Estudios y Diseños de la Presa de Embalse del Parque del Conocimiento – ESPOL

Rodrigo Carrión Rodríguez [1], Paúl Gonzales Zambrano [2], Ing. Miguel Ángel Chávez, Ms.C [3]
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra [1] [2] [3]
Escuela Superior Politécnica del Litoral [1] [2] [3]
Km. 30,5 Vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador [1] [2] [3]
rodcar_12z@yahoo.com [1], pablo1585@hotmail.com [2], machecuad@gmail.com [3]

Resumen

El siguiente trabajo tiene como objetivo principal los estudios y diseños de la Presa de embalse que será parte del proyecto Parque del Conocimiento. La construcción del embalse involucra aproximadamente 20 ha del terreno del Campus Gustavo Galindo Velasco con lo cual se dispondrá de un hermoso lago cuya función principal es el paisajismo.

La presa a diseñarse es de tierra, tipo zonada con espaldones de rocas meteorizadas, núcleo impermeable de arcilla, filtros-drenes y protección de enrocado, al construirse tendrá 22 de altura y se constituye en el cierre de dos quebradas que bordean las instalaciones del Parque del conocimiento, que ya están siendo construidas; incluye también un vertedor que se construirá en la margen izquierda del Vaso. Con una capacidad de 1250000 m3, será el embalse de mayor capacidad posible dentro del Campus Politécnico "Gustavo Galindo Velasco".

Palabras Claves: *Parque del Conocimiento, Reservorio, Taludes de roca, Lago, Presa de tierra, Vertedor.*

Abstract

The following work has as main objective design and study the Park of the Knowledge project's damn. The construction of reservoir involves 20ha approximately from Gustavo Galindo Velasco's Campus, getting with it a beautiful lake, which principal function is to provide landscaping.

The designed Damn, has the next characteristics: is a soil damn, zoned type, with weak rock slopes, waterproof clay kernel, filters-drains and rock protection, when being built it will have 22 of height and it is constituted in the closing of two gulches that they skirt the facilities of the Park of the knowledge that are already being built; it also has an spillway which will be construct in the left side from the vase. With a capacity of 1250000 m^3, this reservoir will be the largest inside Gustavo Galindo Velasco Polytechnic Campus, too.

Key words: *Knowledge Park, Reservoir, Rock slopes, Lake, Soil Damn, Spill way.*

1. Introducción

La ESPOL ha realizado varios estudios destinados al desarrollo de la infraestructura de su principal Campus, denominado "Gustavo Galindo Velasco", que se encuentra localizado en el Km 30.5 de la vía Perimetral de Guayaquil, en el sector conocido como La Prosperina.

Figura 1.1. Imagen satelital del Campus Politécnico "Gustavo Galindo Velasco"
Fuente: Google Earth.

El proyecto Parque del Conocimiento incluirá centros de tecnología avanzada que requieren de un entorno urbanístico y paisajístico especial, siendo un componente especialmente importante, el lago que se formará gracias a la construcción de una Presa de embalse de las aguas lluvias, tal como ocurre en otra Presa construida en el campus Politécnico en el año de 1990.

En el año 2002 se efectuaron los primeros estudios y diseños para la Presa, sin embargo, la topografía del terreno y sobre todo las condiciones del sitio de presa y el área de vaso fueron cambiados drásticamente, por haberse realizado trabajos de extracción de materiales pétreos, sin ningún control ni manejo técnico, afectando también al medio ambiente ya que se generó áreas de erosión, sectores inestables y de acumulación de desechos indeseables.

Debido a las condiciones en la cuales quedó el terreno luego de tal anómala intervención antrópica, si no se construyera la Presa afectarían, al ocurrir períodos lluviosos, a los asentamientos, cooperativas de vivienda y urbanizaciones, situados aguas abajo. El arrastre de grandes volúmenes de sedimentos y rocas afectaría al sistema de alcantarillado, a las calles e inclusive viviendas.

Objetivos:

- Estudiar el proyecto con las nuevas condiciones topográficas.
- Analizar las nuevas condiciones geotécnicas en base a múltiples observaciones en el campo, en la gran cantidad de afloramientos dejados por las canteras.
- Estudiar las nuevas condiciones de las sub cuencas de drenaje, con sus áreas de aportación, utilizando una información meteorológica actualizada.
- Analizar nuevos emplazamientos de la Presa y elegir el sitio definitivo, de igual modo con la obra de excedencia
- Diseñar el cuerpo de la Presa con sus características geométricas y los elementos constitutivos, tales como: corona, espaldones, bermas, núcleo impermeable, filtros y enrocado de protección.
- Efectuar los análisis de estabilidad para las condiciones de Presa construida y Presa funcionando, considerando para ello las aceleraciones sísmicas horizontales y verticales, más probables.

Metodología:

En general consistió en observaciones y ensayos de campo, estudios de laboratorio de muestras de suelo y roca y trabajo de gabinete destinado a los análisis cálculos y diseños.

Se realizó en siguiente trabajo, con el fin de encontrar soluciones a los problemas encontrados:

1. La evaluación de los espesores de materiales rellenados en las quebradas.

2. La determinación de las nuevas áreas de préstamos y canteras.

3. Determinación, en los sitios de cierre, de las características geotécnicas de la litología existente y la determinación de las fracturas naturales con capacidad de permitir la infiltración a través de la cimentación y empotramientos de la Presa.

4. La ubicación del eje de Presa que permita el mayor embalse posible y la construcción de un terraplén dotada de espaldones y núcleo impermeable, con empotramientos y cimentación seguros y estables, y que además permita el control de las infiltraciones.

5. La búsqueda de la solución a los problemas derivados de la erosión y escorrentía, que se van a incrementar con el tiempo.

6. La elección del nuevo eje de Vertedor o Aliviadero que permita la captación de los caudales excedentes a la cota de máximo embalse de la Presa y conducirlos en forma segura hasta el sistema de drenaje natural

2. Marco Conceptual

Estudios Geológicos:

En toda el área de interés aflora la formación geológica sedimentaria estratificada Cayo, mediante el Miembro geológico denominado Cayo SS o Cayo Senso Scripto.

Dicho miembro geológico se muestra con una secuencia de estratos de areniscas de grano medio a fino, limolitas y lutitas ligeramente silicificadas.

Con la finalidad de conocer las características litológicas de la zona se realizó un mapeo geológico en el cual se determinó que: la estratificación de casi toda la formación Cayo y en particular del sitio de estudio, forma un homoclinal cuya dirección de buzamiento tiene un azimut promedio de 215º, el buzamiento tiene pequeñas variaciones que van de 15º a 17º.

Se han determinado dos familias de fracturas producto del tectonismo. Dichas fracturas son en su mayoría abiertas, con espesores que fluctúan entre 0.5mm y 1mm. El detalle de las mediciones promedio efectuadas es el siguiente:

Tabla 2.1. Familias de Fracturas que atraviesan el sitio de presa.

Familia	Dirección de Buz.	Buzamiento	Espesor	Espaciamiento
F1	115º	90º	1.0 mm	1.00 m
F2	30º	80º	0.6 mm	0.80 m

Estudios Geotécnicos:

Para obtener las mejores correlaciones entre los registros geofísicos y los diferentes tipos de estratos, se partió de observaciones directa de los afloramientos disponibles en varios cortes existentes en el sitio de Presa.

Se realizó un total de 6 sondajes geofísicos con profundidades de investigación variables entre 20 y 50 metros, que se encuentran distribuidos en el sitio de Presa, área de cimentación y empotramientos.

A más de ello se realizo un total de 40 calicatas en el área de Presa: terraplén, aliviadero, empotramientos, vaso y áreas de préstamos y canteras.

Figura 2.1. Prospección geofísica en vaso de Presa

Los ensayos de laboratorio realizados para el proyecto fueron orientados a determinar la calidad de los materiales así como ciertos parámetros físicos que posteriormente se emplearan para determinar la estabilidad de la Presa.

Los ensayos realizados fueron:

- *Análisis Granulométrico*
- *Pasante el Tamiz Nº 200*
- *Contenido de Humedad*
- *Límites de Atterberg*
- *Densidad Seca Máxima (Proctor)*
- *Compresión Simple*
- *Corte Directo*
- *Compresión Triaxial con Deformación Controlada*

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.2. Resultados de los ensayos en el sitio de Presa, vaso y espaldones.

Propiedades de los materiales					
Material A (núcleo impermeable)			*Material B (espaldones)*		
Cohesión	ς	4 T/m²	Cohesión	ς	11 T/m²
Peso Especifico	γ	1800 Kg/m³	Peso Especifico	γ	1592 Kg/m³
Angulo de Fricción	Φ	11 °	Angulo de Fricción	Φ	27 °
Material de Cimiento			*Filtro*		
Cohesión	ς	120 T/m²	Cohesión	ς	0 T/m²
Peso Especifico	γ	2.22 Kg/m³	Peso Especifico	γ	2000 Kg/m³
Angulo de Fricción	Φ	21.8 °	Angulo de Fricción	Φ	30

Hidrología e Hidráulica:

Se analizaron las características de la cuenca de drenaje aportante al reservorio.

Figura 2.2. Cuenca y red de drenaje.

Tabla 2.3. Características de la red de drenaje.

ÁREA	112,34 ha
PENDIENTE	0.0287
ORDEN DE LOS CAUCES	2
LONGITUD DE LOS CAUSES	5,82 Km
DENSIDAD DE LOS CAUSES	15.36 por km²
DENSIDAD DE DRENAJE	5,58
FACTOR DE FORMA	0,18

Utilizando el procedimiento estadístico de cálculo denominado Gumbel tipo1, se SE determinaron las tormentas máximas que podrían ocurrir entre 10 y 100 años, con una probabilidad de acierto del 64%.

Tabla 2.4. Precipitaciones máximas esperadas de diseño.

T retorno (años)	Probabilidad (%)	F (x)	Z	Pmax (mm) en 24h	Riesgo de fallo
10	0.10	0.90	1.70249591	206.75	0.93
15	0.07	0.93	2.11733499	227.72	0.82
20	0.05	0.95	2.40779468	242.41	0.72
25	0.04	0.96	2.63152485	253.72	0.64
50	0.02	0.98	3.32073159	288.57	0.40
100	0.01	0.99	4.00484933	323.16	0.22

Adicionalmente se decidió elaborar las curvas de Intensidad Duración Frecuencia

(IDF), con el propósito de determinar una intensidad (cantidad de lluvia que precipita en un tiempo determinado), en base a la duración de las lluvias antes consideradas, para períodos de retorno de 10, 15, 20, 25, 50 y 100 años.

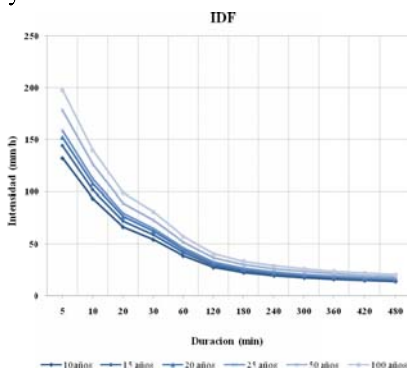


Figura 2.3. Curvas IDF

A continuación se determinaron los caudales de diseño aplicando el método SCS, conocido como hidrograma sintético. El Caudal de diseño así calculado es de 9.43m^3/seg.

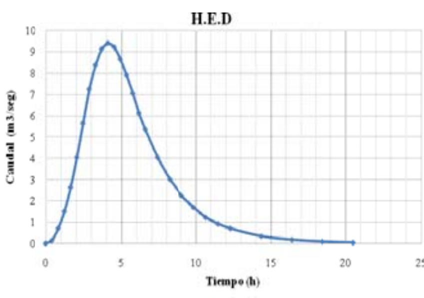


Figura 2.4. Hidrograma de Escorrentía Directa, caudal de diseño: 9.43 m^3/seg.

Volumen de Embalse:

Para determinar los volúmenes factibles de embalsar se ha efectuado las curvas Área – Volumen – Cota, considerando para ello el último levantamiento topográfico, con los siguientes datos:

Las curvas así obtenidas demuestran la conveniencia de embalsar sobre la cota 40.

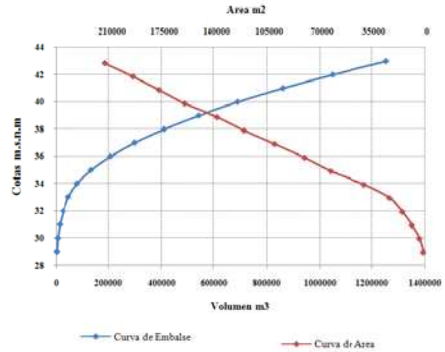


Figura 2.5. Curvas de volumen de embalse y Áreas de inundación

3. Diseño de la Presa

La Presa consta de un terraplén condonado por espaldones de suelos limo arenosos ligeramente arcillosos de resistencia principalmente friccionante, un núcleo impermeable de arcilla, un filtro que permite el fácil drenaje del espaldón aguas abajo y protección de enrocado en el paramento aguas arriba. El núcleo impermeable tiene dentellón y bajo este se ha diseñado una pantalla de intersección de flujo para control de filtraciones.

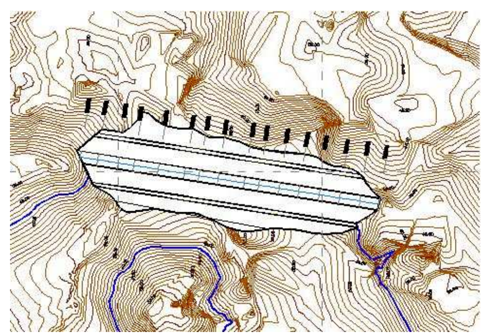


Figura 3.1. Eje de implantación de la Presa.

Para dimensionar la Presa se tuvo en cuenta la experiencia adquirida en el diseño y construcción de la Presa 1, ubicada a 1.3 km., de distancia, diseños que considera también algunas recomendaciones del Bureau of Reclamation, adaptadas a las condiciones propias de nuestro país y del lugar estudiado.

Así de determinó el siguiente dimensionamiento:

Altura máxima: 22 m.
Cota de máximo embalse: 42 m.s.n.m
Cota de corona: 45 m.s.n.m
Longitud: 297 m.
Ancho de corona: 12 m.
Talud de espaldón aguas arriba: 2:1
Talud de espaldón aguas abajo: 2:1
Bermas: 4 m en la cota 35

Figura 3.2. Sección típica transversal de la Presa.

A partir de los parámetros topográficos y geotécnicos, incluyendo la sismicidad, se realizó un detallado análisis de estabilidad de la Presa con las características geométricas antes mencionadas. Con esta finalidad de empleó el programa Stability de Civil Server.

Como una muestra del trabajo realizado se presenta el cálculo del Factor de Seguridad de los taludes de la presa del talud aguas arriba de la Presa bajo las condiciones de Embalse a la cota 42, cuyo valor es 2.37. El análisis muestra un amplio rango de centros del círculo de falla y determina, al final de la corrida, el círculo de falla más desfavorable, así como la influencia de la presión de poros por la distribución de las fuerzas intersticiales a lo largo de la Presa.

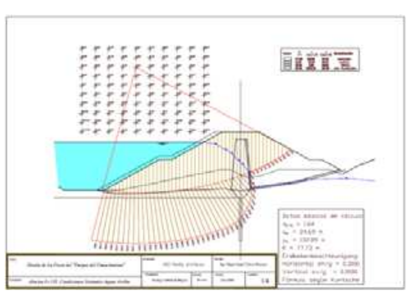


Figura 3.3. Corrida del GGU Stability.

Otro de los aspecto importante en el diseño de la Presa, constituye el análisis de las infiltraciones a través del cuerpo de la presa, para lo cual se utilizaron dos pasos.

- Redes de flujo (Cuerpo de la Presa)
- Análisis de flujos a través de fracturas para el terreno rocoso (Cimentación)

Se determinaron los siguientes resultados:

Filtraciones máximas en el cuerpo de la Presa.

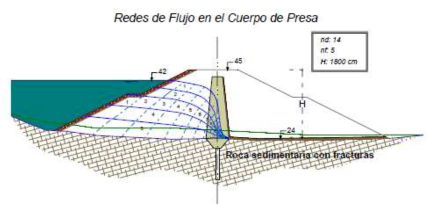


Figura 3.4. Redes de Flujo en el cuerpo de la Presa.

Filtraciones máximas en la cimentación sin tratar: .

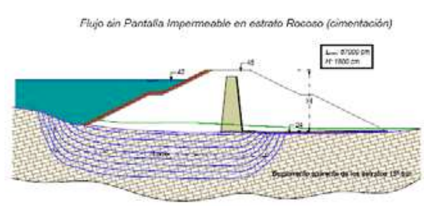


Figura 3.5. Análisis de flujo a través de las Fracturas.

La solución técnica que se da para bloquear las filtraciones consta de dos elementos. El primero constituye el dentellón del núcleo impermeable que se adentran tanto en los materiales sueltos como en niveles rocosos; a continuación se ha diseñado una pantalla de intersección de flujo, inyectando una lechada impermeabilizante a presión, hasta lograr condiciones de estanqueidad.

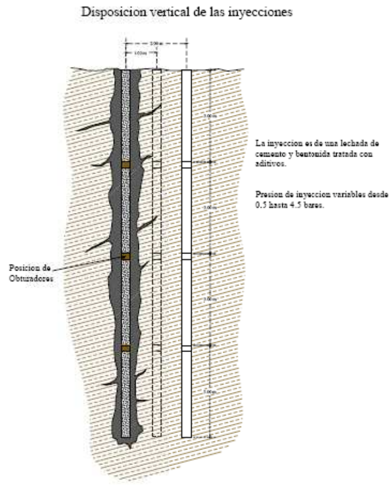


Figura 3.6. Solución para controlar las infiltraciones.

4. Diseño de la obra de excedencia.

Obra que cumple la función de regular el volumen embalse para evitar el desborde sobre la Presa.

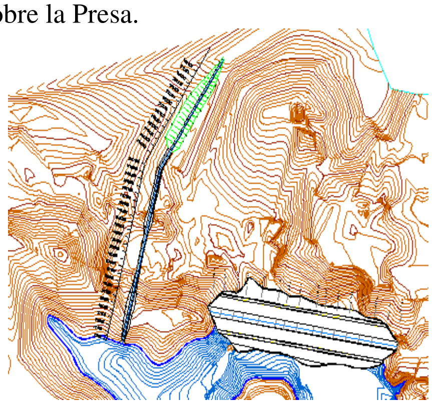


Figura 4.1. Ubicación del eje del vertedor

La obra de excedencia diseñada comprende: un Canal de aproximación, el Cimacio, Canal de descarga (rápida), el disipador de energía y el tramo final de descarga.

Canal de aproximación.- en nuestro caso se dispuso que fuese construido de hormigón armado que sirve para conducir el agua del embalse hasta la obra de control, tiene el mismo ancho de la obra de control y una longitud de 40 metros.

Cimacio.- Este vertedor tiene una sección en forma de S, la que provoca que la lámina de agua se adhiera al perfil del vertedor, evitando el acceso de aire a la cara inferior de la lámina de agua por lo que puede alcanzar casi la máxima eficiencia de descarga.

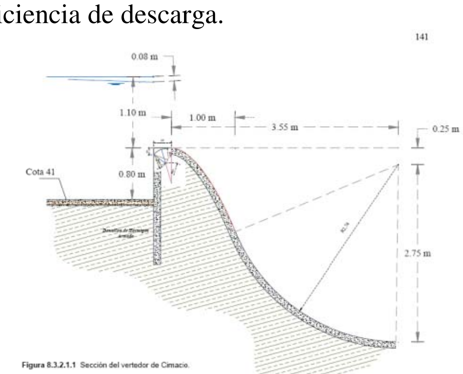


Figura 4.2. Diseño y Características del vertedor.

Tabla 4.1. Parámetros y dimensiones del vertedor.

Parámetro	Dimensión
Caudal	**9.82 m3/seg**
Paramento	**0.8 m**
Carga de diseño	**1.15 m**
Carga efectiva	**1.10 m**
Longitud de cresta	**4.00 m**
Longitud del canal	**40.00 m**
Perdidas (Velocidad y Fricción)	**0.05**
Co (Coeficiente ajustado)	**3.86**

Los resultados presentes en la tabla anterior, presentan las mejores condiciones para el correcto desempeño hidráulico del elemento diseñado.

Canal de descarga.- Su función es conducir el volumen descargado por la sección de control hacia la estructura terminal o estanque amortiguador.

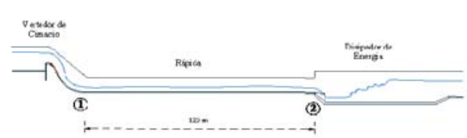


Figura 4.3. Esquema del canal de descarga y estanque amortiguador.

Dentro de los parámetros que se analizaron, tenemos: limitar el ancho de la sección a 4 m que es el ancho de la cresta de la sección de control; evitar en lo posible velocidades de flujo mayores a 5 m/s para evitar erosión del revestimiento del canal; que el régimen del flujo sea supercrítico para lo cual se determinó el número de Froude.

5. Conclusiones.

Debido a las modificaciones previas realizadas en el terreno natural la presa tiene mayores dimensiones y permite embalsar un menor volumen de agua.

La construcción de la Presa permitirá la solución paisajística y de manejo ambiental del Proyecto Parque del Conocimiento.

Debido a los grandes cambios en la topografía por la explotación pétrea del sector se vieron mermadas las condiciones de drenaje de la cuenca, volviéndola apenas eficiente para alimentar el vaso

El tratamiento que se propone dar a la cimentación de la Presa, controlara y disminuirá notablemente las infiltraciones.

6. Recomendaciones.

Remover o dar un tratamiento adecuado a la basura acumulada en todo el sector de Presa, debido a que en un largo tiempo se ha permitido el ingreso de camiones de basura provenientes de varios sitios de la ciudad.

Impedir la descarga de aguas servidas a la cuenca de drenaje que alimenta directamente al lago, proveniente de una urbanización vecina.

Reforestar las áreas que han perdido vegetación, sobre todo por las explotaciones pétreas realizadas y por los necesarios trabajos de construcción de la obra que se propone.

7. Bibliografía.

a) Chávez Miguel Ángel, ESPOL, (1984). Estudios y Diseños de la Presa 1 en el Campus Politécnico.

b) Sotelo (1998).- Fundamentos de Hidráulica General. Editorial LIMUSA, SA., 561 pp.

c) González de Ferrer, L. (2002).- “Ingeniería Geológica”. Pearson Education, 727 pp.

d) Terreros C., Lituma V. “Mecánica de Suelos Laboratorio”. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil.

e) Chow, V.; J.G. Saldarriaga (1994).- “Hidráulica de Canales Abiertos”. Mac Graw Hill, 667 pp.

f) Bureau of Reclamation (1983).- “Diseño de Presas Pequeñas”. CIA. Editorial Continental, 639 pp.

Anexo 1

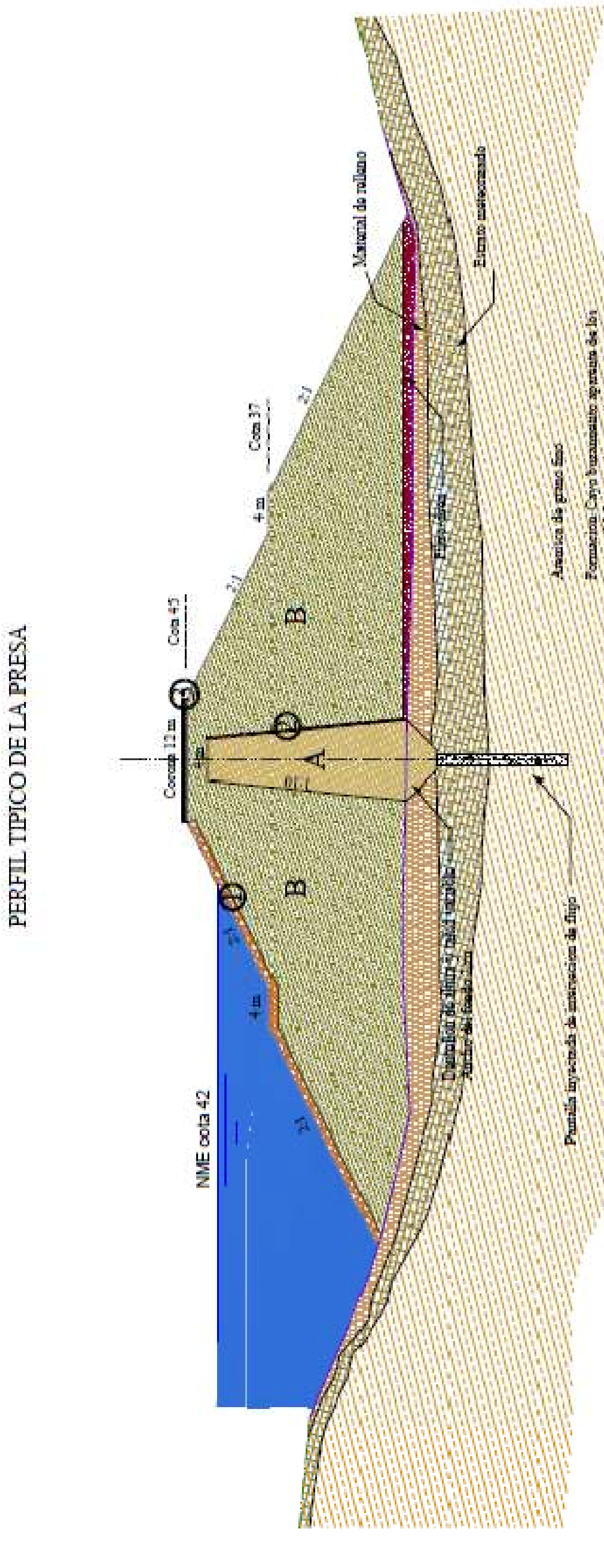
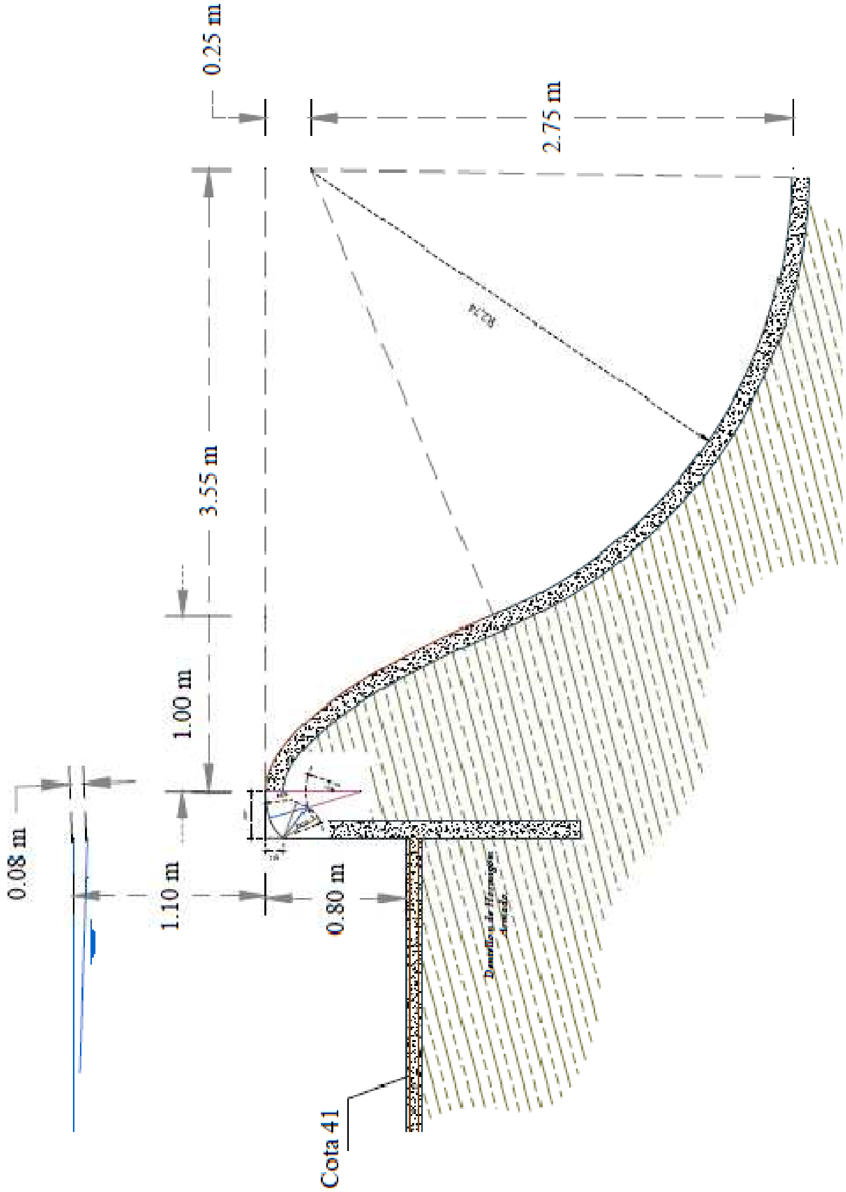
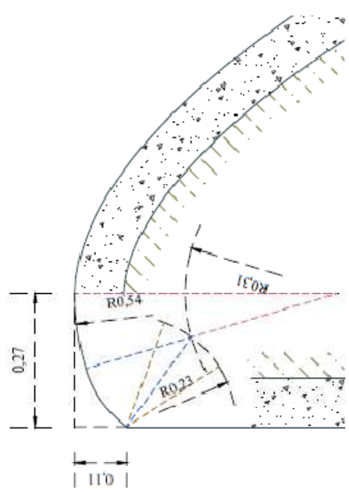


Figura 7.3.3.1 Sección típica de la Presa.

Anexo 2


0.25 m
2.75 m
3.55 m
1.00 m
0.08 m
1.10 m
0.80 m
Cota 41


0,27
R0.54
R0.31
R0.23
0.11