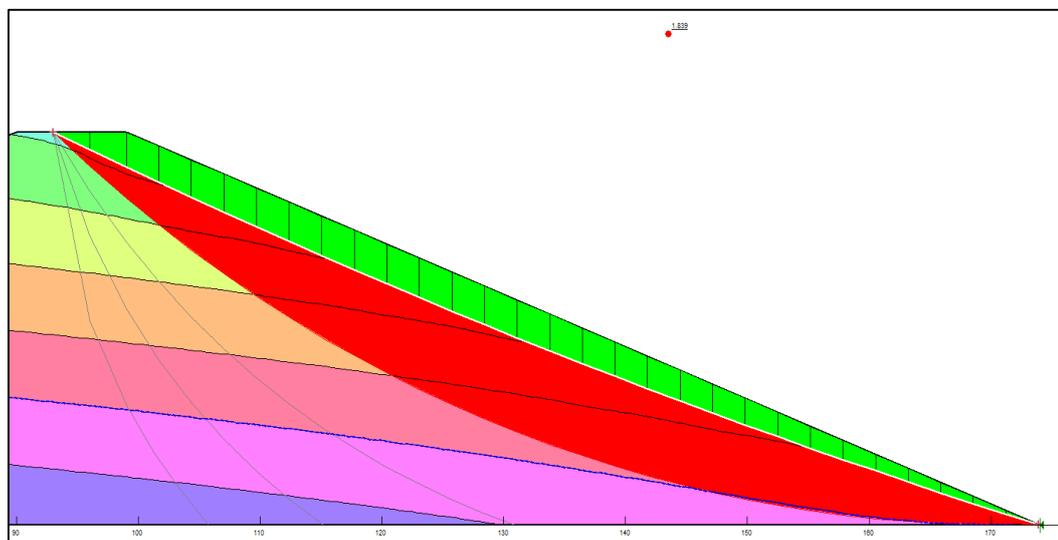
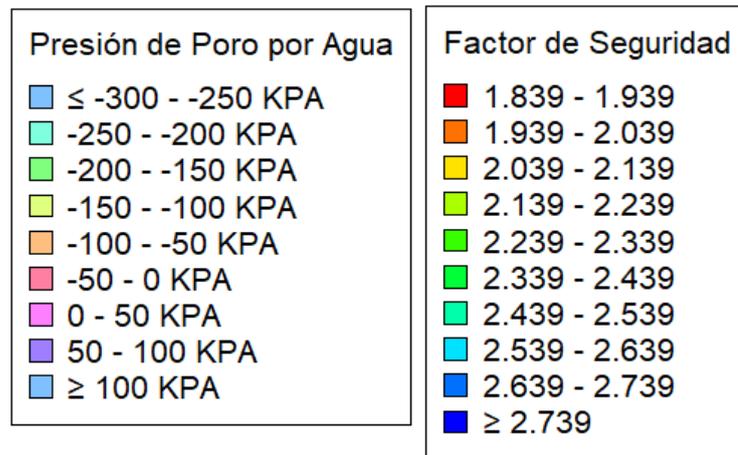
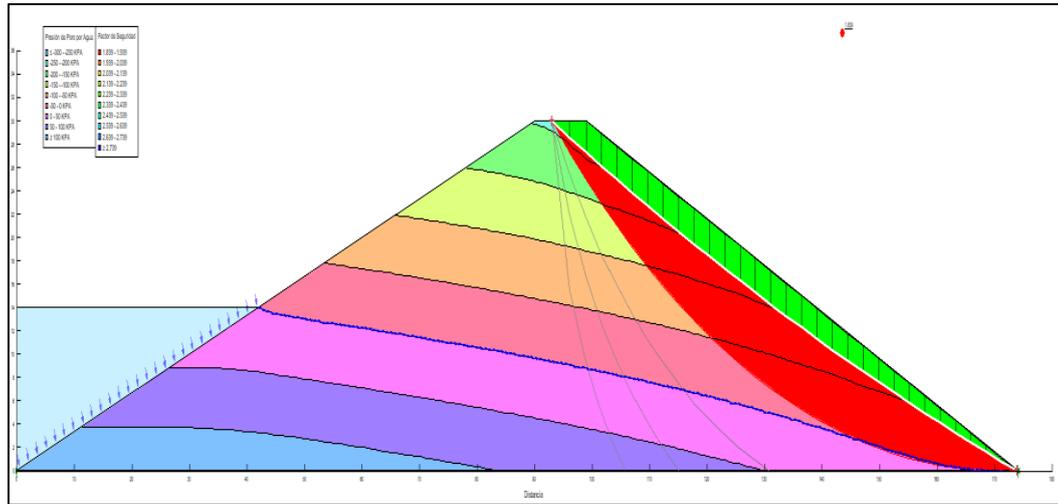
Presión de Poro por Agua	Factor de Seguridad
≤ -300 - -250 KPA	2.364 - 2.464
-250 - -200 KPA	2.464 - 2.564
-200 - -150 KPA	2.564 - 2.664
-150 - -100 KPA	2.664 - 2.764
-100 - -50 KPA	2.764 - 2.864
-50 - 0 KPA	2.864 - 2.964
0 - 50 KPA	2.964 - 3.064
50 - 100 KPA	3.064 - 3.164
≥ 100 KPA	3.164 - 3.264
	≥ 3.264



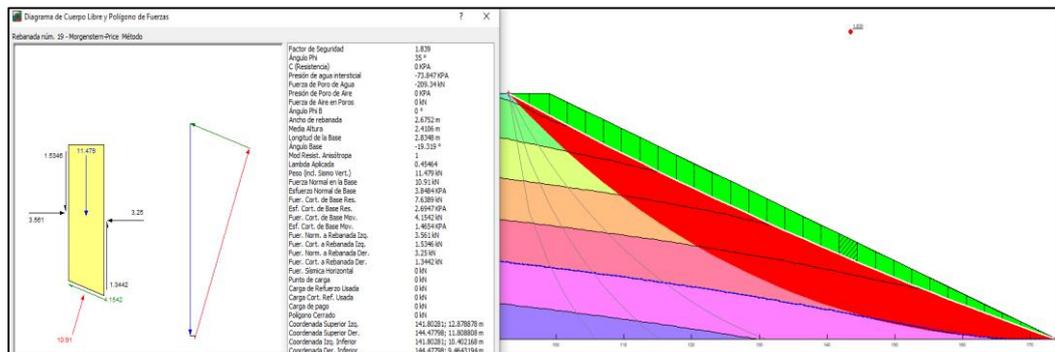
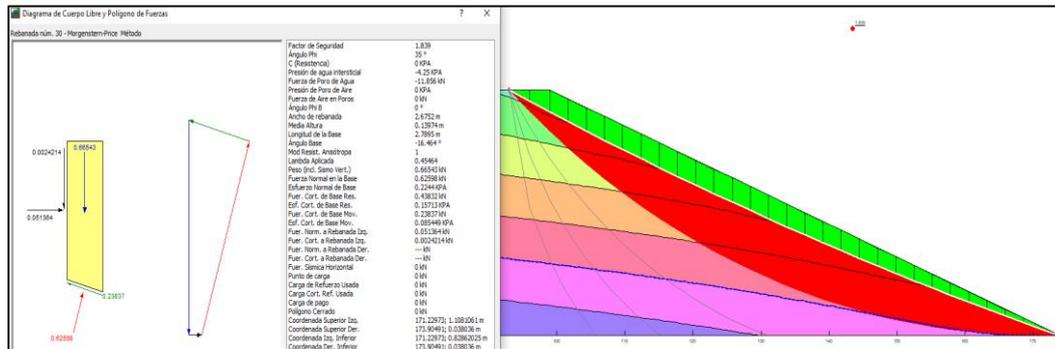
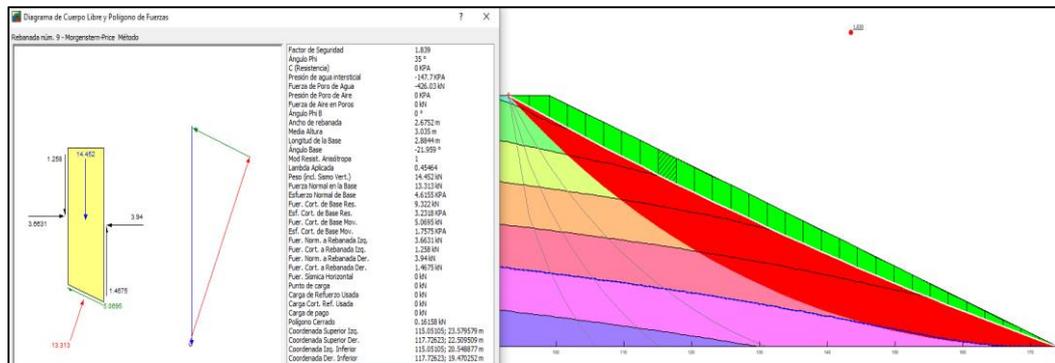
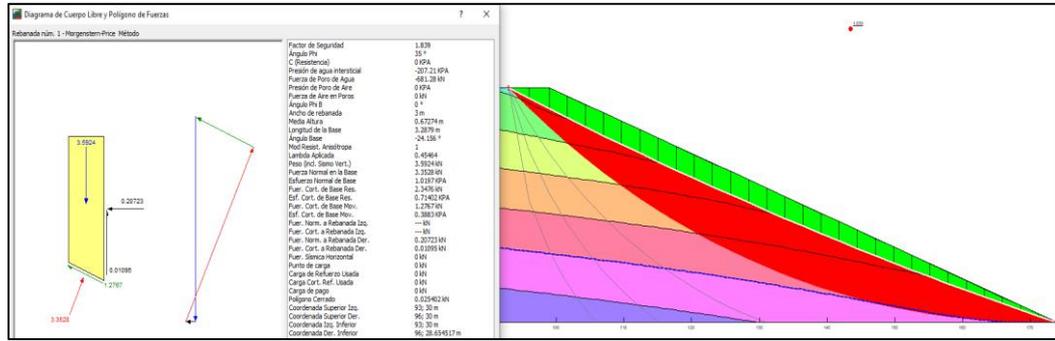
Rebanas del Metodo Jambu Aguas Arriba-Presa Media Llena



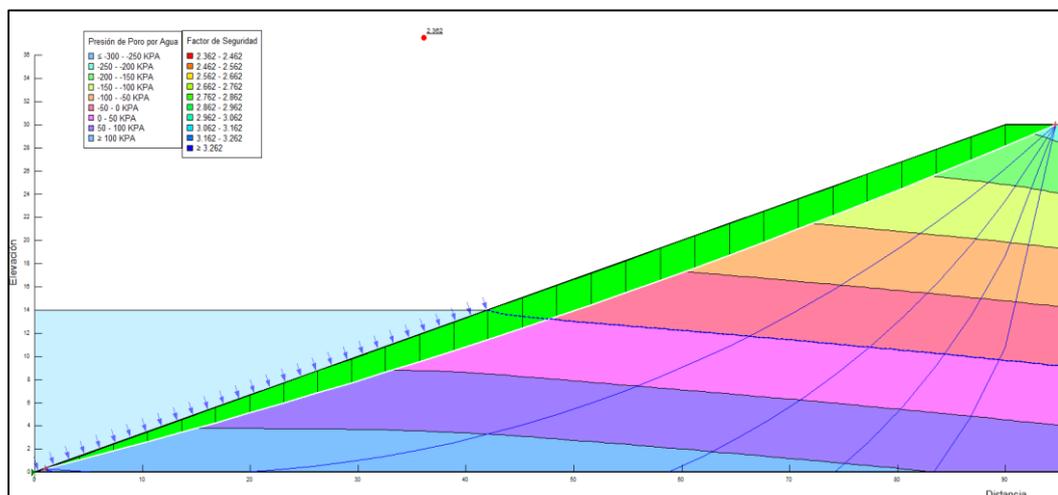
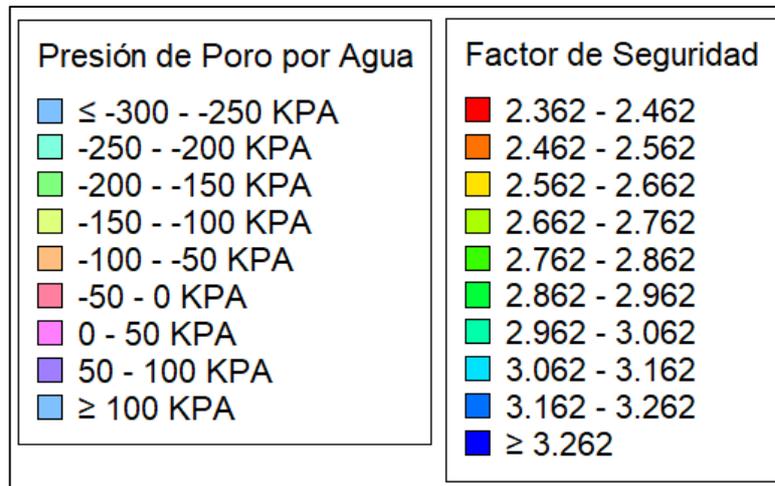
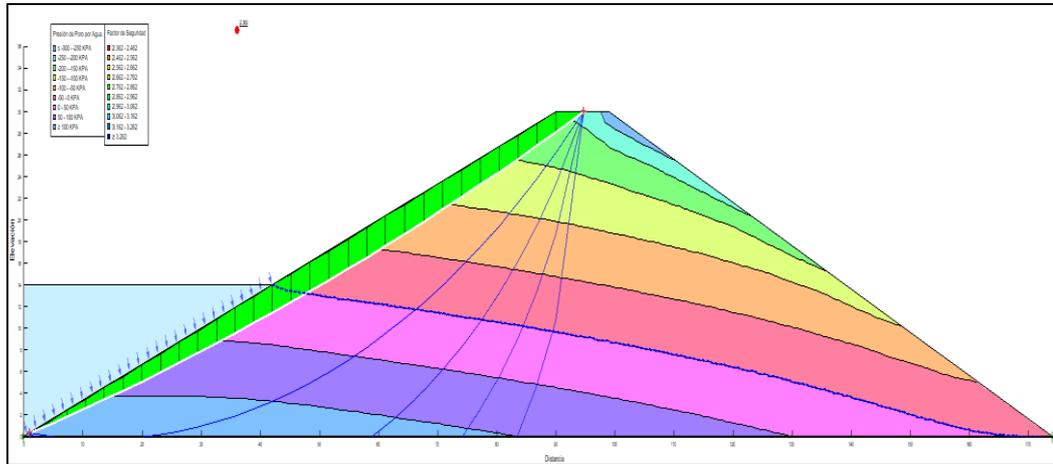
Estabilidad por método Morgenstein-Price Aguas Abajo –Presa Media Llena



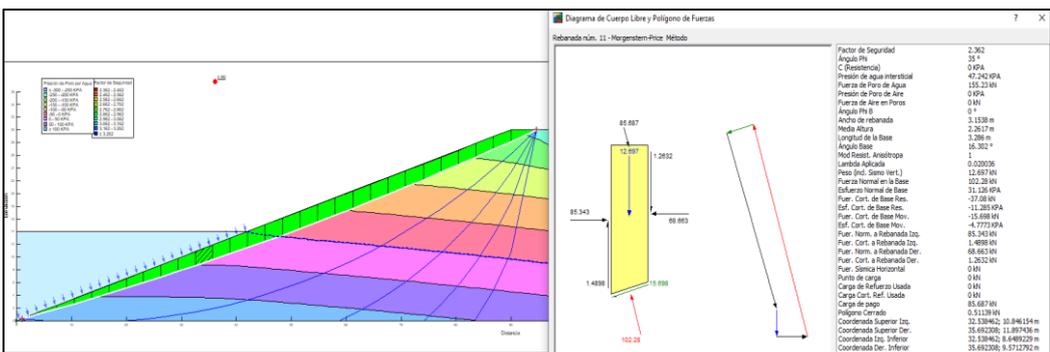
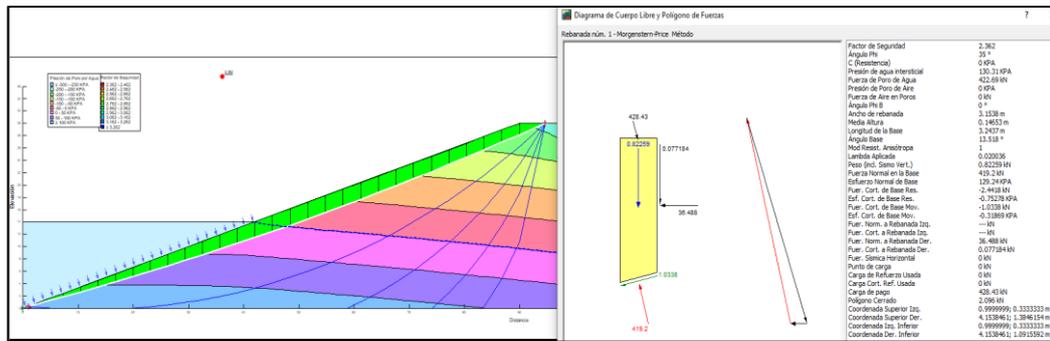
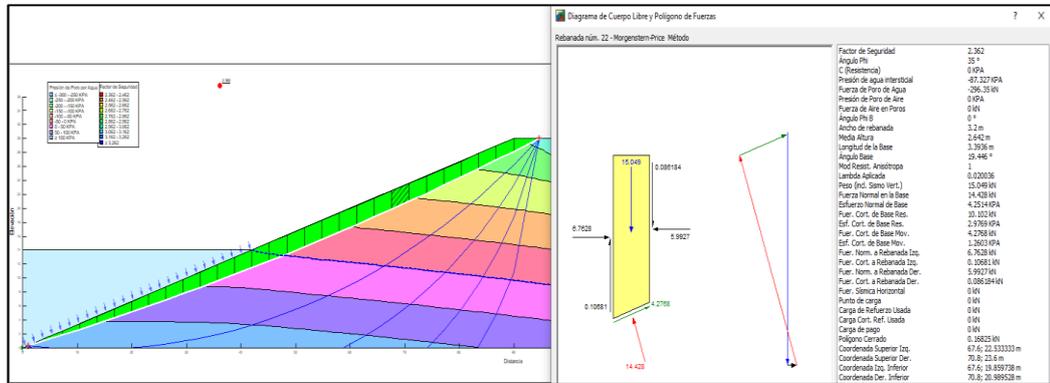
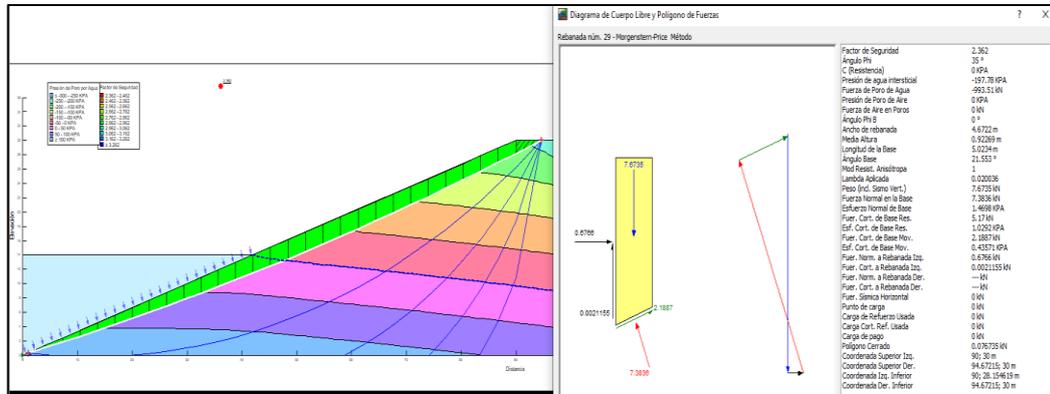
Rebanas del método Morgenstein-Price Aguas Abajo -Presa Media Llena



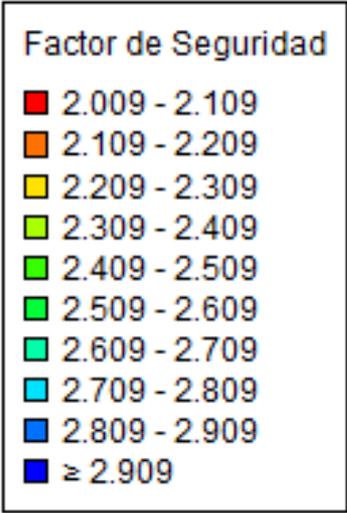
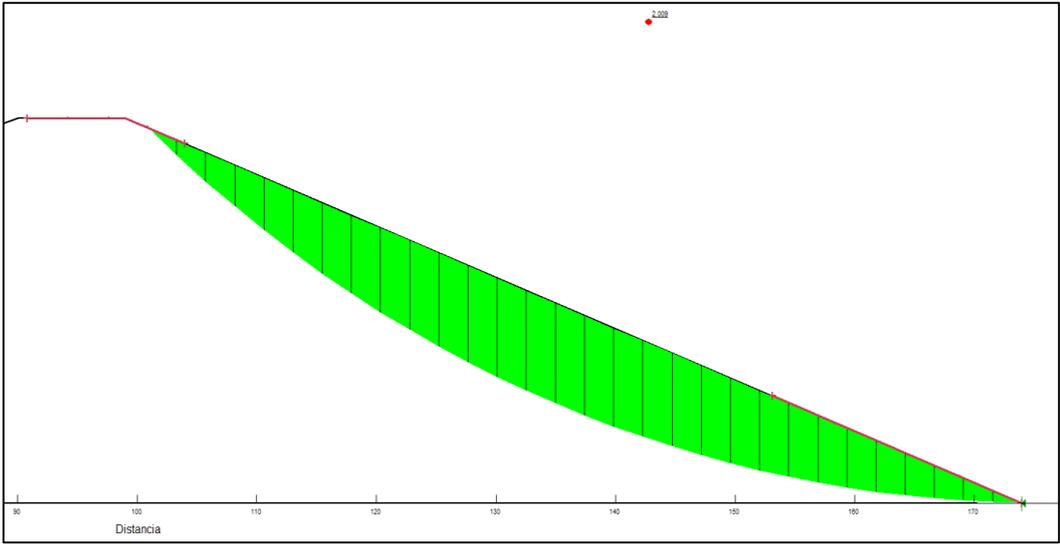
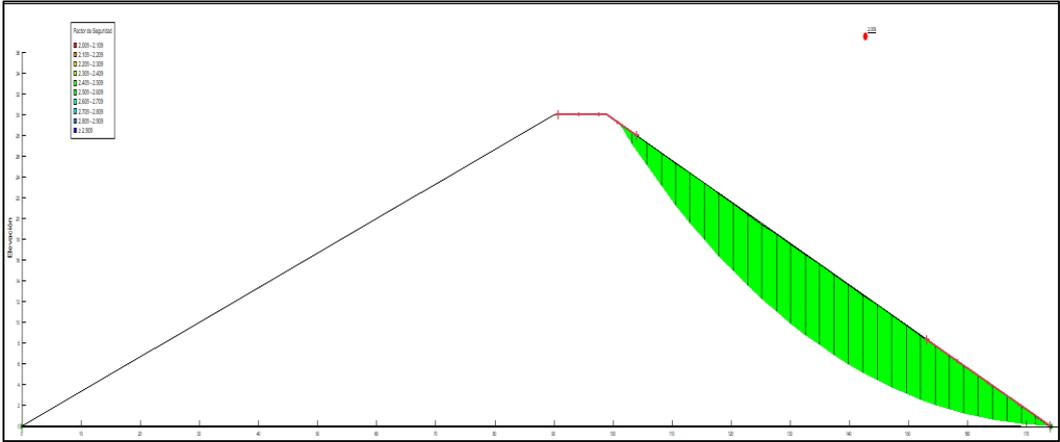
Estabilidad por método Morgenstein-Price Aguas Arriba-Presa Media Llena



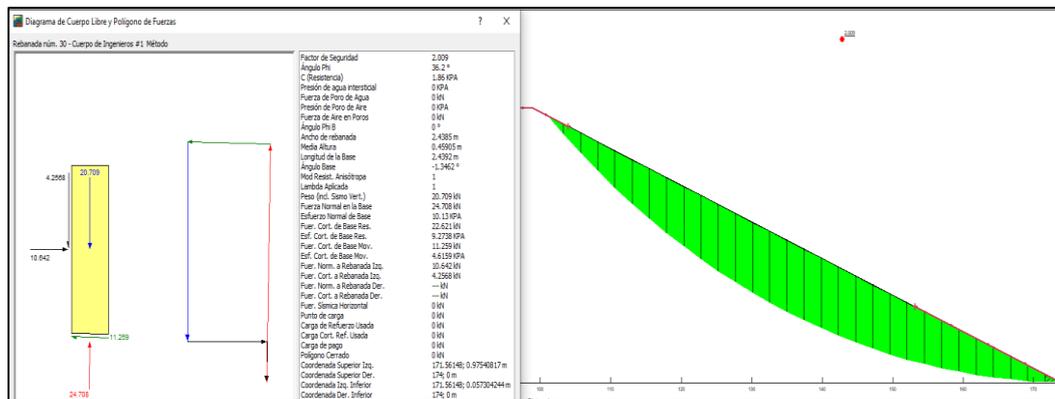
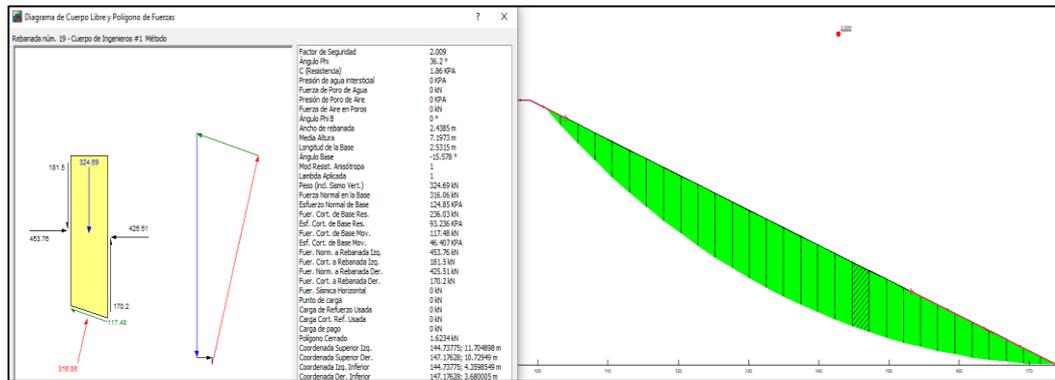
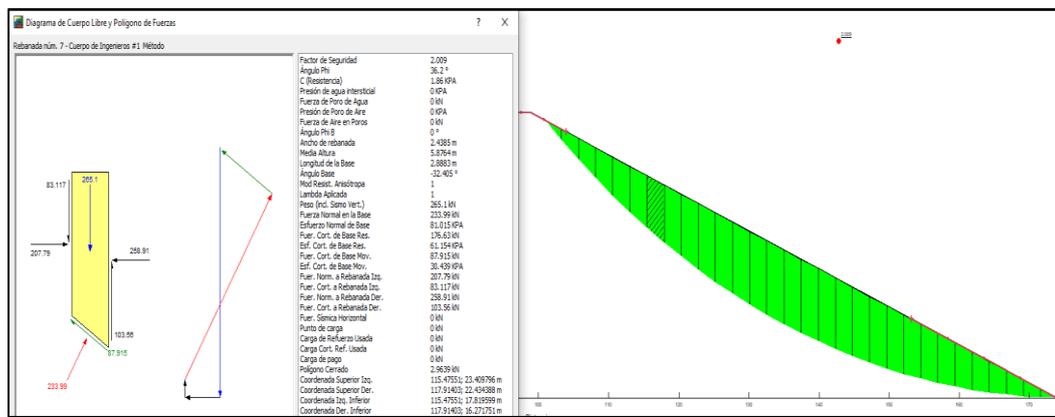
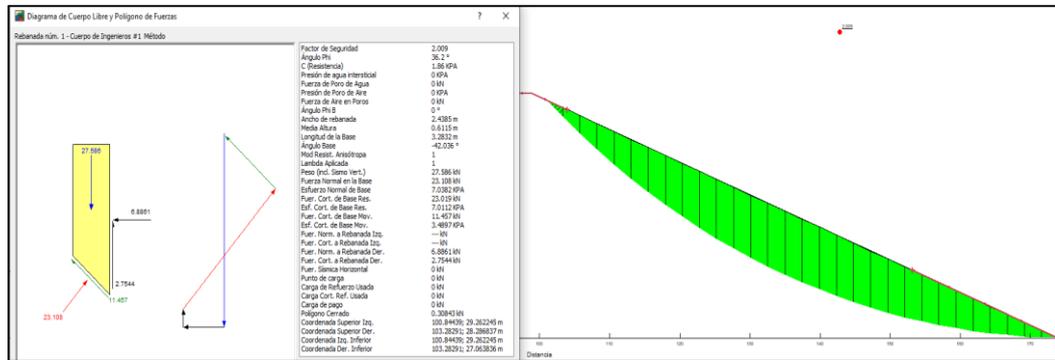
Rebanas del método Morgenstein-Price Aguas Arriba -Presa Media Llena



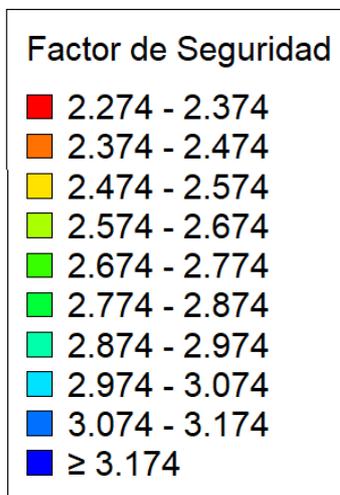
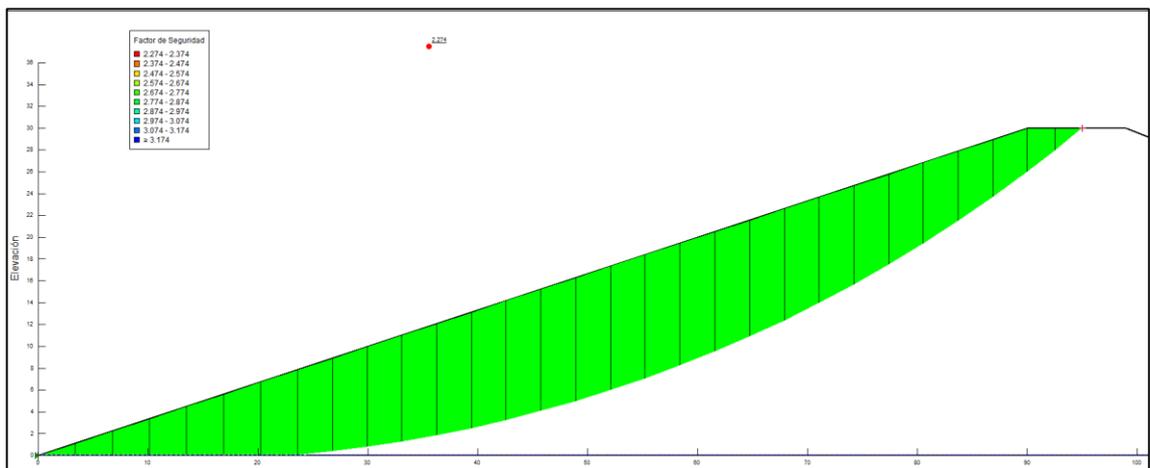
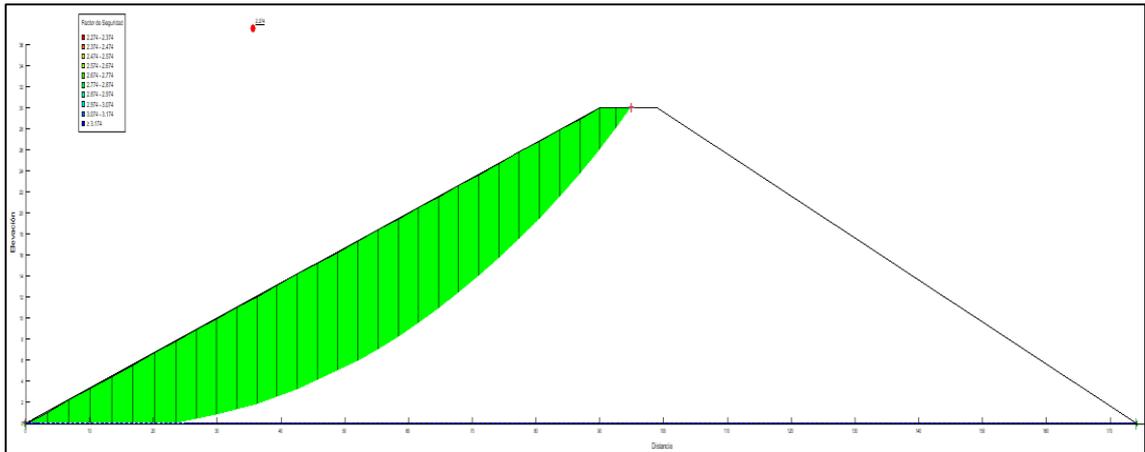
Estabilidad por Método Bishop Aguas Abajo-Presa Vacía



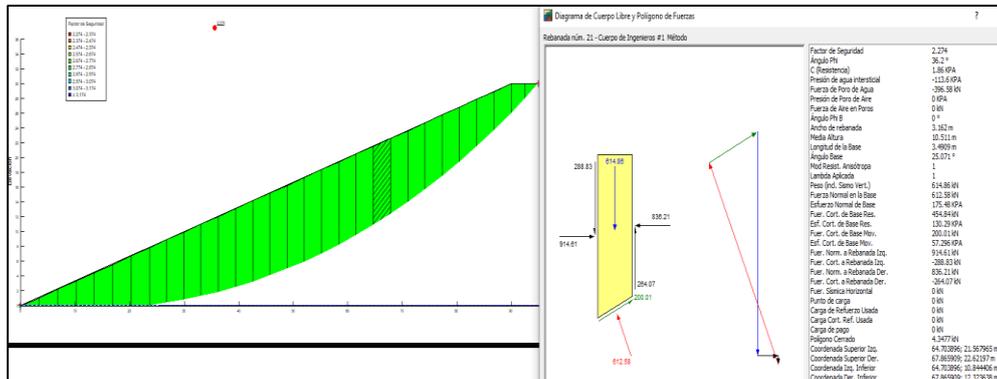
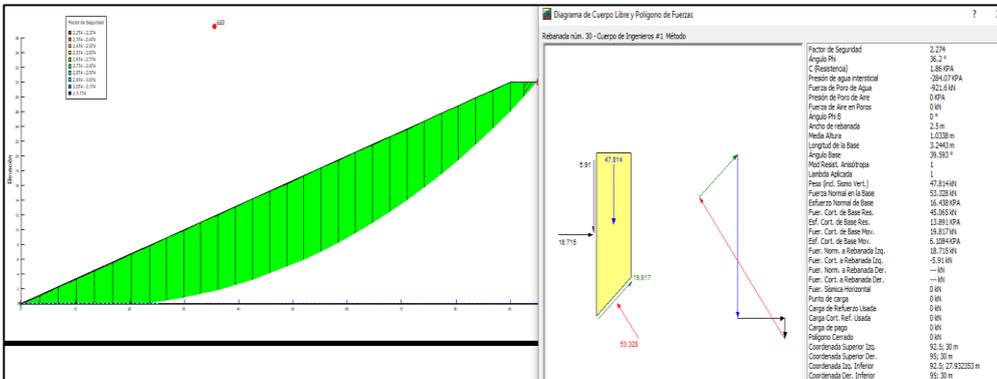
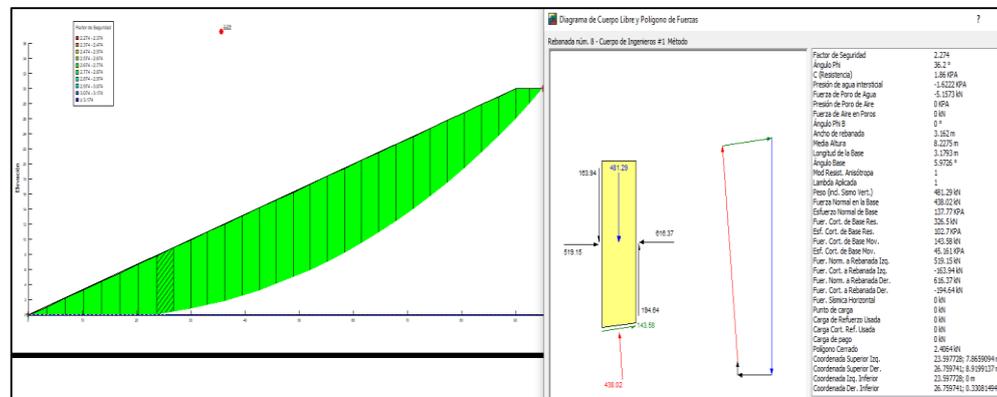
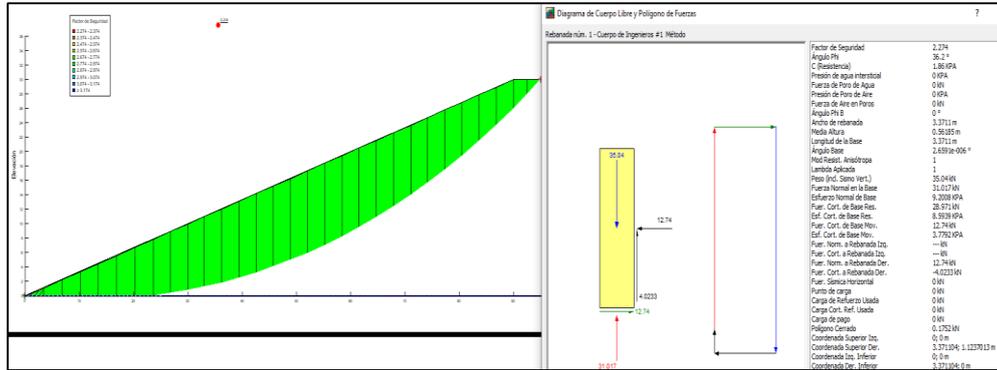
Rebanas del Metodo Bishop Aguas Abajo-Presa Vacía



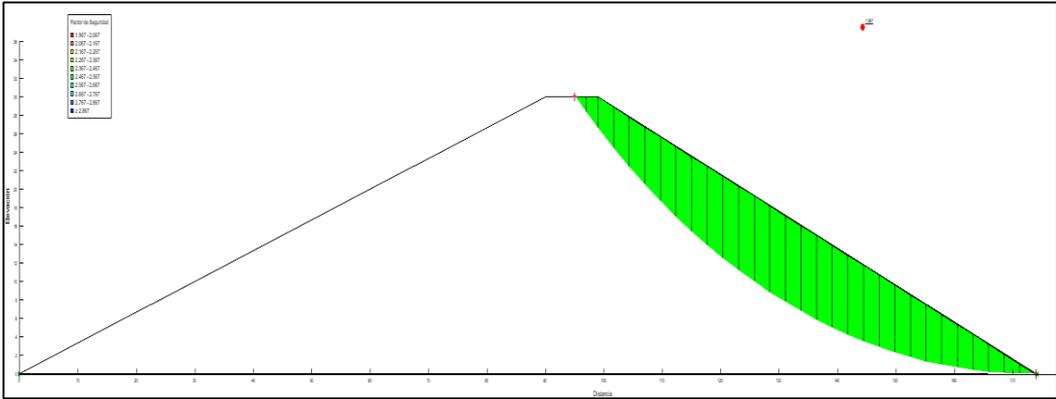
Estabilidad por Método Bishop Aguas Arriba-Presa Vacía



Rebanas del Metodo Bishop Aguas Arriba-Presa Vacía

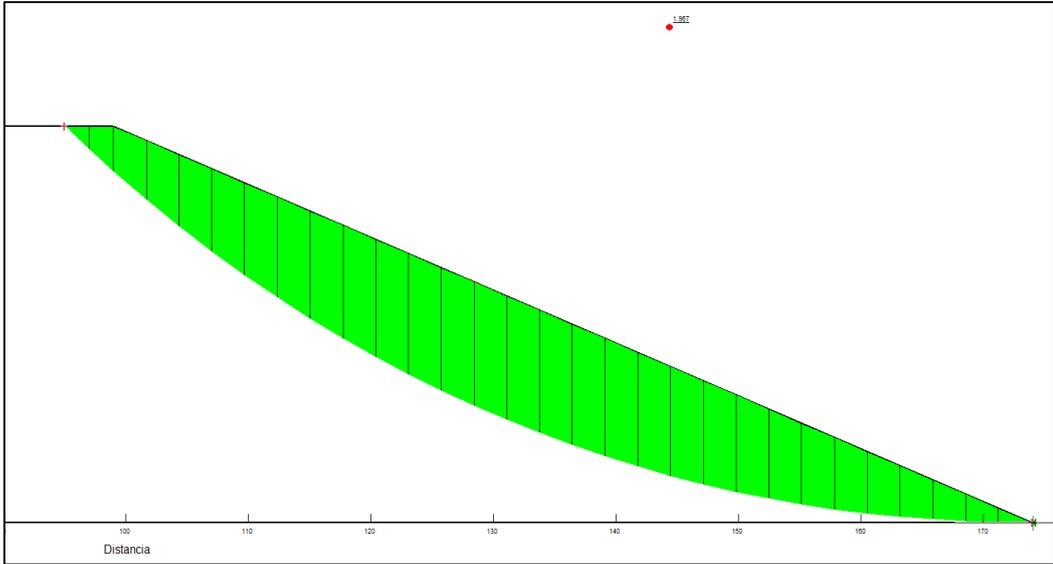


Estabilidad por Método Jambu Aguas Abajo – Presa Vacía

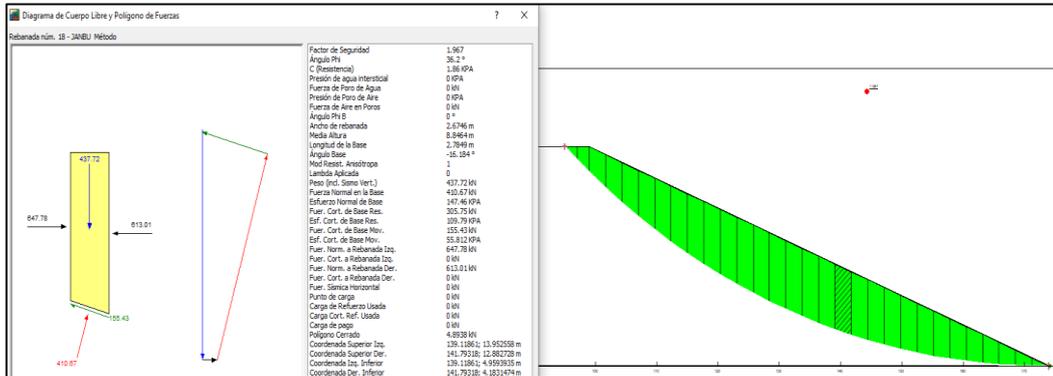
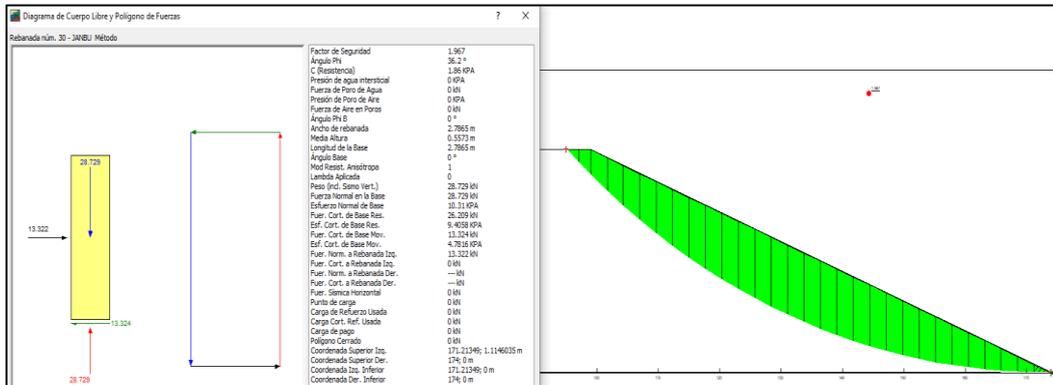
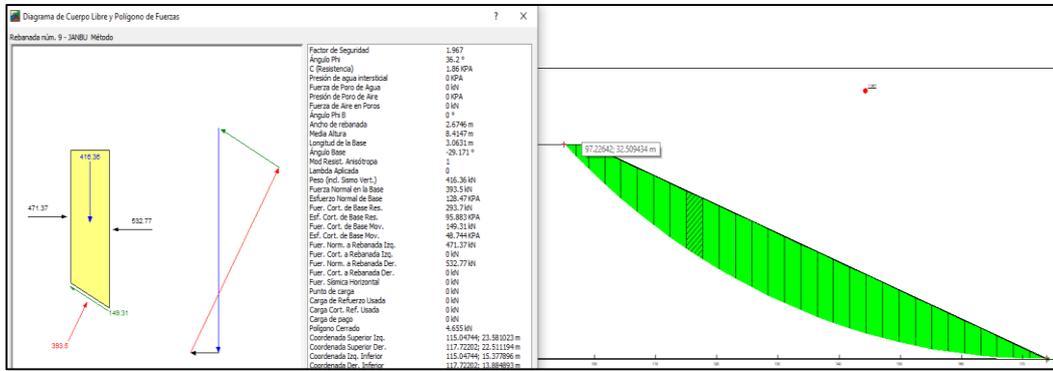
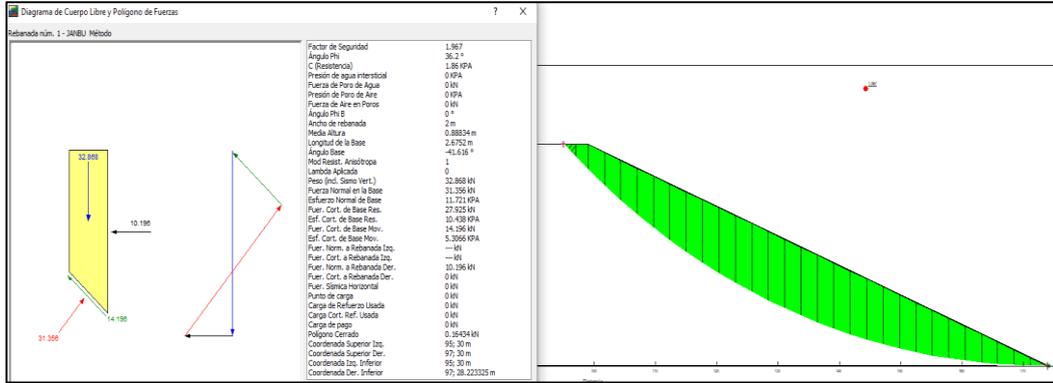


Factor de Seguridad

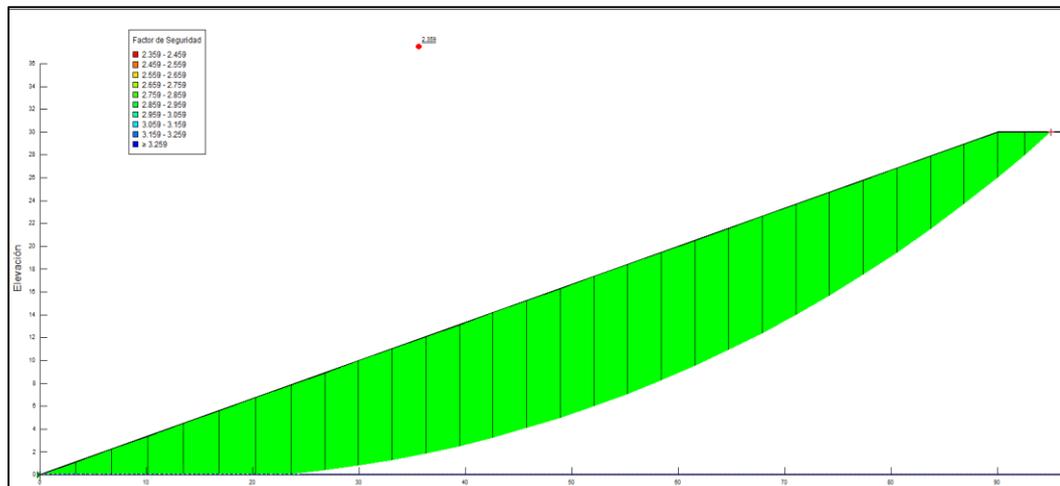
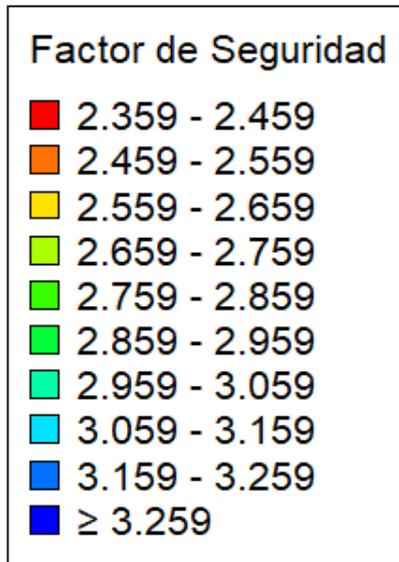
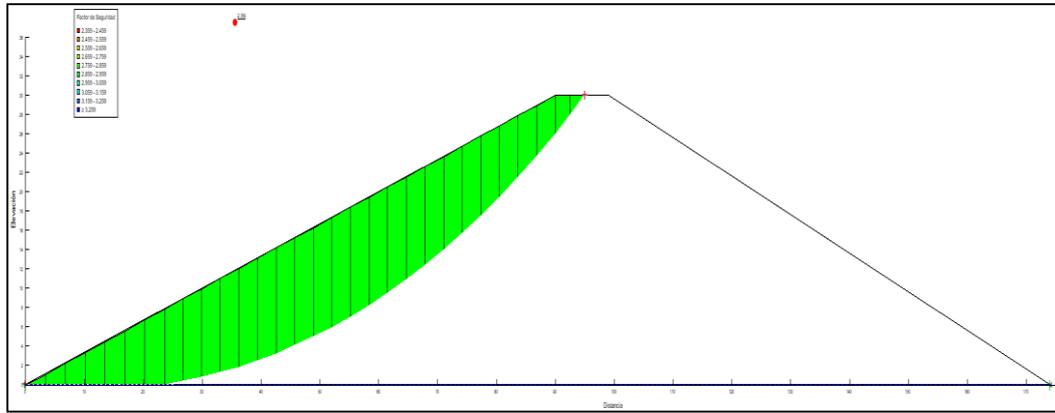
1.967 - 2.067
2.067 - 2.167
2.167 - 2.267
2.267 - 2.367
2.367 - 2.467
2.467 - 2.567
2.567 - 2.667
2.667 - 2.767
2.767 - 2.867
≥ 2.867



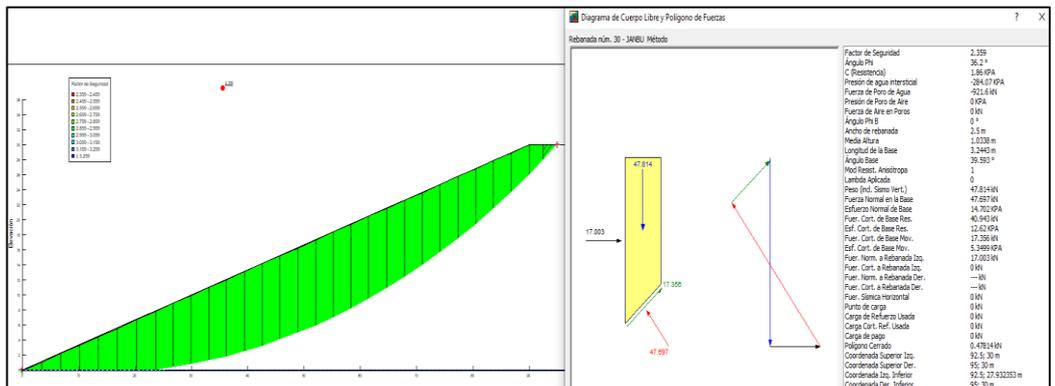
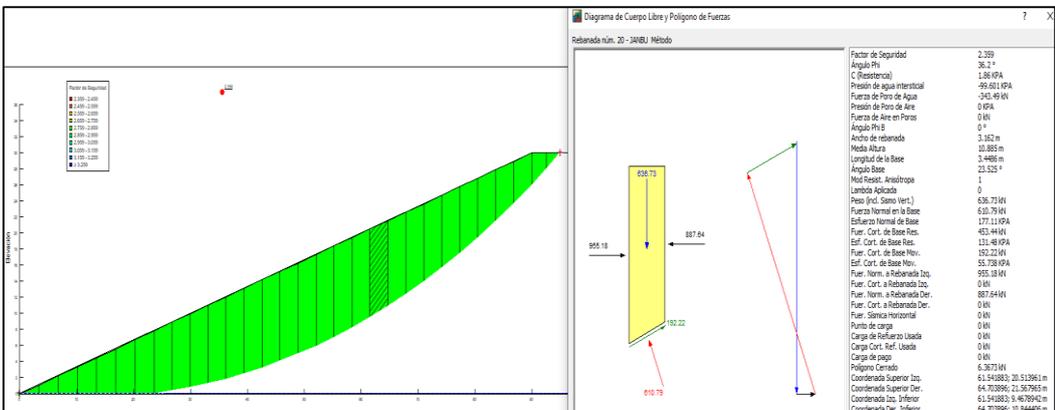
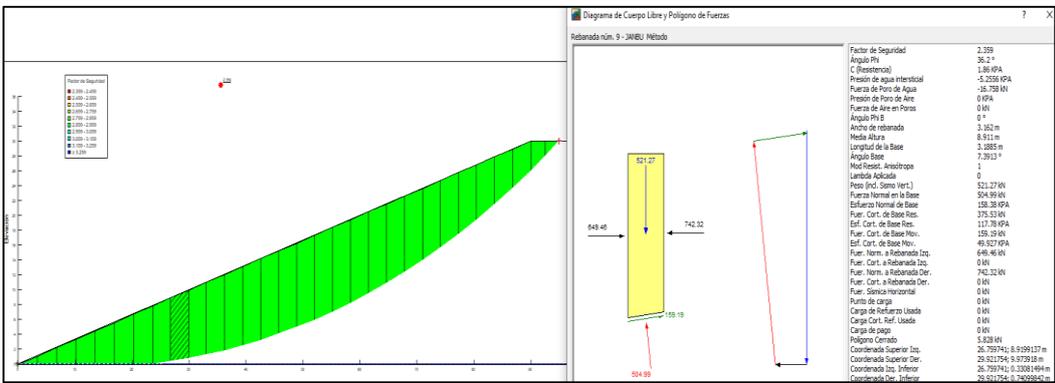
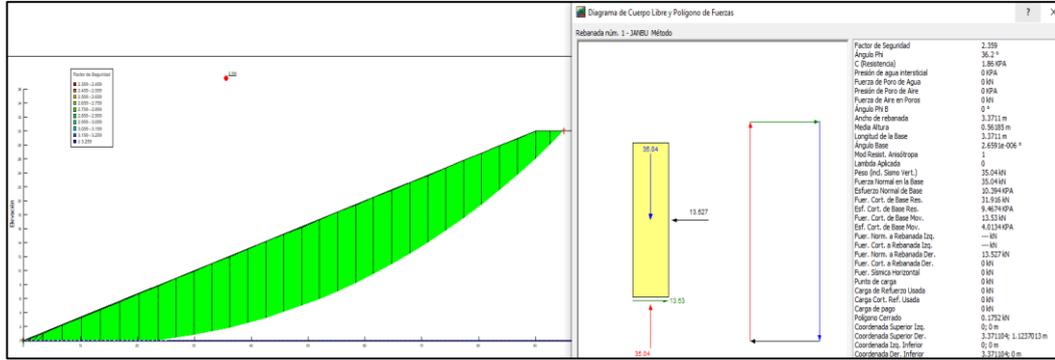
Rebanas del Metodo Jambu Aguas Abajo-Presa Vacía



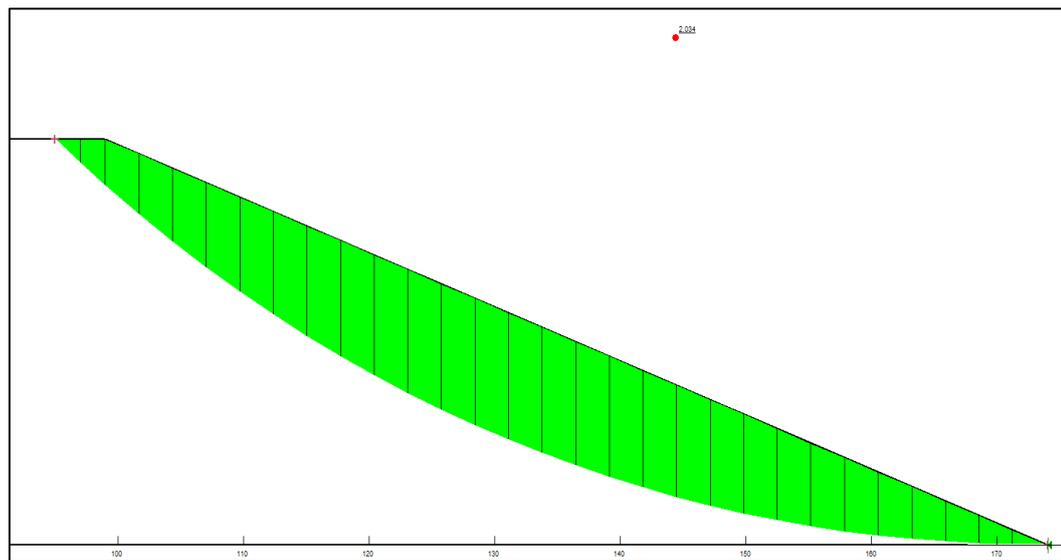
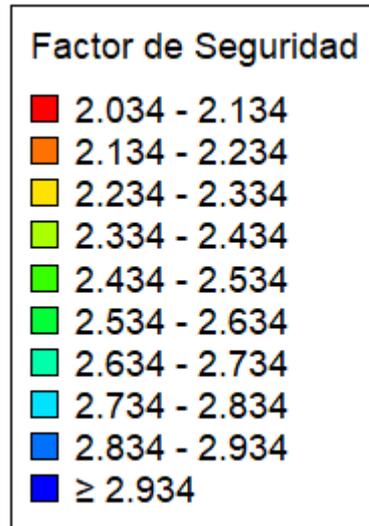
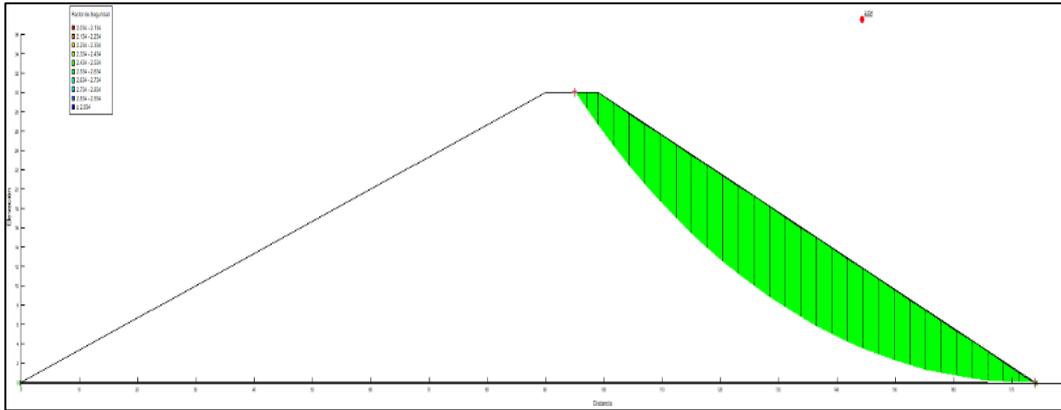
Estabilidad por Método Jambu Aguas Arriba -Presa Vacía



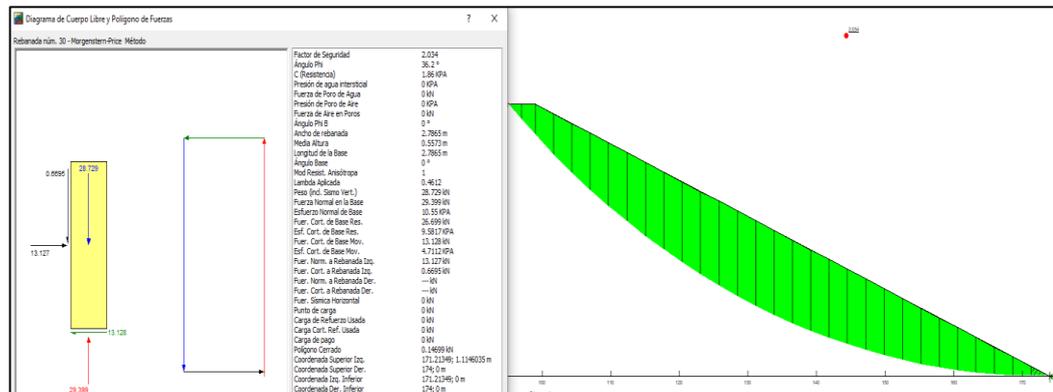
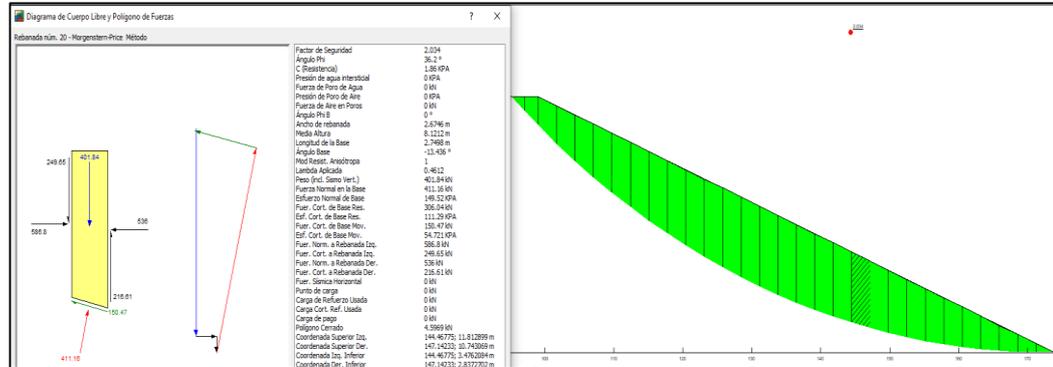
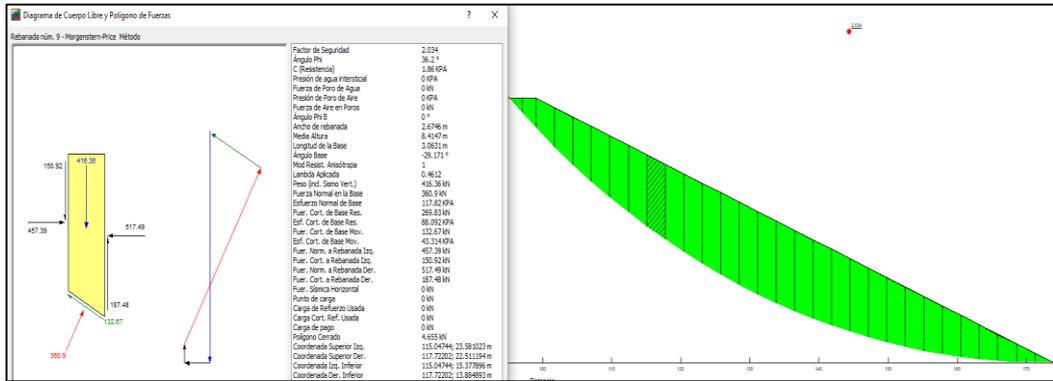
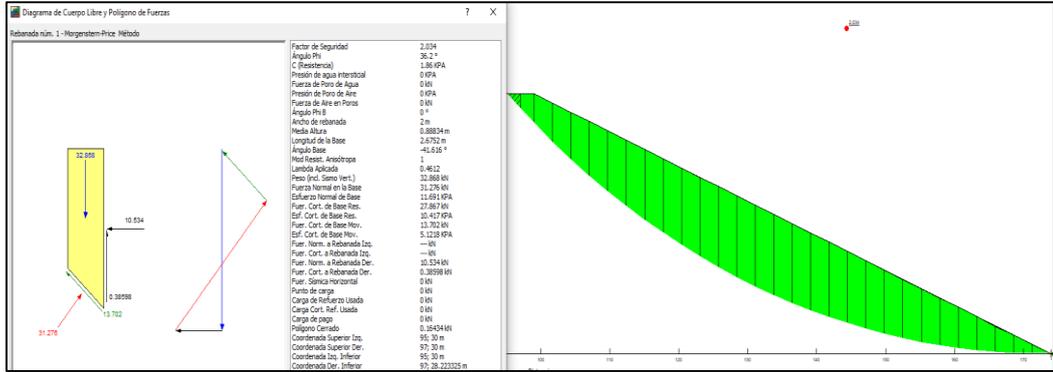
Rebanas del Metodo Jambu Aguas Arriba-Presa Vacía



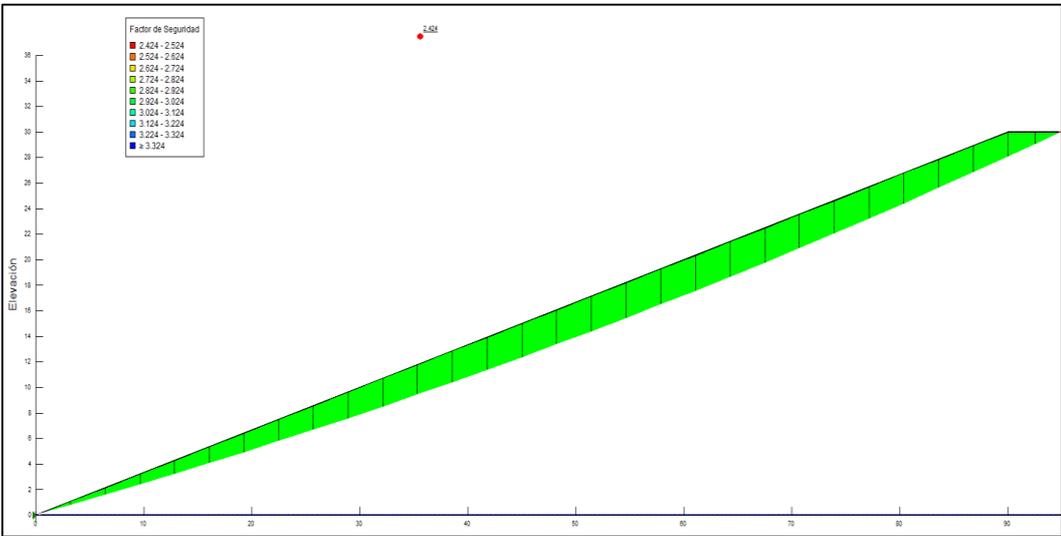
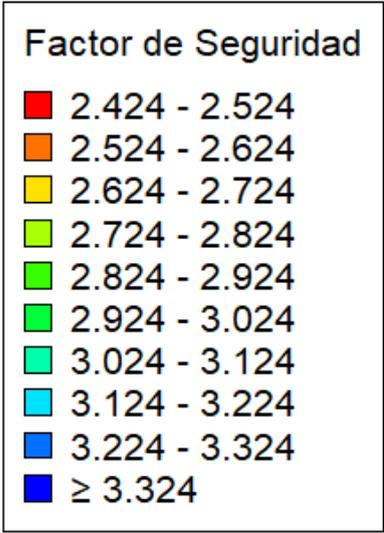
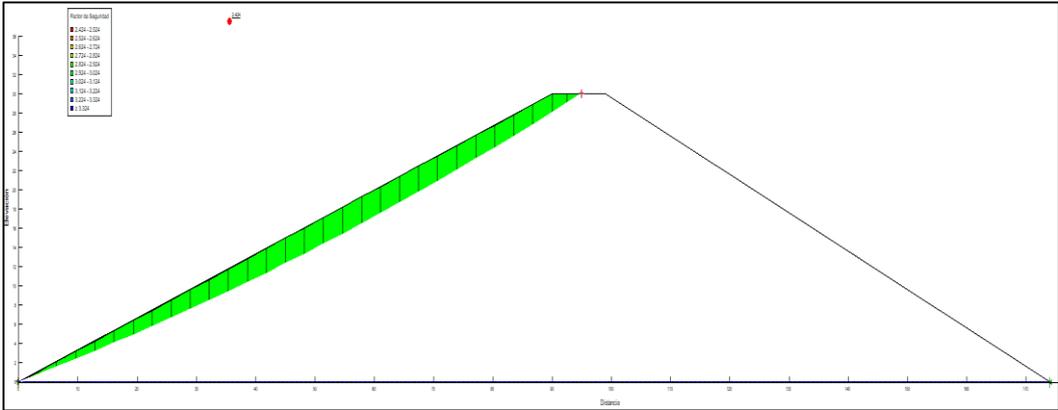
Estabilidad por método Morgenstein-Price Aguas Abajo –Presa Vacía



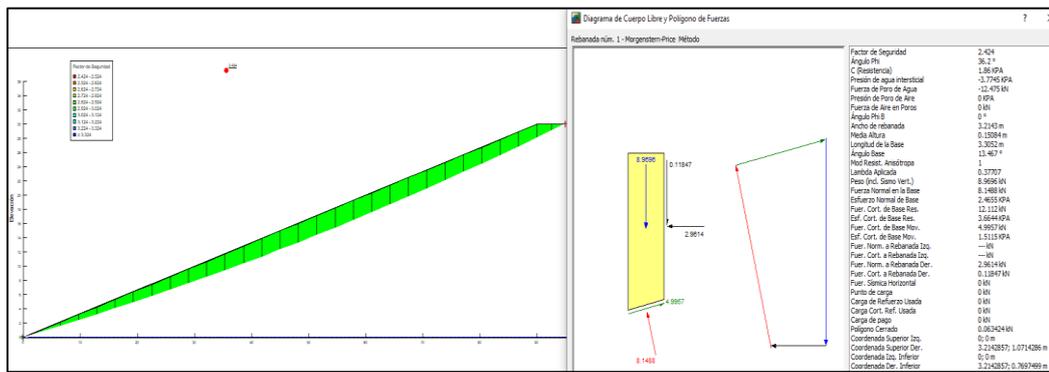
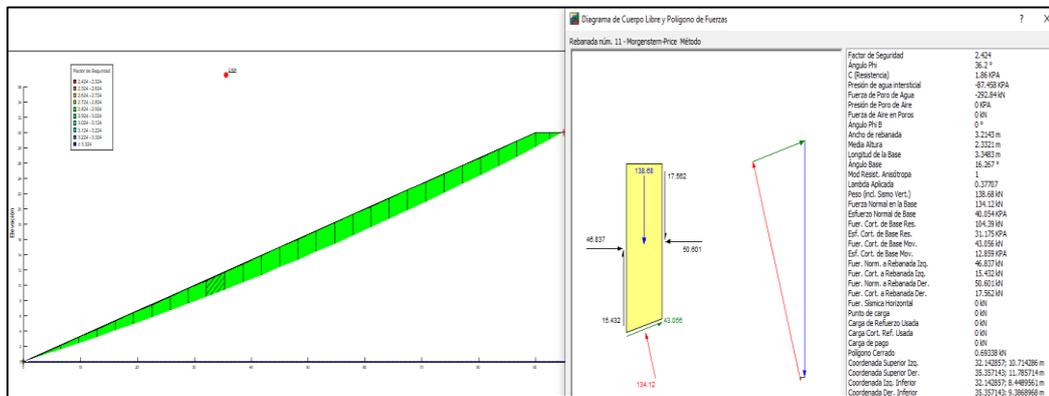
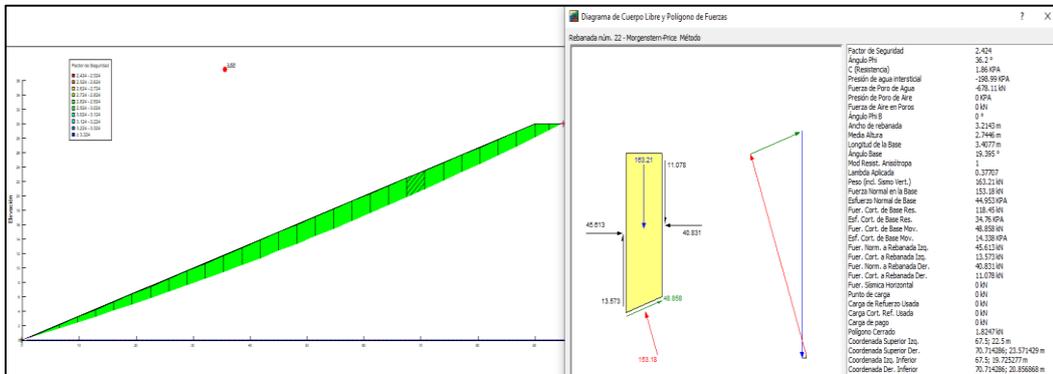
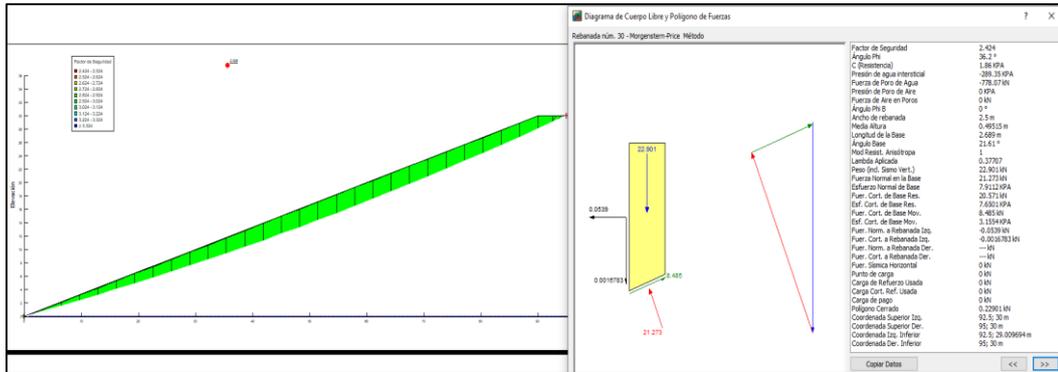
Rebanas del método Morgenstein-Price Aguas Abajo -Presa Vacía



Estabilidad por método Morgenstein-Price Aguas Arriba-Presa Vacía



Rebanas del método Morgenstein-Price Aguas Arriba -Presa Vacía



Los resultados obtenidos para los casos analizados de estabilidad de taludes son:

Tabla 23: Resumen de resultados

ESTADO	DESCRIPCION	METODOLOGIA			CRITERIOS		OBS.
		Bishop	Jambu	Morgenstein Price	USACE	USBR	
Fin de construcción	Aguas arriba con sismo	2.374	2.459	2.524	1	1	Ok
	Aguas abajo con sismo	2.109	2.067	2.134	1	1	Ok
Embalse totalmente lleno	Aguas arriba con sismo	2.035	1.988	1.995	1	1	Ok
	Aguas abajo con sismo	1.901	1.917	1.919	1	1	Ok
Embalse parcialmente lleno	Aguas arriba con sismo	2.592	2.464	2.462	1	1	Ok
	Aguas abajo con sismo	1.919	1.93	1.939	1	1	Ok

4.6 Contrastación y prueba de la hipótesis.

La sección propuesta para la presa Pataraca presenta en general valores de factores de seguridad superiores a los mínimos permisibles indicados por la normatividad vigente.

Los valores de seguridad obtenidos garantizan que los materiales propuestos para la construcción de la Presa son óptimos para una buena estabilidad de la misma.

4.7 RESUMEN DE PROGRAMA PRESA LLENA

Bishop-Aguas Abajo-Reporte del Programa

File Information

File Version: 8.15
Revision Number: 163
Date: 13/10/2019
Time: 21:04:16
Tool Version: 8.15.1.11236
File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Llena.gsz
Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\
Last Solved Date: 14/10/2019
Last Solved Time: 10:20:52

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

Bishop-Aguas Abajo

Description: Tesis Miguel Naravez
Kind: SLOPE/W
Parent: Filtración en Estado Estacionario Presa Llena
Method: Bishop
Settings
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
 Direction of movement: Izquierda a Derecha
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Material de Relleno

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 1.78 kN/m³

Cohesion': 0 KPA

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto

Left Coordinate: (95; 30) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Punto

Right Coordinate: (174; 0) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 5

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	84	28

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Material de Relleno	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.801

Volume: 142.04038 m³

Weight: 252.83187 kN

Resisting Force: 153.79106 kN

Activating Force: 85.379829 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 6

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 6

Exit: (174; 0) m

Entry: (95; 30) m

Radius: 613.14227 m

Center: (351.65477; 586.84088) m

Slip Slide

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	96.00	29.54	-69.23	0.68	0.47
Slice 2	98.00	28.63	-105.68	2.03	1.42
Slice 3	100.34	27.57	-93.97	2.81	1.97
Slice 4	103.02	26.38	-81.65	3.01	2.11
Slice 5	105.70	25.20	-71.59	3.18	2.23
Slice 6	108.38	24.03	-62.97	3.34	2.34
Slice 7	111.05	22.88	-58.85	3.47	2.43
Slice 8	113.73	21.74	-55.02	3.58	2.50
Slice 9	116.41	20.62	-51.43	3.66	2.57
Slice 10	119.09	19.52	-48.24	3.73	2.61
Slice 11	121.77	18.43	-45.44	3.77	2.64
Slice 12	124.45	17.35	-42.89	3.79	2.66
Slice 13	127.13	16.29	-40.50	3.79	2.65
Slice 14	129.80	15.24	-38.83	3.77	2.64
Slice 15	132.48	14.21	-37.31	3.72	2.60
Slice 16	135.16	13.19	-36.47	3.65	2.56
Slice 17	137.84	12.19	-35.12	3.56	2.49
Slice 18	140.52	11.20	-36.73	3.44	2.41
Slice 19	143.20	10.22	-37.05	3.30	2.31
Slice 20	145.88	9.26	-39.23	3.14	2.20
Slice 21	148.55	8.32	-40.57	2.95	2.07
Slice 22	151.23	7.38	-41.78	2.75	1.92

Slice 23	153.91	6.46	-38.43	2.51	1.76
Slice 24	156.59	5.56	-35.97	2.26	1.58
Slice 25	159.27	4.67	-34.64	1.98	1.38
Slice 26	161.95	3.79	-31.08	1.67	1.17
Slice 27	164.63	2.92	-25.59	1.34	0.94
Slice 28	167.30	2.07	-18.75	0.99	0.69
Slice 29	169.98	1.23	-11.98	0.61	0.43
Slice 30	172.66	0.41	-4.01	0.21	0.15

Bishop-Aguas Arriba-Reporte del Programa

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 163
 Date: 13/10/2019
 Time: 21:04:16
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Llena.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 10:20:52

Project Settings

Length(L) Units: Metros
 Time(t) Units: Segundos
 Force(F) Units: Kilonewtons
 Pressure(p) Units: KPA
 Strength Units: KPA
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
 View: 2D
 Element Thickness: 1

Analysis Settings

Bishop-Aguas Arriba

Description: Tesis Miguel Naravez
 Kind: SLOPE/W
 Parent: Filtración en Estado Estacionario Presa Llena
 Method: **Bishop**
 Settings
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente
 Slip Surface

Direction of movement: Derecha a Izquierda
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
 F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante
 Advanced
 Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Material de Relleno

Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 1.78 kN/m³
 Cohesion: 0 KPA
 Phi: 35 °
 Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
 Left Coordinate: (0; 0) m
 Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (94; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 5

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Point 5	84	28
---------	----	----

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Material de Relleno	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.935

Volume: 178.44127 m³

Weight: 317.62545 kN

Resisting Force: -749.52923 kN

Activating Force: -387.28275 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 6

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 6

Exit: (0; 0) m

Entry: (94; 30) m

Radius: 676.22738 m

Center: (-158.05238; 657.49747) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	1.556	0.378	270.891	263.073	-5.474
Slice 2	4.667	1.141	263.403	254.457	-6.264
Slice 3	7.778	1.920	255.762	245.769	-6.997
Slice 4	10.889	2.715	247.967	237.007	-7.674
Slice 5	14.000	3.526	240.016	228.170	-8.294
Slice 6	17.111	4.352	231.907	219.258	-8.857
Slice 7	20.222	5.195	223.639	210.268	-9.363
Slice 8	23.333	6.053	215.209	201.200	-9.810
Slice 9	26.444	6.927	206.614	192.051	-10.197
Slice 10	29.556	7.817	197.851	182.821	-10.524
Slice 11	32.667	8.724	188.916	173.507	-10.790
Slice 12	35.778	9.647	179.803	164.107	-10.991
Slice 13	38.889	10.586	170.511	154.620	-11.127
Slice 14	42.000	11.541	161.032	145.043	-11.196
Slice 15	45.111	12.513	151.365	135.375	-11.197
Slice 16	48.222	13.501	141.504	125.613	-11.127

Slice 17	51.333	14.506	131.446	115.755	-10.987
Slice 18	54.444	15.527	121.186	105.800	-10.774
Slice 19	57.556	16.565	110.722	95.745	-10.487
Slice 20	60.667	17.620	100.050	85.588	-10.126
Slice 21	63.778	18.692	89.172	75.329	-9.693
Slice 22	66.889	19.781	78.071	64.962	-9.179
Slice 23	70.000	20.887	66.750	54.486	-8.587
Slice 24	73.111	22.010	55.187	43.896	-7.906
Slice 25	76.222	23.150	43.317	33.175	-7.102
Slice 26	79.333	24.308	31.024	22.295	-6.113
Slice 27	82.444	25.483	17.862	11.154	-4.697
Slice 28	85.500	26.654	0.494	3.014	1.765
Slice 29	88.500	27.821	-21.564	2.640	1.849
Slice 30	92.000	29.204	-46.258	1.251	0.876

Jambu-Aguas Abajo-Reporte del Programa

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 163
 Date: 13/10/2019
 Time: 21:04:16
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Llana.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 10:20:52

Project Settings

Length(L) Units: Metros
 Time(t) Units: Segundos
 Force(F) Units: Kilonewtons
 Pressure(p) Units: KPA
 Strength Units: KPA
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
 View: 2D
 Element Thickness: 1

Analysis Settings

Jambu-Aguas Abajo

Description: Tesis Miguel Naravez

Kind: SLOPE/W

Parent: Filtración en Estado Estacionario Presa Llena

Method: JANBU

Settings

PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Izquierda a Derecha

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Material de Relleno

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 1.78 kN/m³

Cohesion': 0 KPA

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto

Left Coordinate: (94; 30) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Punto

Right Coordinate: (174; 0) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 5

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	84	28

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Material de Relleno	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.817

Volume: 159.24142 m³

Weight: 283.44974 kN

Resisting Force: 172.81213 kN

Activating Force: 95.097733 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 6

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 6

Exit: (174; 0) m

Entry: (94; 30) m

Radius: 617.1902 m

Center: (350.1902; 591.50719) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	95.250	29.433	-61.299	0.859	0.602
Slice 2	97.750	28.306	-65.606	2.571	1.801
Slice 3	100.339	27.153	-69.103	3.515	2.461
Slice 4	103.018	25.974	-65.694	3.684	2.580
Slice 5	105.696	24.811	-61.310	3.831	2.683
Slice 6	108.375	23.663	-57.309	3.956	2.770
Slice 7	111.054	22.530	-53.572	4.058	2.841
Slice 8	113.732	21.411	-50.064	4.137	2.897
Slice 9	116.411	20.308	-46.793	4.194	2.937
Slice 10	119.089	19.219	-43.934	4.229	2.961
Slice 11	121.768	18.144	-41.428	4.241	2.970
Slice 12	124.446	17.085	-39.128	4.231	2.963
Slice 13	127.125	16.039	-37.054	4.198	2.940
Slice 14	129.804	15.008	-35.651	4.143	2.901
Slice 15	132.482	13.991	-34.420	4.066	2.847
Slice 16	135.161	12.988	-33.756	3.966	2.777
Slice 17	137.839	12.000	-32.737	3.844	2.692
Slice 18	140.518	11.025	-32.145	3.699	2.590
Slice 19	143.196	10.065	-31.688	3.532	2.473
Slice 20	145.875	9.118	-34.288	3.343	2.341
Slice 21	148.554	8.185	-36.504	3.131	2.192
Slice 22	151.232	7.266	-38.615	2.897	2.028
Slice 23	153.911	6.361	-35.860	2.640	1.848
Slice 24	156.589	5.469	-34.072	2.361	1.653
Slice 25	159.268	4.591	-33.277	2.059	1.442
Slice 26	161.946	3.727	-30.164	1.735	1.215
Slice 27	164.625	2.875	-24.968	1.388	0.972
Slice 28	167.304	2.038	-18.337	1.019	0.713
Slice 29	169.982	1.213	-11.782	0.627	0.439
Slice 30	172.661	0.402	-3.946	0.213	0.149

Jambu-Aguas Arriba-Reporte del Programa

File Information

File Version: 8.15
Revision Number: 163
Date: 13/10/2019
Time: 21:04:16
Tool Version: 8.15.1.11236
File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Llena.gsz
Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\
Last Solved Date: 14/10/2019
Last Solved Time: 10:20:52

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

Jambu-Aguas Arriba

Description: Tesis Miguel Naravez
Kind: SLOPE/W
Parent: Filtración en Estado Estacionario Presa Llena
Method: JANBU

Settings

PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Derecha a Izquierda

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Material de Relleno

Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 1.78 kN/m³
 Cohesion': 0 KPA
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
 Left Coordinate: (1; 0.333333) m
 Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (94; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 5

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	84	28

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Material de Relleno	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.888

Volume: 175.27446 m³

Weight: 311.98854 kN

Resisting Force: -730.04601 kN

Activating Force: -386.70391 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 6

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 6

Exit: (0.9999999; 0.3333333) m

Entry: (94; 30) m

Radius: 668.90698 m

Center: (-155.24448; 650.73645) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	2.54	0.71	267.67	266.64	-0.72
Slice 2	5.61	1.46	260.27	257.26	-2.11
Slice 3	8.69	2.23	252.73	247.85	-3.42
Slice 4	11.76	3.01	245.03	238.40	-4.64
Slice 5	14.83	3.81	237.18	228.92	-5.78
Slice 6	17.91	4.63	229.17	219.41	-6.84
Slice 7	20.98	5.46	221.01	209.86	-7.81
Slice 8	24.06	6.31	212.68	200.28	-8.69
Slice 9	27.13	7.17	204.20	190.66	-9.48
Slice 10	30.20	8.05	195.54	181.00	-10.18
Slice 11	33.28	8.95	186.72	171.31	-10.79
Slice 12	36.35	9.86	177.72	161.57	-11.30
Slice 13	39.43	10.79	168.54	151.80	-11.72
Slice 14	42.50	11.73	159.18	141.98	-12.04
Slice 15	45.57	12.69	149.63	132.11	-12.26
Slice 16	48.65	13.66	139.89	122.21	-12.38
Slice 17	51.72	14.66	129.95	112.25	-12.39
Slice 18	54.80	15.66	119.82	102.25	-12.30
Slice 19	57.87	16.69	109.49	92.20	-12.10
Slice 20	60.94	17.73	98.95	82.10	-11.79
Slice 21	64.02	18.79	88.20	71.95	-11.38
Slice 22	67.09	19.86	77.24	61.75	-10.85
Slice 23	70.17	20.96	66.06	51.49	-10.20

Slice 24	73.24	22.06	54.64	41.17	-9.43
Slice 25	76.31	23.19	42.91	30.78	-8.49
Slice 26	79.39	24.33	30.76	20.32	-7.32
Slice 27	82.46	25.49	17.76	9.71	-5.64
Slice 28	85.50	26.66	0.48	2.93	1.72
Slice 29	88.50	27.82	-21.58	2.61	1.83
Slice 30	92.00	29.20	-46.26	1.23	0.86

Morgenstern-Price-Aguas Abajo Reporte del Programa

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 163
 Date: 13/10/2019
 Time: 21:04:16
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Llena.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 10:20:52

Project Settings

Length(L) Units: Metros
 Time(t) Units: Segundos
 Force(F) Units: Kilonewtons
 Pressure(p) Units: KPA
 Strength Units: KPA
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
 View: 2D
 Element Thickness: 1

Analysis Settings

MP-Aguas Abajo

Description: Tesis Miguel Narvaez
 Kind: SLOPE/W
 Parent: Filtración en Estado Estacionario Presa Llena
 Method: Morgenstern-Price
 Settings
 Side Function
 Interslice force function option: Medio-Seno
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Izquierda a Derecha

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Search Method: Localizador de raíz

Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

Materials

Material de Relleno

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 1.78 kN/m³

Cohesion: 0 KPA

Phi: 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto

Left Coordinate: (94; 30) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Punto

Right Coordinate: (174; 0) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 5

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)

Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	84	28

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Material de Relleno	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.819

Volume: 159.24142 m³

Weight: 283.44974 kN

Resisting Moment: 114,388.34 kN-m

Activating Moment: 62,867.337 kN-m

Resisting Force: 172.87115 kN

Activating Force: 95.014304 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 6

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 6

Exit: (174; 0) m

Entry: (94; 30) m

Radius: 617.1902 m

Center: (350.1902; 591.50719) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	95.250	29.433	-61.299	0.857	0.600
Slice 2	97.750	28.306	-65.606	2.557	1.791
Slice 3	100.339	27.153	-69.103	3.484	2.440
Slice 4	103.018	25.974	-65.694	3.640	2.549
Slice 5	105.696	24.811	-61.310	3.776	2.644
Slice 6	108.375	23.663	-57.309	3.893	2.726
Slice 7	111.054	22.530	-53.572	3.991	2.794
Slice 8	113.732	21.411	-50.064	4.070	2.850
Slice 9	116.411	20.308	-46.793	4.131	2.893
Slice 10	119.089	19.219	-43.934	4.173	2.922
Slice 11	121.768	18.144	-41.428	4.195	2.937
Slice 12	124.446	17.085	-39.128	4.197	2.939
Slice 13	127.125	16.039	-37.054	4.178	2.926
Slice 14	129.804	15.008	-35.651	4.138	2.898
Slice 15	132.482	13.991	-34.420	4.076	2.854
Slice 16	135.161	12.988	-33.756	3.991	2.794
Slice 17	137.839	12.000	-32.737	3.882	2.718
Slice 18	140.518	11.025	-32.145	3.748	2.625
Slice 19	143.196	10.065	-31.688	3.590	2.514
Slice 20	145.875	9.118	-34.288	3.406	2.385
Slice 21	148.554	8.185	-36.504	3.196	2.238
Slice 22	151.232	7.266	-38.615	2.961	2.073
Slice 23	153.911	6.361	-35.860	2.700	1.890
Slice 24	156.589	5.469	-34.072	2.413	1.690
Slice 25	159.268	4.591	-33.277	2.103	1.472
Slice 26	161.946	3.727	-30.164	1.768	1.238
Slice 27	164.625	2.875	-24.968	1.411	0.988
Slice 28	167.304	2.038	-18.337	1.032	0.722
Slice 29	169.982	1.213	-11.782	0.632	0.443
Slice 30	172.661	0.402	-3.946	0.214	0.150

Morgenstern-Price-Aguas Arriba-Reporte del Programa

File Information

File Version: 8.15
Revision Number: 163
Date: 13/10/2019
Time: 21:04:16
Tool Version: 8.15.1.11236
File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Llena.gsz
Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\
Last Solved Date: 14/10/2019
Last Solved Time: 10:20:52

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

MP-Aguas Arriba

Description: Tesis Miguel Narvaez
Kind: SLOPE/W
Parent: Filtración en Estado Estacionario Presa Llena
Method: Morgenstern-Price
Settings
 Side Function
 Interslice force function option: Medio-Seno
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
 Direction of movement: Derecha a Izquierda
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante
 Advanced
 Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
 Search Method: Localizador de raíz
 Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
 Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
 Max Absolute Lambda: 2

Materials

Material de Relleno

Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 1.78 kN/m³
 Cohesion!: 0 KPA
 Phi!: 35 °
 Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
 Left Coordinate: (1; 0.333333) m
 Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (95; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 5

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	84	28

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
--	----------	--------	------------------------

Region 1	Material de Relleno	1;2;5;3;4	2,745
----------	---------------------	-----------	-------

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.895

Volume: 192.76687 m³

Weight: 343.12503 kN

Resisting Moment: -559,117.83 kN-m

Activating Moment: -295,103.17 kN-m

Resisting Force: -792.34983 kN

Activating Force: -418.19661 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 6

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 6

Exit: (0.9999999; 0.3333333) m

Entry: (95; 30) m

Radius: 673.26298 m

Center: (-154.08798; 655.49038) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	2.596	0.715	267.581	266.334	-0.873
Slice 2	5.788	1.487	260.009	256.376	-2.544
Slice 3	8.981	2.276	252.274	246.447	-4.080
Slice 4	12.173	3.081	244.376	236.544	-5.484
Slice 5	15.365	3.903	236.314	226.664	-6.757
Slice 6	18.558	4.742	228.085	216.801	-7.901
Slice 7	21.750	5.597	219.686	206.947	-8.920
Slice 8	24.942	6.469	211.116	197.095	-9.818
Slice 9	28.135	7.358	202.369	187.235	-10.597
Slice 10	31.327	8.264	193.442	177.357	-11.263
Slice 11	34.519	9.187	184.330	167.451	-11.818
Slice 12	37.712	10.128	175.028	157.509	-12.267
Slice 13	40.904	11.085	165.532	147.520	-12.612
Slice 14	44.096	12.060	155.835	137.476	-12.855
Slice 15	47.288	13.051	145.931	127.368	-12.998
Slice 16	50.481	14.061	135.820	117.191	-13.044
Slice 17	53.673	15.088	125.489	106.938	-12.990
Slice 18	56.865	16.132	114.939	96.606	-12.837
Slice 19	60.058	17.194	104.166	86.192	-12.586

Slice 20	63.250	18.274	93.159	75.694	-12.229
Slice 21	66.442	19.372	81.916	65.114	-11.765
Slice 22	69.635	20.488	70.428	54.452	-11.187
Slice 23	72.827	21.621	58.656	43.706	-10.468
Slice 24	76.019	22.773	46.551	32.876	-9.575
Slice 25	79.212	23.943	33.984	21.949	-8.427
Slice 26	82.404	25.132	20.342	10.854	-6.644
Slice 27	85.500	26.302	2.961	3.817	0.599
Slice 28	88.500	27.453	-17.980	3.190	2.234
Slice 29	91.250	28.521	-37.165	2.300	1.611
Slice 30	93.750	29.505	-55.375	0.769	0.538

4.8 RESUMEN DE PROGRAMA PRESA LLENA

BISHOP-AGUA ABAJO-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15

Revision Number: 40

Date: 13/10/2019

Time: 19:23:29

Tool Version: 8.15.1.11236

File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Media Llena.gsz

Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\

Last Solved Date: 14/10/2019

Last Solved Time: 13:15:31

Project Settings

Length(L) Units: Metros

Time(t) Units: Segundos

Force(F) Units: Kilonewtons

Pressure(p) Units: KPA

Strength Units: KPA

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³

View: 2D

Element Thickness: 1

Analysis Settings

BISHOP-Agua Abajo

Kind: SLOPE/W

Parent: Filtracion a Mitad de Capacidad

Method: Cuerpo de Ingenieros #1

Settings

PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Izquierda a Derecha

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Nuevo Material

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 1.78 kN/m³

Cohesion: 0 KPA

Phi: 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto

Left Coordinate: (94; 30) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Punto

Right Coordinate: (174; 0) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30

Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	42	14

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Nuevo Material	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.819

Volume: 159.24142 m³

Weight: 283.44974 kN

Resisting Force: 172.86589 kN

Activating Force: 95.011743 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (174; 0) m

Entry: (94; 30) m

Radius: 617.1902 m

Center: (350.1902; 591.50719) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	95.250	29.433	-211.377	0.841	0.589
Slice 2	97.750	28.306	-215.647	2.521	1.765
Slice 3	100.339	27.153	-213.834	3.452	2.417
Slice 4	103.018	25.974	-204.271	3.624	2.538
Slice 5	105.696	24.811	-193.842	3.775	2.644
Slice 6	108.375	23.663	-183.020	3.905	2.734
Slice 7	111.054	22.530	-172.544	4.012	2.810
Slice 8	113.732	21.411	-162.451	4.098	2.870
Slice 9	116.411	20.308	-152.737	4.162	2.914
Slice 10	119.089	19.219	-143.415	4.204	2.943
Slice 11	121.768	18.144	-134.494	4.223	2.957
Slice 12	124.446	17.085	-125.962	4.221	2.955
Slice 13	127.125	16.039	-117.795	4.195	2.938

Slice 14	129.804	15.008	-109.990	4.148	2.904
Slice 15	132.482	13.991	-102.429	4.077	2.855
Slice 16	135.161	12.988	-95.412	3.984	2.790
Slice 17	137.839	12.000	-88.299	3.868	2.708
Slice 18	140.518	11.025	-81.813	3.729	2.611
Slice 19	143.196	10.065	-75.633	3.567	2.497
Slice 20	145.875	9.118	-70.240	3.381	2.368
Slice 21	148.554	8.185	-65.086	3.173	2.221
Slice 22	151.232	7.266	-59.933	2.940	2.059
Slice 23	153.911	6.361	-53.669	2.684	1.880
Slice 24	156.589	5.469	-47.500	2.404	1.684
Slice 25	159.268	4.591	-41.471	2.101	1.471
Slice 26	161.946	3.727	-34.759	1.773	1.242
Slice 27	164.625	2.875	-27.406	1.421	0.995
Slice 28	167.304	2.038	-19.641	1.045	0.732
Slice 29	169.982	1.213	-11.878	0.644	0.451
Slice 30	172.661	0.402	-3.945	0.219	0.153

BISHOP-AGUA ARRIBA-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15

Revision Number: 40

Date: 13/10/2019

Time: 19:23:29

Tool Version: 8.15.1.11236

File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Media Llena.gsz

Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO

PRESA\PRESAS REALES\

Last Solved Date: 14/10/2019

Last Solved Time: 13:15:31

Project Settings

Length(L) Units: Metros

Time(t) Units: Segundos

Force(F) Units: Kilonewtons

Pressure(p) Units: KPA

Strength Units: KPA

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³

View: 2D

Element Thickness: 1

Analysis Settings

BISHOP-Agua Arriba

Kind: SLOPE/W

Parent: Filtracion a Mitad de Capacidad

Method: Cuerpo de Ingenieros #1

Settings

PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Derecha a Izquierda

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Nuevo Material

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 1.78 kN/m³

Cohesion: 0 KPA

Phi: 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto

Left Coordinate: (0; 0) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Punto

Right Coordinate: (97; 30) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	42	14

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Nuevo Material	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 2.492

Volume: 231.60034 m³

Weight: 412.24861 kN

Resisting Force: -236.89004 kN

Activating Force: -95.058509 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (0; 0) m

Entry: (97; 30) m

Radius: 689.33788 m

Center: (-154.62538; 671.77206) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	1.6154	0.3759	133.61139	128.707	-3.434172
Slice 2	4.8462	1.136	126.15763	119.593	-4.596893
Slice 3	8.0769	1.9124	118.54194	110.406	-5.696584
Slice 4	11.308	2.7054	110.76214	101.147	-6.732533
Slice 5	14.538	3.515	102.81306	91.8131	-7.702289
Slice 6	17.769	4.3411	94.688597	82.4025	-8.60285
Slice 7	21	5.184	86.379138	72.9129	-9.429163
Slice 8	24.231	6.0436	77.868854	63.341	-10.17252
Slice 9	27.462	6.92	69.149471	53.6844	-10.82878
Slice 10	30.692	7.8133	60.187862	43.9368	-11.37909

Slice 11	33.923	8.7235	50.965822	34.0943	-11.81358
Slice 12	37.154	9.6508	41.418078	24.1451	-12.09466
Slice 13	40.385	10.595	31.328867	14.0537	-12.09621
Slice 14	43.6	11.552	19.98525	8.09513	-8.325549
Slice 15	46.8	12.521	7.6771459	6.31257	-0.955485
Slice 16	50	13.507	-4.64139	5.21599	3.652278
Slice 17	53.2	14.511	-16.966524	5.32138	3.726067
Slice 18	56.4	15.531	-29.408815	5.39849	3.780061
Slice 19	59.6	16.569	-42.009792	5.44718	3.814159
Slice 20	62.8	17.624	-54.804448	5.46732	3.828258
Slice 21	66	18.696	-67.803617	5.45874	3.822253
Slice 22	69.2	19.786	-81.024431	5.4213	3.796036
Slice 23	72.4	20.893	-94.471958	5.35484	3.749497
Slice 24	75.6	22.018	-108.15898	5.25919	3.682522
Slice 25	78.8	23.161	-122.12375	5.13419	3.594998
Slice 26	82	24.321	-136.42474	4.97967	3.486805
Slice 27	85.2	25.5	-151.1962	4.79547	3.357824
Slice 28	88.4	26.697	-166.85325	4.5814	3.207932
Slice 29	91.75	27.969	-185.17278	3.35947	2.352328
Slice 30	95.25	29.319	-210.13442	1.12604	0.788461

JANBU-AGUA ABAJO-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15

Revision Number: 40

Date: 13/10/2019

Time: 19:23:29

Tool Version: 8.15.1.11236

File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Media Llena.gsz

Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO

PRESA\PRESAS REALES\

Last Solved Date: 14/10/2019

Last Solved Time: 13:15:31

Project Settings

Length(L) Units: Metros

Time(t) Units: Segundos

Force(F) Units: Kilonewtons

Pressure(p) Units: KPA

Strength Units: KPA

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³

View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

JANBU-Agua Abajo

Kind: SLOPE/W
Parent: Filtracion a Mitad de Capacidad
Method: JANBU
Settings
PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
Direction of movement: Izquierda a Derecha
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entrada-Salida
Critical slip surfaces saved: 1
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack
Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
F of S Calculation Option: Constante
Advanced
Number of Slices: 30
F of S Tolerance: 0.001
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Nuevo Material

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1.78 kN/m³
Cohesion': 0 KPA
Phi': 35 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
Left Coordinate: (93.112; 30) m
Left-Zone Increment: 4
Right Projection: Punto
Right Coordinate: (173.90491; 0.038036) m
Right-Zone Increment: 4
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	42	14

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Nuevo Material	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 2

F of S: 1.830

Volume: 564.61673 m³

Weight: 1,005.0178 kN

Resisting Force: 604.61561 kN

Activating Force: 330.41995 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (173.90491; 0.038036) m

Entry: (93.112; 30) m

Radius: 116.72163 m

Center: (171.22748; 116.72896) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	94.58	28.72	-201.05	1.71	1.20
Slice 2	97.53	26.24	-182.87	5.11	3.58
Slice 3	100.34	24.02	-161.87	7.50	5.25
Slice 4	103.01	22.03	-141.25	8.88	6.22
Slice 5	105.69	20.16	-123.57	10.13	7.09
Slice 6	108.36	18.40	-107.37	11.24	7.87

Slice 7	111.04	16.74	-92.67	12.22	8.56
Slice 8	113.71	15.17	-79.53	13.08	9.16
Slice 9	116.39	13.70	-67.74	13.81	9.67
Slice 10	119.06	12.32	-57.12	14.42	10.10
Slice 11	121.74	11.03	-47.48	14.91	10.44
Slice 12	124.41	9.82	-38.79	15.27	10.69
Slice 13	127.09	8.68	-31.13	15.52	10.87
Slice 14	129.76	7.63	-24.32	15.64	10.95
Slice 15	132.44	6.65	-18.42	15.65	10.95
Slice 16	135.11	5.74	-13.30	15.53	10.87
Slice 17	137.79	4.91	-9.03	15.30	10.71
Slice 18	140.47	4.14	-5.48	14.94	10.46
Slice 19	143.14	3.45	-2.77	14.47	10.13
Slice 20	145.82	2.82	-0.79	13.87	9.71
Slice 21	148.49	2.25	0.61	13.20	8.81
Slice 22	151.17	1.75	1.36	12.40	7.73
Slice 23	153.84	1.32	1.58	11.44	6.90
Slice 24	156.52	0.95	1.34	10.33	6.29
Slice 25	159.19	0.64	0.82	9.08	5.79
Slice 26	161.87	0.39	0.28	7.71	5.21
Slice 27	164.54	0.21	-0.07	6.23	4.36
Slice 28	167.22	0.08	-0.16	4.62	3.23
Slice 29	169.89	0.02	-0.15	2.87	2.01
Slice 30	172.57	0.02	-0.22	0.98	0.69

JANBU-AGUA ARRIBA-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15

Revision Number: 40

Date: 13/10/2019

Time: 19:23:29

Tool Version: 8.15.1.11236

File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Media Llena.gsz

Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO

PRESA\PRESAS REALES\

Last Solved Date: 14/10/2019

Last Solved Time: 13:15:30

Project Settings

Length(L) Units: Metros

Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

JANBU-Agua Arriba

Kind: SLOPE/W
Parent: Filtracion a Mitad de Capacidad
Method: JANBU
Settings
PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
Direction of movement: Derecha a Izquierda
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entrada-Salida
Critical slip surfaces saved: 1
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack
Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
F of S Calculation Option: Constante
Advanced
Number of Slices: 30
F of S Tolerance: 0.001
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Nuevo Material

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 1.78 kN/m³
Cohesion: 0 KPA
Phi: 35 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
Left Coordinate: (1; 0.333333) m
Left-Zone Increment: 4
Right Projection: Punto

Right Coordinate: (94.67215; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	42	14

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Nuevo Material	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1
 F of S: 2.364
 Volume: 187.01621 m³
 Weight: 332.88885 kN
 Resisting Force: -207.16791 kN
 Activating Force: -87.632624 kN
 F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5
 F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5
 Exit: (0.9999999; 0.3333333) m
 Entry: (94.67215; 30) m
 Radius: 671.83316 m
 Center: (-154.46543; 653.9313) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	2.58	0.71	130.31	129.21	-0.77
Slice 2	5.73	1.48	122.80	119.57	-2.26
Slice 3	8.88	2.26	115.12	109.89	-3.66
Slice 4	12.04	3.06	107.29	100.18	-4.98
Slice 5	15.19	3.87	99.28	90.44	-6.20
Slice 6	18.35	4.71	91.11	80.66	-7.32
Slice 7	21.50	5.55	82.75	70.84	-8.34
Slice 8	24.65	6.42	74.20	60.99	-9.25
Slice 9	27.81	7.30	65.45	51.10	-10.05
Slice 10	30.96	8.20	56.47	41.17	-10.72
Slice 11	34.12	9.11	47.24	31.19	-11.24
Slice 12	37.27	10.04	37.70	21.16	-11.58
Slice 13	40.42	10.99	27.67	11.07	-11.62
Slice 14	43.60	11.96	16.12	5.55	-7.40
Slice 15	46.80	12.96	3.44	4.60	0.81
Slice 16	50.00	13.97	-9.17	4.39	3.07
Slice 17	53.20	15.00	-21.78	4.44	3.11
Slice 18	56.40	16.05	-34.51	4.46	3.12
Slice 19	59.60	17.12	-47.40	4.45	3.12
Slice 20	62.80	18.20	-60.49	4.42	3.09
Slice 21	66.00	19.30	-73.80	4.35	3.05
Slice 22	69.20	20.42	-87.33	4.26	2.98
Slice 23	72.40	21.56	-101.10	4.13	2.90
Slice 24	75.60	22.72	-115.11	3.98	2.79
Slice 25	78.80	23.90	-129.42	3.80	2.66
Slice 26	82.00	25.09	-144.08	3.59	2.52
Slice 27	85.20	26.30	-159.28	3.35	2.35
Slice 28	88.40	27.53	-173.76	3.16	2.21
Slice 29	92.34	29.08	-188.48	2.95	2.06
Slice 30	95.78	30.41	-203.34	2.73	1.91

MORGENSTERN-PRICE-AGUA ABAJO-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15
Revision Number: 40
Date: 13/10/2019
Time: 19:23:29
Tool Version: 8.15.1.11236
File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Media Llena.gsz
Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\
Last Solved Date: 14/10/2019
Last Solved Time: 13:15:30

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

MP-Agua Abajo

Kind: SLOPE/W
Parent: Filtracion a Mitad de Capacidad
Method: Morgenstern-Price
Settings
Side Function
Interslice force function option: Medio-Seno
PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
Direction of movement: Izquierda a Derecha
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entrada-Salida
Critical slip surfaces saved: 1
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack
Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
F of S Calculation Option: Constante
Advanced

Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
 Search Method: Localizador de raíz
 Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
 Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
 Max Absolute Lambda: 2

Materials

Nuevo Material

Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 1.78 kN/m³
 Cohesion': 0 KPA
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
 Left Coordinate: (93; 30) m
 Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (173.90491; 0.038036) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	42	14

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Nuevo Material	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 1.839

Volume: 176.1573 m³

Weight: 313.56 kN

Resisting Moment: 127,391.92 kN-m

Activating Moment: 69,276.587 kN-m

Resisting Force: 191.7533 kN

Activating Force: 104.28214 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (173.90491; 0.038036) m

Entry: (93; 30) m

Radius: 620.50802 m

Center: (348.42461; 595.49843) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	94.50	29.33	-207.21	1.02	0.71
Slice 2	97.50	27.99	-209.07	3.04	2.13
Slice 3	100.34	26.74	-206.29	4.11	2.88
Slice 4	103.01	25.59	-197.18	4.24	2.97
Slice 5	105.69	24.44	-187.09	4.35	3.05
Slice 6	108.36	23.31	-176.72	4.45	3.11
Slice 7	111.04	22.20	-166.67	4.52	3.17
Slice 8	113.71	21.10	-157.00	4.58	3.21
Slice 9	116.39	20.01	-147.70	4.62	3.23
Slice 10	119.06	18.94	-138.78	4.63	3.25
Slice 11	121.74	17.88	-130.24	4.63	3.24
Slice 12	124.41	16.84	-122.05	4.61	3.23
Slice 13	127.09	15.81	-114.24	4.57	3.20
Slice 14	129.76	14.80	-106.77	4.51	3.16
Slice 15	132.44	13.80	-99.54	4.43	3.10
Slice 16	135.11	12.81	-92.80	4.32	3.02
Slice 17	137.79	11.84	-86.03	4.19	2.93
Slice 18	140.47	10.88	-79.80	4.03	2.82
Slice 19	143.14	9.93	-73.85	3.85	2.69
Slice 20	145.82	9.00	-68.09	3.64	2.55
Slice 21	148.49	8.08	-63.12	3.41	2.39
Slice 22	151.17	7.18	-58.39	3.15	2.21

Slice 23	153.84	6.29	-52.45	2.87	2.01
Slice 24	156.52	5.41	-46.57	2.56	1.79
Slice 25	159.19	4.55	-40.86	2.22	1.56
Slice 26	161.87	3.70	-34.39	1.87	1.31
Slice 27	164.54	2.86	-27.24	1.49	1.04
Slice 28	167.22	2.04	-19.65	1.09	0.76
Slice 29	169.89	1.23	-12.04	0.66	0.47
Slice 30	172.57	0.43	-4.25	0.22	0.16

MORGENSTERN-PRICE-AGUA ARRIBA-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15

Revision Number: 40

Date: 13/10/2019

Time: 19:23:29

Tool Version: 8.15.1.11236

File Name: PRESA SIN FILTRO-Presa Media Llena.gsz

Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO

PRESA\PRESAS REALES\

Last Solved Date: 14/10/2019

Last Solved Time: 13:15:30

Project Settings

Length(L) Units: Metros

Time(t) Units: Segundos

Force(F) Units: Kilonewtons

Pressure(p) Units: KPA

Strength Units: KPA

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³

View: 2D

Element Thickness: 1

Analysis Settings

MP-Agua Arriba

Kind: SLOPE/W

Parent: Filtracion a Mitad de Capacidad

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Medio-Seno

PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Derecha a Izquierda
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
 F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante
 Advanced
 Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
 Search Method: Localizador de raíz
 Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
 Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
 Max Absolute Lambda: 2

Materials

Nuevo Material

Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 1.78 kN/m³
 Cohesion: 0 KPA
 Phi: 35 °
 Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
 Left Coordinate: (1; 0.333333) m
 Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (94.67215; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30

Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0
Point 5	42	14

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Nuevo Material	1;2;5;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 2.362

Volume: 187.01621 m³

Weight: 332.88885 kN

Resisting Moment: -142,861.85 kN-m

Activating Moment: -60,479.689 kN-m

Resisting Force: -207.14217 kN

Activating Force: -87.696282 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (0.9999999; 0.3333333) m

Entry: (94.67215; 30) m

Radius: 671.83316 m

Center: (-154.46543; 653.9313) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	2.58	0.71	130.31	129.24	-0.75
Slice 2	5.73	1.48	122.80	119.63	-2.22
Slice 3	8.88	2.26	115.12	109.97	-3.61
Slice 4	12.04	3.06	107.29	100.27	-4.91
Slice 5	15.19	3.87	99.28	90.52	-6.14
Slice 6	18.35	4.71	91.11	80.73	-7.27
Slice 7	21.50	5.55	82.75	70.89	-8.30
Slice 8	24.65	6.42	74.20	61.02	-9.23
Slice 9	27.81	7.30	65.45	51.10	-10.05
Slice 10	30.96	8.20	56.47	41.13	-10.74
Slice 11	34.12	9.11	47.24	31.13	-11.28
Slice 12	37.27	10.04	37.70	21.07	-11.64

Slice 13	40.42	10.99	27.67	10.96	-11.70
Slice 14	43.60	11.96	16.12	5.46	-7.46
Slice 15	46.80	12.96	3.44	4.58	0.80
Slice 16	50.00	13.97	-9.17	4.38	3.07
Slice 17	53.20	15.00	-21.78	4.43	3.10
Slice 18	56.40	16.05	-34.51	4.45	3.12
Slice 19	59.60	17.12	-47.40	4.45	3.11
Slice 20	62.80	18.20	-60.49	4.41	3.09
Slice 21	66.00	19.30	-73.80	4.35	3.04
Slice 22	69.20	20.42	-87.33	4.25	2.98
Slice 23	72.40	21.56	-101.10	4.13	2.89
Slice 24	75.60	22.72	-115.11	3.98	2.79
Slice 25	78.80	23.90	-129.42	3.80	2.66
Slice 26	82.00	25.09	-144.08	3.59	2.51
Slice 27	85.20	26.30	-159.28	3.35	2.35
Slice 28	88.40	27.53	-175.38	3.08	2.16
Slice 29	92.34	29.08	-197.78	1.47	1.03
Slice 30	95.54	30.30	-210.15	1.51	1.06

4.9 RESUMEN DE PROGRAMA PRESA VACIA

BISHOP-AGUAS ABAJO-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 31
 Date: 14/10/2019
 Time: 16:57:48
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-VACIA.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 16:58:30

Project Settings

Length(L) Units: Metros
 Time(t) Units: Segundos
 Force(F) Units: Kilonewtons
 Pressure(p) Units: KPA
 Strength Units: KPA
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
 View: 2D

Element Thickness: 1

Analysis Settings

Bishop-Aguas Abajo

Kind: SLOPE/W

Parent: PRESA VACIA

Method: Cuerpo de Ingenieros #1

Settings

PWP Conditions Source: (ninguno)

Slip Surface

Direction of movement: Izquierda a Derecha

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Arcilla

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 18.5 kN/m³

Cohesion: 1.86 KPA

Phi: 36.2 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Rango

Left-Zone Left Coordinate: (90.79037; 30) m

Left-Zone Right Coordinate: (104; 28) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Rango

Right-Zone Left Coordinate: (153.14717; 8.341132) m

Right-Zone Right Coordinate: (174; 0) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Arcilla	1;2;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 97

F of S: 2.009

Volume: 387.48208 m³

Weight: 7,168.4185 kN

Resisting Force: 4,734.6426 kN

Activating Force: 2,356.5992 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 125

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 125

Exit: (174; 0) m

Entry: (100.84439; 29.262245) m

Radius: 109.4646 m

Center: (175.35224; 109.45625) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	102.06	28.16	0.00	7.04	5.15
Slice 2	104.50	26.03	0.00	21.53	15.76
Slice 3	106.94	24.02	0.00	35.19	25.75
Slice 4	109.38	22.12	0.00	47.98	35.11
Slice 5	111.82	20.33	0.00	59.89	43.83
Slice 6	114.26	18.64	0.00	70.91	51.90
Slice 7	116.69	17.05	0.00	81.01	59.29

Slice 8	119.13	15.54	0.00	90.19	66.01
Slice 9	121.57	14.12	0.00	98.43	72.04
Slice 10	124.01	12.79	0.00	105.71	77.37
Slice 11	126.45	11.53	0.00	112.01	81.98
Slice 12	128.89	10.35	0.00	117.32	85.87
Slice 13	131.33	9.24	0.00	121.62	89.01
Slice 14	133.76	8.21	0.00	124.88	91.40
Slice 15	136.20	7.24	0.00	127.09	93.01
Slice 16	138.64	6.34	0.00	128.22	93.84
Slice 17	141.08	5.50	0.00	128.24	93.86
Slice 18	143.52	4.73	0.00	127.13	93.04
Slice 19	145.96	4.02	0.00	124.85	91.38
Slice 20	148.40	3.37	0.00	121.37	88.83
Slice 21	150.83	2.78	0.00	116.66	85.38
Slice 22	153.27	2.25	0.00	110.66	80.99
Slice 23	155.71	1.78	0.00	103.34	75.64
Slice 24	158.15	1.36	0.00	94.65	69.27
Slice 25	160.59	1.00	0.00	84.53	61.87
Slice 26	163.03	0.69	0.00	72.92	53.37
Slice 27	165.47	0.45	0.00	59.75	43.73
Slice 28	167.90	0.25	0.00	44.95	32.90
Slice 29	170.34	0.11	0.00	28.44	20.81
Slice 30	172.78	0.03	0.00	10.13	7.41

BISHOP-AGUAS ARRIBA-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 31
 Date: 14/10/2019
 Time: 16:57:48
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-VACIA.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 16:58:31

Project Settings

Length(L) Units: Metros

Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

Bishop-Aguas Arriba

Kind: SLOPE/W
Parent: PRESA VACIA
Method: Cuerpo de Ingenieros #1
Settings
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
 Direction of movement: Derecha a Izquierda
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante
Advanced
 Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Arcilla

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m³
Cohesion!: 1.86 KPA
Phi!: 36.2 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
Left Coordinate: (0; 0) m
Left-Zone Increment: 4
Right Projection: Punto

Right Coordinate: (95; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Arcilla	1;2;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 2
 F of S: 2.274
 Volume: 738.01929 m³
 Weight: 13,653.357 kN
 Resisting Force: 9,198.6547 kN
 Activating Force: 4,045.1111 kN
 F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5
 F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5
 Exit: (0; 0) m
 Entry: (95; 30) m
 Radius: 128.59602 m
 Center: (11.798864; 128.0536) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	1.69	0.00	0.00	9.20	6.73
Slice 2	5.06	0.00	0.00	28.07	20.55
Slice 3	8.43	0.00	0.00	46.94	34.36

Slice 4	11.80	0.00	0.00	65.81	48.17
Slice 5	15.17	0.00	0.00	84.68	61.98
Slice 6	18.54	0.00	0.00	103.55	75.79
Slice 7	21.91	0.00	0.00	122.42	89.60
Slice 8	25.18	0.17	-1.62	137.77	100.84
Slice 9	28.34	0.54	-5.26	149.21	109.20
Slice 10	31.50	0.99	-9.67	159.30	116.59
Slice 11	34.66	1.52	-14.88	168.03	122.98
Slice 12	37.83	2.13	-20.88	175.40	128.37
Slice 13	40.99	2.82	-27.70	181.37	132.74
Slice 14	44.15	3.60	-35.35	185.92	136.08
Slice 15	47.31	4.47	-43.83	189.04	138.36
Slice 16	50.47	5.42	-53.18	190.68	139.56
Slice 17	53.64	6.47	-63.40	190.82	139.66
Slice 18	56.80	7.60	-74.53	189.42	138.63
Slice 19	59.96	8.83	-86.59	186.43	136.44
Slice 20	63.12	10.16	-99.60	181.80	133.06
Slice 21	66.28	11.58	-113.60	175.48	128.43
Slice 22	69.45	13.12	-128.63	167.41	122.52
Slice 23	72.61	14.76	-144.73	157.51	115.28
Slice 24	75.77	16.51	-161.95	145.71	106.64
Slice 25	78.93	18.39	-180.33	131.92	96.55
Slice 26	82.09	20.39	-199.95	116.03	84.92
Slice 27	85.26	22.52	-220.86	97.92	71.67
Slice 28	88.42	24.79	-243.16	77.46	56.69
Slice 29	91.25	26.95	-264.30	50.18	36.73
Slice 30	93.75	28.97	-284.07	16.44	12.03

JANBU-AGUAS ABAJO-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 31
 Date: 14/10/2019
 Time: 16:57:48
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-VACIA.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 16:58:30

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

Janbu-Aguas Abajo

Kind: SLOPE/W
Parent: PRESA VACIA
Method: JANBU
Settings
 PWP Conditions Source: (ninguno)
Slip Surface
 Direction of movement: Izquierda a Derecha
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante
Advanced
 Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Arcilla

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m³
Cohesion': 1.86 KPA
Phi': 36.2 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
Left Coordinate: (95; 30) m

Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (174; 0) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Arcilla	1;2;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 2
 F of S: 1.967
 Volume: 514.32785 m³
 Weight: 9,515.0653 kN
 Resisting Force: 6,228.0991 kN
 Activating Force: 3,166.1704 kN
 F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5
 F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5
 Exit: (174; 0) m
 Entry: (95; 30) m
 Radius: 115.35618 m
 Center: (172.60675; 115.34776) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	96.00	29.11	0.00	11.72	8.58

Slice 2	98.00	27.38	0.00	36.30	26.57
Slice 3	100.34	25.45	0.00	56.56	41.40
Slice 4	103.01	23.37	0.00	72.06	52.74
Slice 5	105.69	21.40	0.00	86.11	63.02
Slice 6	108.36	19.55	0.00	98.75	72.28
Slice 7	111.04	17.81	0.00	110.01	80.52
Slice 8	113.71	16.17	0.00	119.91	87.76
Slice 9	116.38	14.63	0.00	128.47	94.02
Slice 10	119.06	13.18	0.00	135.70	99.32
Slice 11	121.73	11.83	0.00	141.63	103.66
Slice 12	124.41	10.55	0.00	146.27	107.06
Slice 13	127.08	9.36	0.00	149.63	109.51
Slice 14	129.76	8.25	0.00	151.72	111.04
Slice 15	132.43	7.22	0.00	152.54	111.65
Slice 16	135.11	6.27	0.00	152.11	111.33
Slice 17	137.78	5.38	0.00	150.41	110.09
Slice 18	140.46	4.57	0.00	147.46	107.93
Slice 19	143.13	3.83	0.00	143.25	104.84
Slice 20	145.81	3.16	0.00	137.77	100.83
Slice 21	148.48	2.55	0.00	131.02	95.90
Slice 22	151.15	2.01	0.00	123.00	90.02
Slice 23	153.83	1.54	0.00	113.68	83.20
Slice 24	156.50	1.13	0.00	103.05	75.42
Slice 25	159.18	0.78	0.00	91.10	66.67
Slice 26	161.85	0.50	0.00	77.81	56.95
Slice 27	164.53	0.28	0.00	63.15	46.22
Slice 28	167.20	0.13	0.00	47.11	34.48
Slice 29	169.88	0.03	0.00	29.65	21.70
Slice 30	172.61	0.00	0.00	10.31	7.55

JANBU-AGUAS ARRIBA-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15

Revision Number: 31

Date: 14/10/2019

Time: 16:57:48

Tool Version: 8.15.1.11236

File Name: PRESA SIN FILTRO-VACIA.gsz

Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\

Last Solved Date: 14/10/2019
Last Solved Time: 16:58:31

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

Janbu-Aguas Arriba

Kind: SLOPE/W
Parent: PRESA VACIA
Method: JANBU
Settings
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente
Slip Surface
 Direction of movement: Derecha a Izquierda
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante
Advanced
 Number of Slices: 30
 F of S Tolerance: 0.001
 Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Materials

Arcilla

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m³
Cohesion: 1.86 KPA
Phi: 36.2 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
 Left Coordinate: (0; 0) m
 Left-Zone Increment: 4
 Right Projection: Punto
 Right Coordinate: (95; 30) m
 Right-Zone Increment: 4
 Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
 Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Arcilla	1;2;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 2
 F of S: 2.359
 Volume: 738.01929 m³
 Weight: 13,653.357 kN
 Resisting Force: 9,260.8498 kN
 Activating Force: 3,925.8182 kN
 F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5
 F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5
 Exit: (0; 0) m
 Entry: (95; 30) m
 Radius: 128.59602 m
 Center: (11.798864; 128.0536) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	1.69	0.00	0.00	10.39	7.61
Slice 2	5.06	0.00	0.00	31.18	22.82
Slice 3	8.43	0.00	0.00	51.97	38.04
Slice 4	11.80	0.00	0.00	72.76	53.25
Slice 5	15.17	0.00	0.00	93.55	68.47
Slice 6	18.54	0.00	0.00	114.34	83.68
Slice 7	21.91	0.00	0.00	135.13	98.90
Slice 8	25.18	0.17	-1.62	147.34	107.84
Slice 9	28.34	0.54	-5.26	158.38	115.92
Slice 10	31.50	0.99	-9.67	167.83	122.83
Slice 11	34.66	1.52	-14.88	175.71	128.60
Slice 12	37.83	2.13	-20.88	182.03	133.23
Slice 13	40.99	2.82	-27.70	186.81	136.73
Slice 14	44.15	3.60	-35.35	190.05	139.10
Slice 15	47.31	4.47	-43.83	191.75	140.34
Slice 16	50.47	5.42	-53.18	191.92	140.46
Slice 17	53.64	6.47	-63.40	190.54	139.46
Slice 18	56.80	7.60	-74.53	187.62	137.32
Slice 19	59.96	8.83	-86.59	183.15	134.05
Slice 20	63.12	10.16	-99.60	177.11	129.62
Slice 21	66.28	11.58	-113.60	169.49	124.05
Slice 22	69.45	13.12	-128.63	160.27	117.30
Slice 23	72.61	14.76	-144.73	149.43	109.36
Slice 24	75.77	16.51	-161.95	136.94	100.22
Slice 25	78.93	18.39	-180.33	122.78	89.86
Slice 26	82.09	20.39	-199.95	106.90	78.24
Slice 27	85.26	22.52	-220.86	89.29	65.35
Slice 28	88.42	24.79	-243.16	69.88	51.14
Slice 29	91.25	26.95	-264.30	44.87	32.84
Slice 30	93.75	28.97	-284.07	14.70	10.76

MORGENSTERN-PRICE-AGUAS ABAJO-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15
Revision Number: 31
Date: 14/10/2019
Time: 16:57:48
Tool Version: 8.15.1.11236
File Name: PRESA SIN FILTRO-VACIA.gsz
Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
PRESA\PRESAS REALES\
Last Solved Date: 14/10/2019
Last Solved Time: 16:58:30

Project Settings

Length(L) Units: Metros
Time(t) Units: Segundos
Force(F) Units: Kilonewtons
Pressure(p) Units: KPA
Strength Units: KPA
Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
View: 2D
Element Thickness: 1

Analysis Settings

MG-Aguas Abajo

Kind: SLOPE/W
Parent: PRESA VACIA
Method: Morgenstern-Price
Settings
 Side Function
 Interslice force function option: Medio-Seno
 PWP Conditions Source: (ninguno)
Slip Surface
 Direction of movement: Izquierda a Derecha
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entrada-Salida
 Critical slip surfaces saved: 1
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack
 Tension Crack Option: (ninguno)
F of S Distribution
 F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30
F of S Tolerance: 0.001
Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m
Search Method: Localizador de raíz
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

Arcilla

Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m³
Cohesion: 1.86 KPA
Phi: 36.2 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto
Left Coordinate: (95; 30) m
Left-Zone Increment: 4
Right Projection: Punto
Right Coordinate: (174; 0) m
Right-Zone Increment: 4
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m
Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Arcilla	1;2;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 2

F of S: 2.034

Volume: 514.32785 m³

Weight: 9,515.0653 kN

Resisting Moment: 783,437.82 kN-m

Activating Moment: 385,269.34 kN-m

Resisting Force: 6,278.1019 kN

Activating Force: 3,086.3406 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (174; 0) m

Entry: (95; 30) m

Radius: 115.35618 m

Center: (172.60675; 115.34776) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	96.00	29.11	0.00	11.69	8.56
Slice 2	98.00	27.38	0.00	35.54	26.01
Slice 3	100.34	25.45	0.00	54.23	39.69
Slice 4	103.01	23.37	0.00	67.73	49.57
Slice 5	105.69	21.40	0.00	79.80	58.40
Slice 6	108.36	19.55	0.00	90.67	66.36
Slice 7	111.04	17.81	0.00	100.55	73.59
Slice 8	113.71	16.17	0.00	109.56	80.19
Slice 9	116.38	14.63	0.00	117.82	86.23
Slice 10	119.06	13.18	0.00	125.37	91.76
Slice 11	121.73	11.83	0.00	132.24	96.78
Slice 12	124.41	10.55	0.00	138.40	101.29
Slice 13	127.08	9.36	0.00	143.79	105.24
Slice 14	129.76	8.25	0.00	148.33	108.56
Slice 15	132.43	7.22	0.00	151.90	111.17
Slice 16	135.11	6.27	0.00	154.34	112.96
Slice 17	137.78	5.38	0.00	155.50	113.81
Slice 18	140.46	4.57	0.00	155.20	113.59
Slice 19	143.13	3.83	0.00	153.26	112.17
Slice 20	145.81	3.16	0.00	149.52	109.43
Slice 21	148.48	2.55	0.00	143.86	105.29

Slice 22	151.15	2.01	0.00	136.17	99.66
Slice 23	153.83	1.54	0.00	126.44	92.54
Slice 24	156.50	1.13	0.00	114.68	83.93
Slice 25	159.18	0.78	0.00	101.00	73.92
Slice 26	161.85	0.50	0.00	85.55	62.62
Slice 27	164.53	0.28	0.00	68.57	50.18
Slice 28	167.20	0.13	0.00	50.29	36.81
Slice 29	169.88	0.03	0.00	31.01	22.69
Slice 30	172.61	0.00	0.00	10.55	7.72

MORGENSTERN-PRICE-AGUAS Arriba-RESUMEN DE PROGRAMA

File Information

File Version: 8.15
 Revision Number: 31
 Date: 14/10/2019
 Time: 16:57:48
 Tool Version: 8.15.1.11236
 File Name: PRESA SIN FILTRO-VACIA.gsz
 Directory: D:\1 PROYECTO DE TESIS-MIGUEL\MODELADO
 PRESA\PRESAS REALES\
 Last Solved Date: 14/10/2019
 Last Solved Time: 16:58:31

Project Settings

Length(L) Units: Metros
 Time(t) Units: Segundos
 Force(F) Units: Kilonewtons
 Pressure(p) Units: KPA
 Strength Units: KPA
 Unit Weight of Water: 9.807 kN/m³
 View: 2D
 Element Thickness: 1

Analysis Settings

MG-Aguas Arriba

Kind: SLOPE/W
 Parent: PRESA VACIA
 Method: Morgenstern-Price
 Settings
 Side Function
 Interslice force function option: Medio-Seno
 PWP Conditions Source: Análisis Precedente

Slip Surface

Direction of movement: Derecha a Izquierda

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entrada-Salida

Critical slip surfaces saved: 1

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (ninguno)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constante

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0.001

Minimum Slip Surface Depth: 0.1 m

Search Method: Localizador de raíz

Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

Materials

Arcilla

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 18.5 kN/m³

Cohesion: 1.86 KPA

Phi: 36.2 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Punto

Left Coordinate: (0; 0) m

Left-Zone Increment: 4

Right Projection: Punto

Right Coordinate: (95; 30) m

Right-Zone Increment: 4

Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 0) m

Right Coordinate: (174; 0) m

Points

	X (m)	Y (m)

Point 1	99	30
Point 2	90	30
Point 3	0	0
Point 4	174	0

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Arcilla	1;2;3;4	2,745

Current Slip Surface

Slip Surface: 1

F of S: 2.424

Volume: 196.12839 m³

Weight: 3,628.3751 kN

Resisting Moment: 1,846,870.3 kN-m

Activating Moment: 761,759.03 kN-m

Resisting Force: 2,580.2685 kN

Activating Force: 1,064.3125 kN

F of S Rank (Analysis): superficies de deslizamiento 1 de 5

F of S Rank (Query): superficies de deslizamiento 1 de 5

Exit: (0; 0) m

Entry: (95; 30) m

Radius: 680.58261 m

Center: (-156.89511; 662.25117) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (KPA)	Base Normal Stress (KPA)	Frictional Strength (KPA)
Slice 1	1.61	0.38	-3.77	2.47	1.80
Slice 2	4.82	1.16	-11.40	7.60	5.56
Slice 3	8.04	1.96	-19.20	12.46	9.12
Slice 4	11.25	2.77	-27.15	17.02	12.46
Slice 5	14.46	3.60	-35.27	21.29	15.58
Slice 6	17.68	4.44	-43.55	25.24	18.47
Slice 7	20.89	5.30	-52.00	28.86	21.12
Slice 8	24.11	6.18	-60.62	32.16	23.54
Slice 9	27.32	7.08	-69.40	35.13	25.71
Slice 10	30.54	7.99	-78.34	37.76	27.63
Slice 11	33.75	8.92	-87.46	40.05	29.32
Slice 12	36.96	9.86	-96.74	42.02	30.75
Slice 13	40.18	10.83	-106.19	43.66	31.95
Slice 14	43.39	11.81	-115.81	44.98	32.92
Slice 15	46.61	12.81	-125.61	45.99	33.66
Slice 16	49.82	13.82	-135.57	46.69	34.17
Slice 17	53.04	14.86	-145.71	47.10	34.47
Slice 18	56.25	15.91	-156.01	47.22	34.56
Slice 19	59.46	16.98	-166.50	47.06	34.44
Slice 20	62.68	18.06	-177.15	46.62	34.12
Slice 21	65.89	19.17	-187.99	45.92	33.61
Slice 22	69.11	20.29	-198.99	44.95	32.90
Slice 23	72.32	21.43	-210.18	43.72	32.00
Slice 24	75.54	22.59	-221.55	42.23	30.91
Slice 25	78.75	23.77	-233.09	40.47	29.62
Slice 26	81.96	24.96	-244.81	38.44	28.14
Slice 27	85.18	26.18	-256.72	36.14	26.45
Slice 28	88.39	27.41	-268.81	33.55	24.55
Slice 29	91.25	28.52	-279.70	24.14	17.67
Slice 30	93.75	29.50	-289.35	7.91	5.79

5. DICUSION DE RESULTADOS

- Los caudales de aporte sgeneradodos por el modelo matemático precipitación escorrentía Lutz Schotz, mediante el software para estimar caudales promedios mensuales de la Autoridad nacional de agua guardan relación con los caudales generados por el Río Suyarita que han cerbido como caudales observados debido a que no se cuenta con información hidrométrica. Además es importante mensionar que al considerar el promedio de presipitaciones de e 6 estaciones cercanas a la cuenca en estudio se reduce la variación de los caudales reales porque son cuencas hidrológicamente similares.
- Los criterios de las normas USACE, USBR y ICOLD proporcionan dimensiones similares para el predimensinameiento de la geometría de la presa, pero depende de la experiencia en el diseño para asumir los valores mas adecuados.
- El cálculo el volumen de sedimentos en 0.0235 MMC y considerando que la toma se ubicara en la cota 2702.50 msnm, el volumen muerto de embalse 3,977.35 m³ , resultando un volumen total de embalse de 2.47 MMC
- La sección propuesta para la presa Pataraca presenta en general valores de factores de seguridad superiores a los mínimos permisibles indicados por la normatividad vigente. Los valores de seguridad obtenidos garantizan que los materiales propuestos para la construcción de la Presa son óptimos para una buena estabilidad de la misma.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones que han llegado para determinar la influencia del talud y material de préstamo en la estabilidad en el Río Pataraca-Santiago de Chuco para diferentes estados de operación aplicando análisis pseudo- estático.

1. De los estudios básicos ingeniería:

- Levantamiento topográfico en la zona de embalse del río Pataraca considerando ubicación del eje de la presa, con curvas de nivel a una equidistancia de 2 m, ubicando el eje de presa en la cota 2700 m.s.n.m. y una cota máxima 4250 m.s.n.m., pendiente promedio del cauce de río es 2.90% , es decir, que varía 2 metros y noventa centímetros cada 100 metros aproximadamente. Longitud del río más largo 14.51 km
- Del estudio de mecánica de suelos de canteras cercanas a la ubicación de la presa tenemos: Cantera Cerro Paraíso: arena arcillosa con grava (SC), ángulo de fricción 35°; Cohesión 0 Kg/cm², contenido de humedad 3.51% y peso específico de 1.78 Kg/m³. Cantera Quebrada seca: arena arcillosa (SC), ángulo de fricción 25.4°, Cohesión 0.01 Kg/cm² , peso específico 1.407 Kg/m³, Contenido de humedad 3.5%.De estas canteras se utilizara la Cantera Paraíso.

2. De los estudio hidrológicos tenemos

- Del estudio de la cuenca del río Pataraca: área parcial de 51.28 Km², perímetro de la cuenca 30.14 Km, longitud del río más largo 14.51 Km, altura mediana 3500 m.s.n.m. , altura media ponderada de 3522.99 m.s.n.m. , altitud media simple de 3475 m.s.n.m., rectángulo equivalente de L=9.88 Km y l_5.19 Km , densidad de drenaje de 0.52 , frecuencia de los ríos de 0.097, extensión media del escurrimiento superficial 0.481, tiempo de concentración 0.789 , índice de pendiente es 11.554

- Se determinó la demanda de agua para riego considerando el calendario de cultivo de la zona de riego y las cédulas de cultivo, aplicando el método de Christiansen Hargreaves

CAUDAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
REQUERIDO (m ³ /s)	0.50	0.29	0.14	0.00	0.25	0.35	0.27	0.23	0.15	0.08	0.16	0.41

- Para calcular los caudales de aporte se ha utilizado el modelo matemático precipitación escorrentía Lutz Schotz, mediante el software para estimar caudales promedios mensuales de ANA, para tal se ha considerado solo 6 estaciones pluviométricas de cuyo registro de precipitaciones es del año 2004 al 2013 por la falta de información actual comparando con los datos observados del río Suyarita que tiene una cuenca hidrológicamente similar a la del río Pataraca, cuyos resultados son : coeficiente de escorrentía $C_e=0.34$, Estimación de la retención de la cuenca $R = 26.24\text{mm/año}$; evapotranspiración $E_o=1379.44\text{mm/año}$ y los caudales generados son:

Caudales generados m ³ /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
	0.61	0.72	1.14	0.68	0.17	0.05	0.03	0.03	0.04	0.31	0.30	0.44

- Del Balance hídrico de la zona de estudio se determinó que el volumen útil de embalse de la presa Pataraca es de 2.47MMC.

3. Aplicando las normas USACE, USBR y ICOLD se realizó el diseño hidráulico de la presa de tierra:

- El cálculo el volumen de sedimentos en 0.0235 MMC y considerando que la toma se ubicara en la cota 2702.50 msnm, el volumen muerto de embalse 3,977.35 m³, resultando un volumen total de embalse de 2.47 MMC

- Se determinó que el margen libre es de 1m, lo que resulta una altura de presa de 30 m, ubicada en la cota corona 2730 msnm y un ancho de corona de 9 m. para taludes de 3:1 y 2.5:1.
4. Se calculó la estabilidad de la presa de tierra para diferentes estados de operación crítica mediante un análisis pesado- estático, aplicando el programa GEOSTUDIO, resultando que la geometría hidráulica y el material de préstamo considerado, la presa de tierra es estable para ubicar en el río Pataraca.

ESTADO	DESCRIPCION	METODOLOGIA			CRITERIOS		OBS.
		Bishop	Jambu	Morgenstein Price	USACE	USBR	
Fin de construcción	Aguas arriba con sismo	2.374	2.459	2.524	1	1	Ok
	Aguas abajo con sismo	2.109	2.067	2.134	1	1	Ok
Embalse totalmente lleno	Aguas arriba con sismo	2.035	1.988	1.995	1	1	Ok
	Aguas abajo con sismo	1.901	1.917	1.919	1	1	Ok
Embalse parcialmente lleno	Aguas arriba con sismo	2.592	2.464	2.462	1	1	Ok
	Aguas abajo con sismo	1.919	1.93	1.939	1	1	Ok

5. Finalmente se ha calculado el caudal de filtración para los diferentes estados de operación de la presa de tierra Caudal medio = 0.09657m³/s ; Caudal de filtración máximo permisible = 0.0019314m³/s , Volumen filtración máximo anual = 60908.63 m³, caudal filtración total 6.45E-06 m³/s.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para un estudio hidrológico mas riguroso es necesario realizar aforos del río Pataraca para tener caudales observados y aplicar el modelo matemático precipitación escorrentía.
- Se debe considerar otras canteras para determinar sus propiedades mecanicas.
- Aplicar otros métodos para estimar caudales.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, N. (2006). Análisis técnico-económico comparativo entre dique construido en material granular compactado y dique en gaviones en el embalse del proyecto hidroeléctrico cariblanco (p. h. cariblanco).Costa Rica
- Armas, N. (2010) Criterios para diseñar presas de tierra: prioridad y secuencia. Cuba
- Autoridad Nacional de Agua. (2019). Geoportal. Recuperado de <http://geo.ana.gob.pe:8080/geoportal/>
- Badillo, Juarez; Rodríguez, Rico;. (1997). Mecánica de suelos tomo 3 : Flujo de agua. México:
- Bureau of redamation. (1987). Diseños de presas pequeñas.
- Copeiro y García. (2008). Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. Diques de escollera. España
- Gandarillas H. y Gandarillas L. (2010). Enfoques de diseño de presas de enrocado con membrana impermeable. Bolivia.
- Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente (2008). Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. Montevideo. Uruguay.
- Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1): 79–93.
- Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1967. A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces. Computer Journal, 9: 388–393.
- Murillo, R. (2012). Presas de tierra y sus fallas.
- NAVARRO, O. (2016) Diseño y Construcción de Presas RCC y CFRD. Conferencia pronunciada el 10 y 11 de marzo en el Colegio de Ingenieros del Perú, Lima.
- Rayano, M. (2013) Fenómenos de Turificación en Presas pequeñas de tierra. Argentina
- Torres Herrera F.(1981). Obras Hidráulicas.Limusa. México D.F.

- Villaseñor C. (1978). Proyectos de obras hidráulicas. Universidad autónoma Chapingo, México.
- Zhu, D.Y., Lee, C.F., Qian, Q.H., and Chen, G.R. 2005. A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern–Price method. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(1): 272–278.

Anexos:

- Planos