

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTIMACIÓN DE LAS FILTRACIONES QUE SE PRODUCEN A
TRAVÉS DEL DIQUE Y FUNDACIONES DE LA PRESA LA
MORRONA, SECTOR LA CULEBRA, MUNICIPIO
ANGOSTURA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR EL BACHILLER
ESPEJO T. GUSTAVO
J.PARA OPTAR AL
TÍTULO DE
INGENIEROCIVIL**

CIUDAD BOLÍVAR, MAYO DE 2023



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: “**ESTIMACIÓN DE LAS FILTRACIONES QUE SE PRODUCEN A TRAVÉS DEL DIQUE Y FUNDACIONES DE LA PRESA LA MORRONA, SECTOR LA CULEBRA, MUNICIPIO ANGOSTURA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**”, presentado por el bachiller **ESPEJO TORRES, GUSTAVO JOSÉ**, de cédula de identidad No **19.332.902**; como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO CIVIL** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría
(Asesor)

Prof(a) Beatriz Echeverría
(Jurado)

Prof. Edgar Márquez
(Jurado)

Prof. Rodolfo González.
(Jefe de Dpto. de Ing. Civil)

Prof. Francisco Monteverde
(Director de la Esc. de Ciencias de la Tierra)

En Ciudad Bolívar, a los 29 días del mes de Mayo de 2023

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia por animarme a no darme por vencido a pesar de las adversidades, y por fomentar en mí las ganas de obtener mi título profesional, por haber celebrado conmigo los logros significativos durante mi formación y haberme acompañado incondicionalmente.

Dedicado también a todas las personas que de una u otra forma fueron parte de la elaboración de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi familia por apoyarme en cada proyecto y decisión, como al elegir estudiar esta exigente carrera. Gracias también por cada sacrificio que hicieron en favor de ayudarme a culminar esta meta, por acompañarme en los momentos de dificultad, y por creer que sería capaz de lograr mis expectativas.

Gracias a mis amigos por alentarme a lo largo de la carrera y durante el desarrollo y presentación de esta tesis.

Gracias a la universidad por prestarme sus espacios y a mis profesores por sus aportes, por participar en el proceso de mi formación como el profesional integral que espero ser.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el sector La Culebra, específicamente en la represa La Morrona, en el municipio Angostura, estado Bolívar. El objetivo fundamental del estudio es estimar la magnitud de las filtraciones que se producen a través de las fundaciones y la presa de tierra antes mencionada. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva para lo cual se implementó una estrategia de campo y documental. Para el logro de la investigación se efectuó un levantamiento topográfico en el área del vaso de almacenamiento y de la represa La Morrona cuyos datos se utilizaron para construir un plano topográfico del mencionado cuerpo térreo. Se realizó el análisis geotécnico de las muestras de los suelos tomadas en la perforación practicada con un muestreador tipo auger en la presa. Se estimó la carga hidráulica a la cual estará sometido el talud del estribo izquierdo del embalse La Morrona. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el embalse tiene una capacidad actual de casi 22000 m³ de agua para un área inundada de 4.2 ha. Por otro lado, con base a los sondeos de suelos realizados en 2005 y los ensayos de suelos realizados a las muestras tomadas en las dos perforaciones efectuadas en la cresta del dique y al pie del dique aguas abajo respectivamente, se diferenció un solo estrato en el dique: arena arcillosa (SC) compactada de color beige con un espesor de 2.00 m. y en las fundaciones un único estrato de arcilla de baja plasticidad (CL).- El dique y fundaciones de la presa presenta evidencias de filtraciones que fueron estimadas mediante el programa SEEP/W con un caudal unitario de 2.03×10^{-5} m³/s. Esta magnitud se corresponde con las obtenidas mediante cálculos analíticos utilizando el método unidimensional y el bidimensional de Laplace.

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE ANEXOS	XIII
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	17
SITUACIÓN A INVESTIGAR	17
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.2 Alcance de la investigación	20
CAPÍTULO II	21
GENERALIDADES	21
2.1 Ubicación del área de estudio.....	21
2.2 Clima	23
2.2.1 Temperatura	23
2.2.2 Nubosidad	24
2.2.3 Precipitación	25
2.2.5 Vientos	27
2.3 Vegetación.....	28
2.4 Suelos	31
2.5 Fauna	33
2.6 Geomorfología.....	35
2.7 Fisiografía.....	35
2.8 Geología regional	36
2.8.1 Provincia Geológica de Imataca	36
2.8.2 El Complejo de Imataca.....	38
2.9 Estratigrafía	42
CAPÍTULO III	45

MARCO TEÓRICO	45
3.2.1 Presas y embalses.....	46
3.2.2 Tipos de represa	48
3.2.3 Hidrología fluvial.....	53
3.2.4 Análisis granulométrico por el método del tamizado	54
3.2.5 Embalse.....	55
3.2.6 Embalses artificiales	56
3.2.7 Características de los embalses.....	56
3.2.8 Causas de las filtraciones en embalses	62
3.2.9 Diseño geométrico de presas de materiales sueltos	68
3.2.10 Pantallas de hormigón o concreto.....	72
3.2.11 Pantallas o muros de corte	76
3.2.12 Coeficiente de filtración de suelos gruesos.....	76
3.2.13 Densidad de suelos finos.....	77
3.2.14 Coeficiente de filtración de suelos finos.....	78
3.2.15 Filtración en presas de tierra.....	79
3.2.16 Filtración en una presa homogénea con cimentación permeable	82
3.3 Bases Legales	84
3.3.1 Ley de aguas	84
3.4 Definición de términos básicos	86
3.4.1 Afluentes.....	86
3.4.2 Aliviadero	86
3.4.3 Área del embalse.....	86
3.4.4 Ataguía.....	86
3.4.5 Auscultación	86
3.4.6 Avenida.....	87
3.4.7 Avenida de proyecto	87
3.4.8 Caudal	87
3.4.9 Coronación.....	87
3.4.10 Corte.....	87
3.4.11 Cuenca hidrográfica.....	87
3.4.12 Cuenca vertiente	88
3.4.13 Derivar	88
3.4.14 Desagüe de fondo.....	88
3.4.15 Distancia de resguardo.....	88
3.4.16 Erosión	88
3.4.17 Espesor de tongada del hormigón.....	89
3.4.18 Estabilidad	89
3.4.19 Evaporación	89
3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.	89
3.4.21 Márgenes del embalse.....	89
3.4.22 Nivel aguas abajo.....	89
3.4.23 Nivel mínimo de explotación.....	90

3.4.24 Órgano de desagüe.....	90
3.4.25 Pie de la presa	90
3.4.26 Talud	90
3.4.27 Toma de agua.....	90
3.4.28 Umbral de los aliviaderos	91
3.4.29 Volumen activo.....	91
3.4.30 Volumen de control de avenidas.....	91
3.4.31 Volumen de la presa	91
3.4.32 Volumen de nivelación	91
3.4.33 Volumen del embalse.....	91
3.4.34 Volumen inactivo	92
3.4.35 Volumen muerto	92
3.4.36 Volumen útil	92
3.4.37 Zona inundable	92
CAPÍTULO IV	93
METODOLOGÍA DE TRABAJO	93
4.1 Tipo de investigación	93
4.2 Diseño de investigación.....	93
4.2.1 Investigación de campo	93
4.2.2 Investigación documental	94
4.3 Población y muestra de la investigación	94
4.3.1 Población de la investigación	94
4.3.2 Muestra de la investigación	95
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	95
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	95
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	96
4.5 Flujoograma de la metodología de trabajo.	97
CAPÍTULO V	99
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	99
5.1 Geometría y dimensiones del embalse y dique de la represa La Morrona.....	99
5.1.1 Características dimensionales y morfológicas del embalse	100
5.1.2 Elementos dimensionales del dique de tierra.....	106
5.2 Caracterización textural de los materiales del dique y de la fundación	107
5.4 Estimación de las filtraciones a través del dique y las fundaciones	109
5.4.1 Modelamiento de filtraciones con SEEP/W	109
5.4.2 Estimación analítica de las filtraciones por método unidimensional.....	111
5.4.3 Estimación analítica de las filtraciones por método bidimensional.....	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115

Conclusiones	115
Recomendaciones.....	117
REFERENCIAS	118

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 2. 1 UBICACIÓN RELATIVA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	21
FIGURA 2. 2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN IMAGEN DE SATÉLITE LANDSAT (GOOGLE EARTH, 2023).....	22
FIGURA 2. 3 EMBALSE LA MORRONA (GOOGLE EARTH, 2016).....	22
FIGURA 2. 4 TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA PROMEDIO EN CIUDAD BOLÍVAR (WEATHER SPARK, 2023).....	24
FIGURA 2. 5 NUBOSIDAD PROMEDIO DIARIA (WEATHER SPARK, 2023).	25
FIGURA 2. 6 PRECIPITACIÓN PROMEDIO HORARIA EN MARZO (WEATHER SPARK, 2023).....	26
FIGURA 2. 7 HUMEDAD PROMEDIO HORARIA EN CIUDAD BOL (WEATHER SPARK, 2023).	27
FIGURA 2. 8 VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO EN CIUDAD BOLÍVAR (WEATHER SPARK, 2023).....	28
FIGURA 2. 9 VEGETACIÓN TÍPICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	29
FIGURA 2. 10 ILUSTRACIÓN QUE MUESTRA LA GEOMORFOLOGÍA, FISIOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	37
FIGURA 2. 11 FISIOGRAFÍA DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	37
FIGURA 2. 12 MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DEL ESCUDO DE GUAYANA DESTACANDO LA PROVINCIA GEOLÓGICA DE ÍMATACA (MENDOZA, 2.000).....	38
FIGURA 2. 13 COMPLEJO DE ÍMATACA EN LOS ALREDEDORES DEL CERRO BOLÍVAR (SIMPLIFICADO DE ASCANIO 1.975).	41
FIGURA 3.1. PRESA DE TIPO GRAVEDAD.(WIKIPEDIA, 2012).	49
FIGURA 3. 2 PRESA EN ARCO. (WIKIPEDIA, 2012).	50
FIGURA 3. 3 PRESA DE MATERIALES SUELTOS. (WIKIPEDIA, 2012).....	52
FIGURA 3. 4 FLUJO DE CORRIENTE A TRAVÉS DE LA CAPA DE ARENA, LIMO Y ARCILLA MOSTRANDO SU MEDIO DE TRANSPORTE (MODIFICADO DE HJULSTROM, F., 1935).	54
FIGURA 3. 5 MEDICIÓN DEL NIVEL DEL EMBALSE.	57
FIGURA 3. 6 TUBIFICACIÓN RETROGRADA.....	64
FIGURA 3. 7 FRACTURA HIDRÁULICA.	65
FIGURA 3. 8 FISURAS EN UNA PRESA POR LA FORMA DE LA BOQUILLA(SANDOVAL, W. 2018).	69
FIGURA 3. 9 CONDICIONES GEOLÓGICAS DE LA BOQUILLA (SANDOVAL, W. 2018).	70
FIGURA 3. 10 PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PANTALLA DE CONCRETO DE HORMIGÓN (SANDOVAL, W. 2018).	74

FIGURA 3. 11 DETALLE DE UNA JUNTA DE UNA PANTALLA DE CONCRETO (SANDOVAL, W. 2019).....	75
FIGURA 3. 12 PANTALLA DE CONCRETO DEL PROYECTO MAZAR (SANDOVAL, W. 2019).....	75
FIGURA 3. 13 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PANTALLA DE CONCRETO PLÁSTICO (SANDOVAL, W. 2019).....	76
FIGURA 3. 14 FLUJO A TRAVÉS DE UN BLOQUE PERMEABLE DE SUELO (SANDOVAL, W., 2019).	80
FIGURA 3. 15 15 ENROCADO AL PIE DE UNA PRESA DE TIERRA (SANDOVAL, W. 2019).	82
FIGURA 3. 16 FILTRACIÓN POR UNA PRESA DE FUNDACIÓN PERMEABLE (SANDOVAL, W. 2018).....	84
FIGURA 4. 1 FLUJOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	98
FIGURA 5. 1 PLANO DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE EMBALSES EN EL SECTOR LA CULEBRA.	99
FIGURA 5. 2 PLANO DE DELIMITACIÓN DEL PERÍMETRO DEL EMBALSE.....	100
FIGURA 5. 3 PLANO DE TRAZADO DE RADIALES Y PUNTOS DE UBICACIÓN DE PROFUNDIDADES.	101
FIGURA 5. 4 MODELO 3D DEL EMBALSE LA MORRONA	103
FIGURA 5. 5 CURVA DE ÁREAS Y CAPACIDADES DEL EMBALSE LA MORRONA.	105
FIGURA 5. 6 PLANO TOPOGRÁFICO DEL EMBALSE LA MORRONA.	106
FIGURA 5. 7 TRANSVERSAL DIMENSIONAL DEL DIQUE DE TIERRA.	107
FIGURA 5. 8 MALLA DE ELEMENTOS FINITOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL DIQUE.....	109
FIGURA 5. 9 LÍNEAS DE FLUJO, LÍNEAS EQUIPOTENCIALES Y VECTORES DE VELOCIDAD DE LAS FILTRACIONES A TRAVÉS DEL DIQUE Y LA CIMENTACIÓN.	110
FIGURA 5. 10 MAGNITUD DE LAS FILTRACIONES A TRAVÉS DEL DIQUE Y CIMENTACIONES.	110

LISTA DE TABLAS

	Página
TABLA 2.8 ESPECIES VEGETALES DE SABANA TROPICAL ARBUSTIVA.....	30
TABLA 2.9 ESPECIES DE VEGETALES HERBÁCEOS DE SABANA TROPICAL.	31
TABLA 2.10 ESPECIES DE REPTILES Y ANFIBIOS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	33
TABLA 2.11 ESPECIES DE MAMÍFEROS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
TABLA 2.12 ESPECIES DE AVES IDENTIFICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE WENWORTH(PETTIJOHN, 1949).	55
TABLA 5.1 VALORES PARA GRAFICAR LAS CURVAS DE AÉREAS Y CAPACIDADES.	104

LISTA DE APÉNDICES

APÉNDICE A

Datos del perímetro del embalse

A.1 COORDENADAS UTM DE LOS PUNTOS TOMADAS CON EL GPS	125
--	-----

APÉNDICE B

Datos del Levantamiento topográfico

B.1 PUNTOS TOMADOS EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON LAS COORDENADAS UTM Y LAS COTAS DE CADA UNO.....	128
---	-----

APÉNDICE C

Datos del levantamiento batimétrico

C.1 RADIALES REALIZADAS EN EL LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO DEL EMBALSE.....	132
--	-----

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo se ha actuado como si los recursos naturales fueran realmente ilimitados y el hombre se ha dedicado a su explotación de forma absolutamente irracional, en la mayoría de los casos para la obtención de bienes de consumo, (OCDE, 1984).

Esta actitud expoliadora de nuestra sociedad ha producido su escasez en nuestro planeta y un deterioro de la calidad de vida. Como consecuencia del mal llamado progreso y del desarrollo tecnológico, existen altos índices de contaminación tanto en el aire, como en el suelo y en el agua, al tiempo que la población mundial crece de forma desmesurada.

Uno de los recursos que está siendo esquilado, aunque sea renovable, es el agua, por ello en el presente trabajo profundizaremos en el uso, consumo y gestión del agua. Este tema es preocupante por la cantidad de problemas que lo envuelven y por encontrarse cercano al mundo real de la academia, de forma que hemos sentido la necesidad de investigar las visiones del sector universitario sobre la utilización del agua según un modelo de desarrollo sostenible.

Venezuela, es un país que acumula el 80% de su población en un espacio geográfico donde apenas dispone del 20% de los recursos hidráulicos, necesita de sus casi 100 embalses para satisfacer las demandas de agua y requiere del compromiso serio y sostenido de todos los venezolanos para mantener en perfecto estado de funcionamiento todas nuestras represas. Sin embargo, debido a la pérdida masiva de agua que sufrió el embalse debido a las filtraciones de agua presuntamente a través del estribo izquierdo.

Para el desarrollo de la investigación se aplicará una metodología de tipo descriptiva aplicando una estrategia o diseño de la investigación de campo y documental. El alcance de la investigación incluirá la estimación del estado actual de las filtraciones, la descripción de los elementos integrantes de la represa: el embalse y sus estructuras de cierre. En ambos casos se describirá la geometría y dimensiones, del estribo izquierdo. Se describirán los características texturales de los suelos presentes en las fundaciones del estribo propiamente dichas y se estimarán los esfuerzos hidráulicos a los que estará sometido el talud aguas arriba del estribo y las filtraciones que se producen a través del cuerpo térreo superior y por sus fundaciones.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos:

En el Capítulo I. Situación a investigar. Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, justificación, alcance y limitaciones del estudio.

El Capítulo II. Generalidades: corresponde a los aspectos que describen al área de estudio como ubicación geográfica y características físico naturales y que no están incluidos en los objetivos específicos de la investigación.

El Capítulo III, Marco teórico: presenta los antecedentes de investigación, los criterios teóricos y las bases legales en las cuales se sustenta la investigación.

Capítulo IV. Metodología de la investigación: muestra la metodología empleada para la realización de la investigación. Se desarrolla en él, el tipo y diseño de la investigación, la descripción de la población y la muestra, así como también las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación y el flujograma de investigación.

En el Capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología aplicada.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones más relevantes como consecuencia final del estudio para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Sin la presencia de agua la existencia de los seres humanos es imposible, por lo que en todo el planeta, las diversas comunidades humanas, de casi cualquier etnia, han elegido las riberas de los ríos como fuente de agua dulce para su abastecimiento propio, para los cultivos, para saciar la sed de sus animales, como fuente de materia prima como agregado para material de construcción, etc.

Venezuela no es una excepción de esta situación, y a todo lo ancho y largo del país podemos observar muchísimas poblaciones y grupos humanos, de pequeña y gran magnitud, ubicados o arraigados en las riberas de los ríos a lo largo de toda su trayectoria. La ubicación estratégica de estos grupos humanos ha permitido que muchas actividades antrópicas de carácter productivo (agricultura, ganadería, etc.) se desarrollen también en las adyacencias de estas corrientes de agua dulce.

De las 108 presas importantes construidas en Venezuela, aproximadamente una decena de ellas han presentado problemas de pérdida de agua debido a filtraciones a través de los cuerpos térreos de las presas, de sus fundaciones o de los estribos. De hecho se conoce que las estadísticas de fallas de presas a nivel nacional e internacional causadas por filtraciones corresponden a un 29% de la totalidad de las construidas.

El embalse La Morrona en el municipio Angostura del estado Bolívar, fue construida hace tres (3) décadas y sirve como vaso de almacenamiento de agua para

el desarrollo de la zona agrícola. Sin embargo, es necesario evaluar las pérdidas potenciales de agua que se podrían producir por efecto de las filtraciones a

través del cuerpo de la presa y de sus fundaciones. la pérdida masiva de agua posiblemente por problemas de filtraciones a través del estribo de tierra izquierdo de la presa.

En virtud de ello, se hace necesario estimar las posibles filtraciones que se producirían a través de este cuerpo térreo de la presa y de sus fundaciones.

En ese orden de ideas y vistos los planteamientos antes expuestos cabe formular las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las características topográficas del dique del embalse La Morrona?

¿Cuáles son las características geotécnicas de los suelos que constituyen la presa y las fundaciones?

¿Cuál es la magnitud de los esfuerzos hidráulicos sobre el talud aguas arriba del dique de tierra?

¿Cuáles son las condiciones de filtraciones actuales a través del dique de tierra y de sus fundaciones en el embalse La Morrona?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estimar la magnitud de las filtraciones que se pudieran producir a través del dique de tierra y de las fundaciones de la represa La Morrona ubicada en el municipio Angostura, estado Bolívar, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las condiciones topográficas del embalse y el dique de la represa La Morrona.
2. Caracterizar texturalmente los materiales que constituyen el dique de tierra y las fundaciones del mencionado cuerpo térreo.
3. Cuantificar las filtraciones potenciales que se producirían a través del dique de tierra y de sus fundaciones.

1.2 Alcance de la investigación

El desarrollo de la presente investigación ameritará en primer lugar la descripción de la geometría y dimensiones del dique de tierra y de las fundaciones del embalse la Morrona.

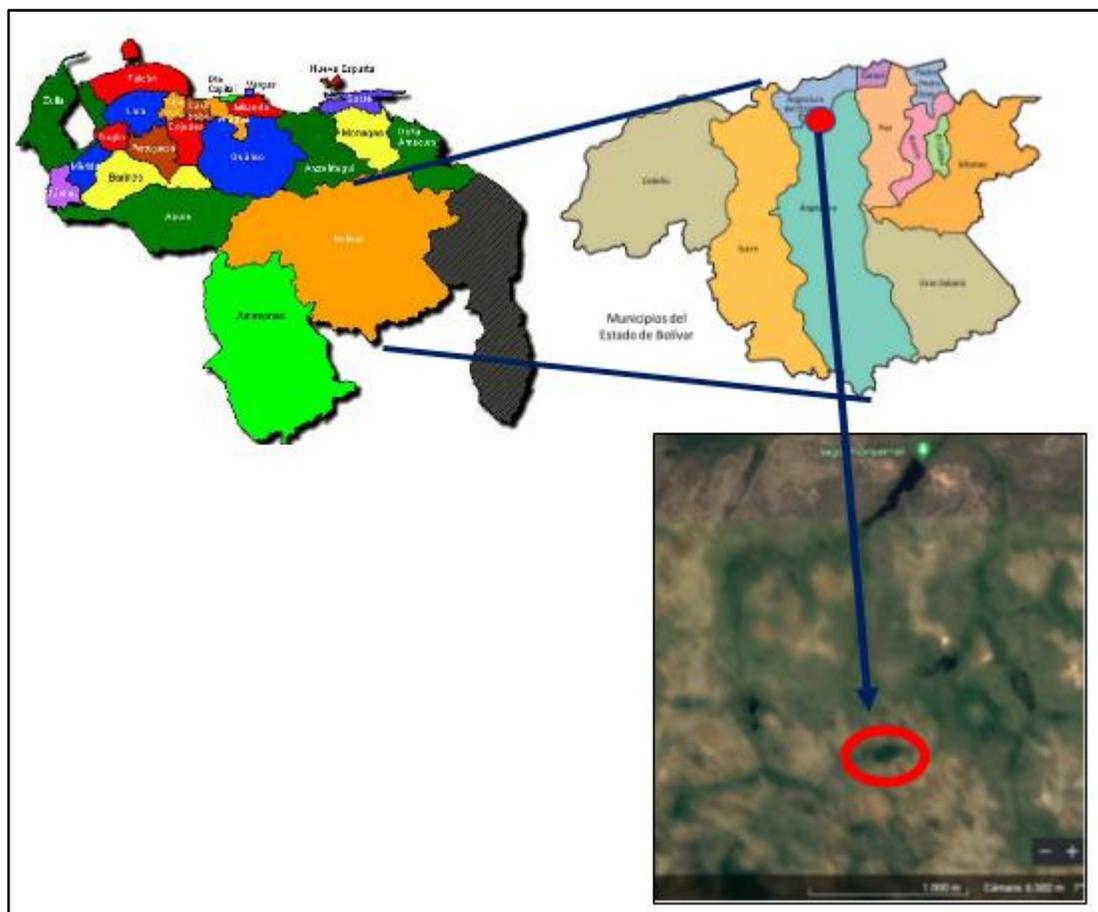
En segundo lugar, se describirá las evidencias de posibles de filtraciones potenciales que se producirían a través del mencionado cuerpo térreo. También se evaluará las características texturales de los suelos que constituirán la fundación de la pantalla de concreto y del estribo izquierdo del embalse propiamente dicho. Se deberá evaluar el esfuerzo hidráulico que se producirá sobre el talud aguas arriba del dique de tierra. Finalmente, se estimará la magnitud de las filtraciones potenciales que se producirían por el mencionado dique de tierra y por sus fundaciones.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector La Culebra, en el municipio Angostura, estado Bolívar. Específicamente, se encuentra al sureste de la población de Ciudad Bolívar. Geográficamente, la represa la Morrona se encuentra geográficamente ubicado de acuerdo a las coordenadas geográficas: N7°52'28" y W63°25'01".



2. 1 Ubicación relativa del área de estudio.



2. 2 Ubicación del área de estudio en imagen de satélite Landsat (Google Earth, 2023).



2. 3 Embalse La Morróna (Google Earth, 2016).

2.2 Clima

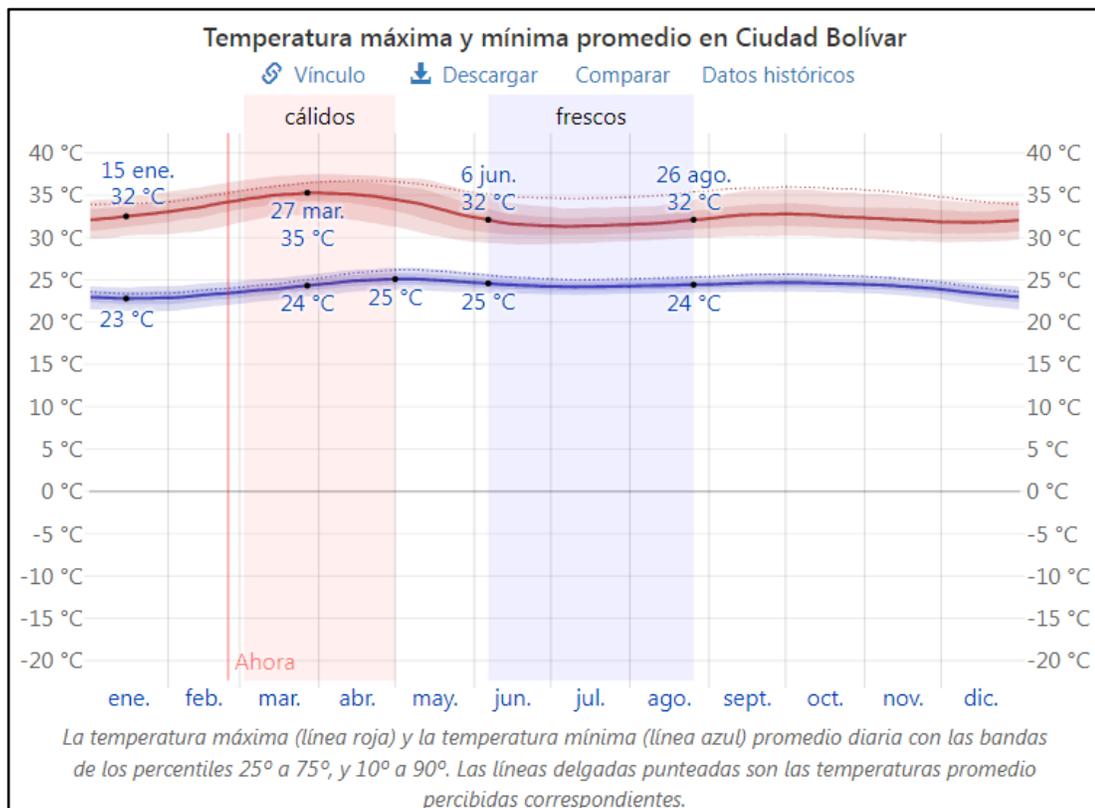
Los datos climatológicos que a continuación se presentan ilustra el clima típico en Ciudad Bolívar, basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y reconstrucciones de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016. Solamente hay una estación meteorológica, Aeropuerto Internacional José Tadeo Monagas, en nuestra red adecuada para usarla como representante de los registros históricos. Consecuentemente, los datos de la estación se combinan con valores interpolados del reanálisis para la época de satélites MERRA-2 de NASA y ambos se corrigen tomando en cuenta las diferencias de altitud, de conformidad con la *International Standard Atmosphere*.

El peso asignado al valor de MERRA-2 depende de la distancia de Ciudad Bolívar a la estación más cercana, que aumenta de 0 % a 150 kilómetros a 100 % a 200 kilómetros. En este caso, el peso de MERRA-2 es 41 %, por lo que el peso que se le asigna a la estación meteorológica es el 59 %.

Todos los datos climatológicos, incluida la nubosidad, precipitación, velocidad y dirección del viento y flujo solar vienen de *MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis* de NASA. Este reanálisis combina una variedad de medidas de área amplia en un moderno modelo meteorológico mundial para reconstruir la historia del clima, hora por hora, de todo el mundo en una cuadrícula con bloques de 50 km.

2.2.1 Temperatura

La temperatura en Ciudad Bolívar generalmente varía de 25 °C a 35 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 37 °C.



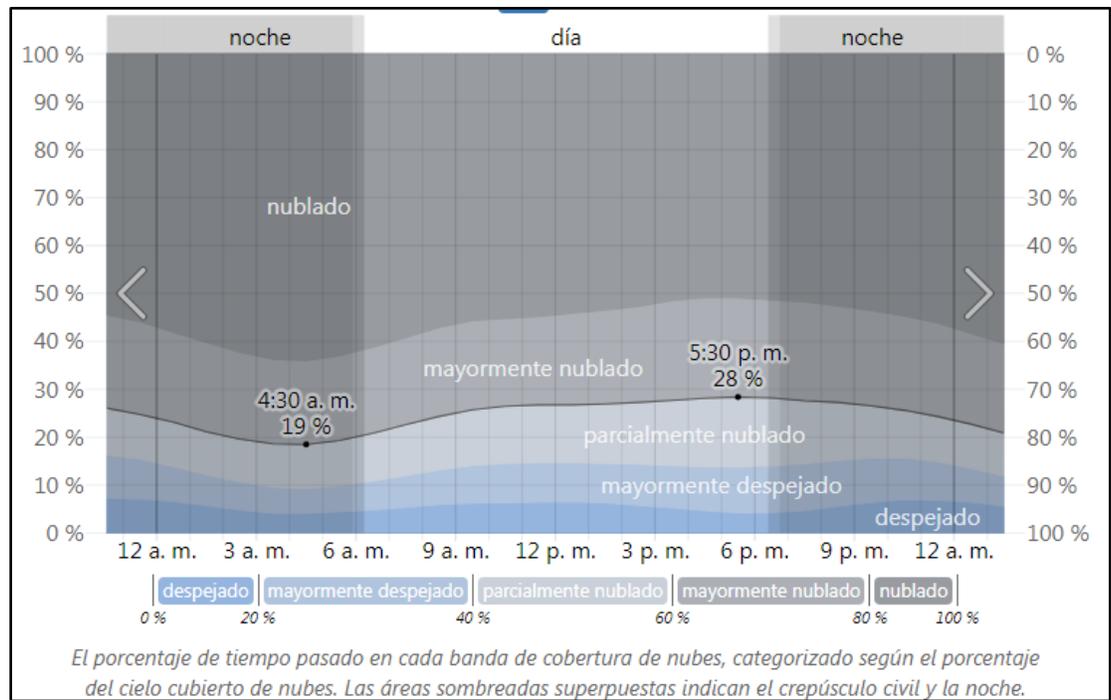
2. 4 Temperatura máxima y mínima promedio en Ciudad Bolívar (Weather Spark, 2023).

2.2.2 Nubosidad

El porcentaje promedio del cielo cubierto con nubes en Ciudad Bolívar el 27 de marzo varía en el transcurso del día.

La hora más nublada del día es alrededor de las 4:30 a. m., cuando la probabilidad de cielo nublado o mayormente nublado es 81%.

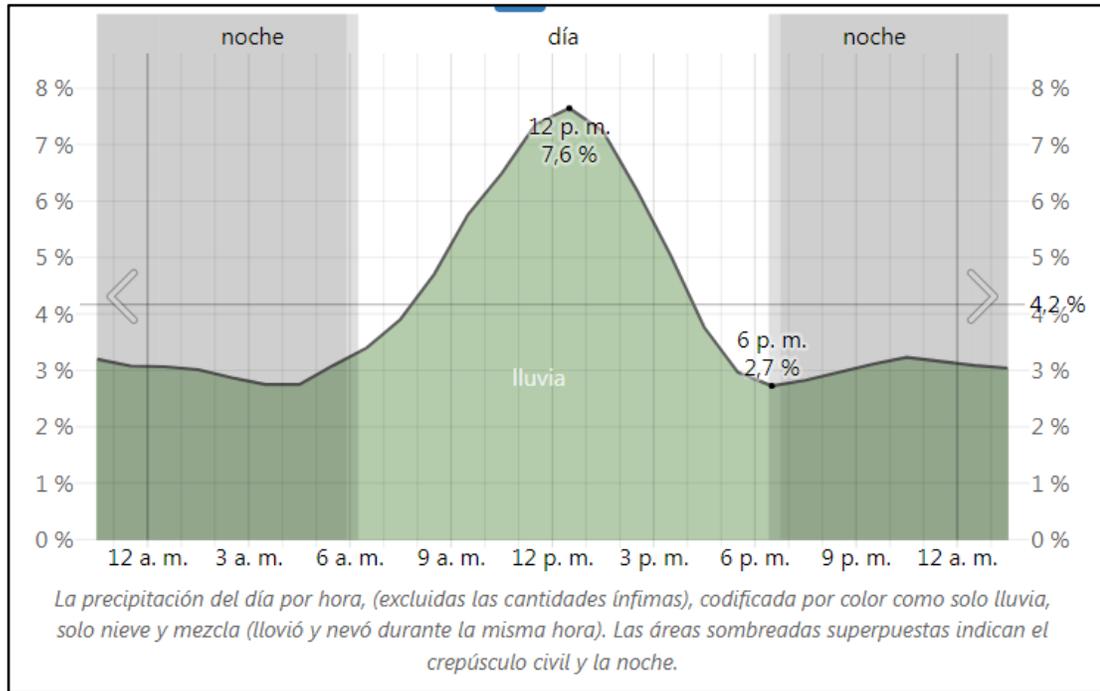
La hora más despejada del día es alrededor de las 5:30 p. m., cuando la probabilidad de cielo despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado es 28 %.



2. 5 Nubosidad promedio diaria (Weather Spark, 2023).

2.2.3 Precipitación

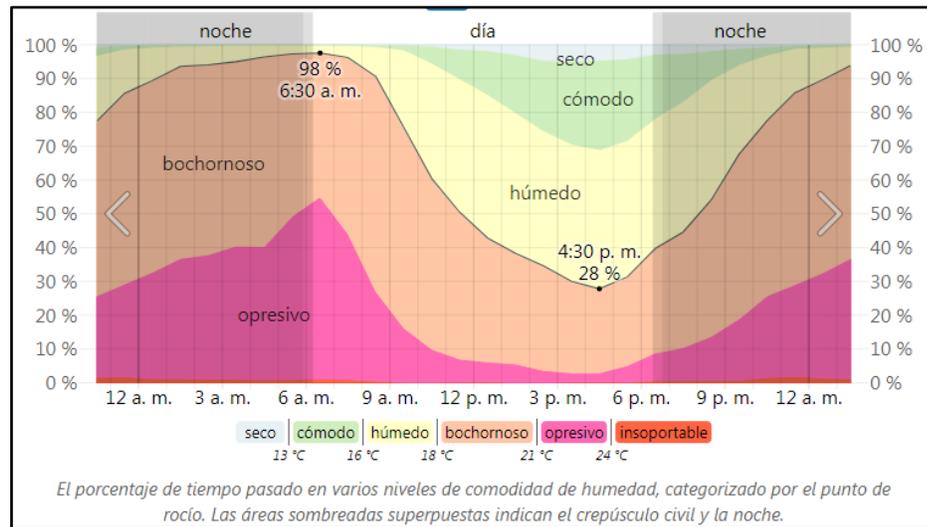
La probabilidad más alta del año de precipitación diaria es el 64 % el 3 de julio, y la probabilidad más baja es el 6% el 2 de marzo.



2. 6 Precipitación promedio horaria en marzo (Weather Spark, 2023).

2.2.4 Humedad

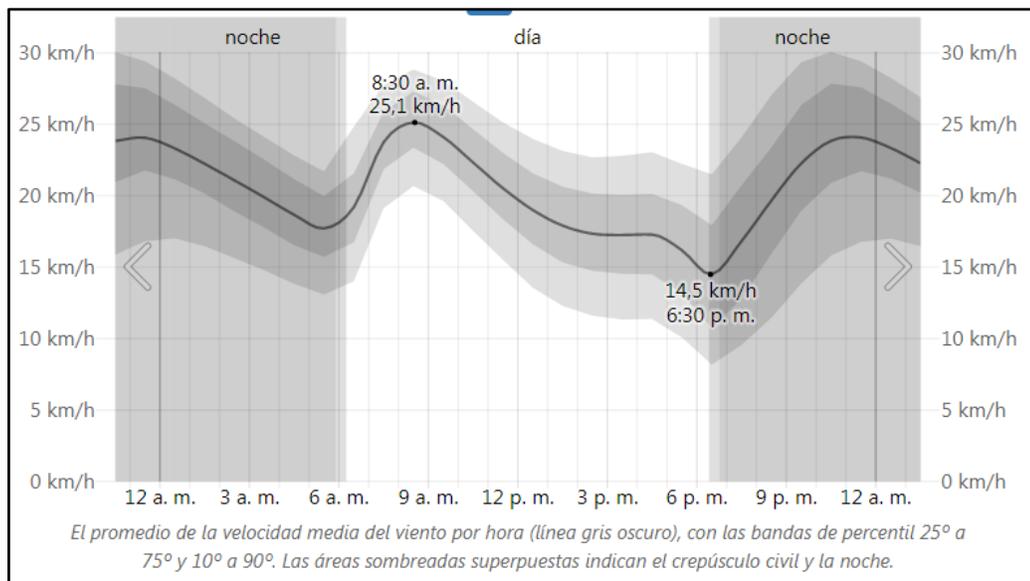
Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.



2. 7 Humedad promedio horaria en Ciudad Bol (Weather Spark, 2023).

2.2.5 Vientos

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.



2. 8 Velocidad del viento promedio en Ciudad Bolívar (Weather Spark, 2023).

2.3 Vegetación

La vegetación característica de la zona de estudio en donde afloran los plutones graníticos es típica correspondiente al bioclima de bosque seco tropical (bosques bajos), según Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991 (Figura 2.8 y Tablas 2.8 y 2.9) que muestran la vegetación del área de estudio; constituida por arbustos del tipo: Chaparro, Manteco, Alcornoque, etc. y gramíneas como, la paja saeta y paja peluda; las cuales son poco densas.

Además en el área de estudio se distinguen dos tipos de vegetaciones distintas como lo son:

a) Herbácea de sabana: Tiene una cobertura variable con una altura promedio entre (15 y 80) centímetros formada principalmente por gramíneas y Cyperáceas. Entre ellas están las gramíneas del género *Trachypogon* (paja saeta), *Bulbostylis* confífera, *B. Juncifornes*, *B. Capillarias*, *Andropogon augustus* (pasto sabanero) y del

género *Axonopus purpusi* (paja peluda). Esta formación abarca aproximadamente el 20% por ciento del área en estudio, con un porcentaje de cobertura del suelo del 60% por ciento (Tabla 2.8).

b) La otra vegetación es la de un tipo de arbustivo de sabana tropical, distribuidas de manera dispersa. Entre ellas se consideran las siguientes especies. Los Morichales son formaciones de vegetación especial, caracterizada por la presencia de la palma de moriche (*Maurita flexuosa*), creciendo en algunos casos como individuos aislados y en otros formando una masa de árboles compacto junto a otras especies. Estas formaciones existen en suelos saturados permanentemente asociados a un canal de drenaje. El bosque de galería se encuentra formando una asociación edáfica, siempre verde, monoestratificadas, creciendo a orillas del curso del agua (márgenes y área de influencia freática), con sus raíces en la zona de saturación de humedad o cerca de ella. Estructuralmente se caracteriza por ser de baja a mediana altura y de mediana a densa cobertura (Tabla 2.9).



2.9 Vegetación típica del área de estudio.

Tabla 2.8 Especies vegetales de sabana tropical arbustiva.

Tipo	Nombre común	Nombre Científico
Arbusto	Chaparro Manteco	Byrsonima rugosa
	Chaparro	Curatella americana
	Aceite	Copaífera officinalis
	Alcornoque	Bowdichia virgiloides
	Caruto	Genipa caruto
	Cañafístola	Cassia grandis
	Fruta de Paloma	Allophylus occidentales
	Fruta de Burro	Xylopia sp.
	Manteco Merey	Byrsonima
	Manteco	Birsonima crassifolia
Coccolobaefolia	Guarataro	Videx capitata
	Guayabita sabanera	Psidium guianense
	Puneral	Randía spinosa
	Peonía	Ormosia macrocayx
	Merey	Anacardium occidentale
	Cruceto	Aspidosperma crespa
	Uvero	Coccoloba caracasana

Gran parte de la región en estudio está constituida por peniplanicie y lomeríos altos. La zona con lomeríos la representan grandes afloramientos de rocas graníticas migmatíticas desprovistas en su mayoría de vegetación, observándose solamente en algunas localidades, pequeños árboles representados por chaparros, alcornoques y gramíneas. El relieve de peniplanicie es el de mayor cobertura y representa grandes y masivas extensiones.

Tabla 2.9 Especies de vegetales herbáceos de sabana tropical.

Tipo	Nombre Común	Nombre Científico
Gramíneas	Paja peluda	<i>Axonopus chysodactylus</i>
		<i>Axonopus anceps</i>
		<i>Axonopusaureus</i>
		<i>Axonopus purpussi</i>
	Saeta	<i>Trachypogon plumosus</i>
		<i>Trachypogon montofari</i>
		<i>Trachypogon vestitus</i>
	Pasto Sabanero	<i>Andropogon virgatus</i>
		<i>Andropogon biconis</i>
		<i>Andropogon selloanus</i>
<i>Andropogon augustus</i>		
Cyperace Frutices	Cadillo	<i>Cenchrus pilosus</i>
	Cabezona	<i>Cyperus esculentus</i>
	Paja de Agua	<i>Cyperus leptostachgus</i>
	Carcanapire	<i>Croton ramnifolius</i>
	Dormidera	<i>Momisa dormiens</i> <i>Mimosa púdica</i>
	Centrorema	<i>Centrorema venosun</i>
	Mastranto	<i>Hypis suaveolens</i>

2.4 Suelos

Los suelos predominantes en el área de estudio están clasificados en los ordenes Ultisoles, Entisoles; y en menor proporción se encuentran Alfisoles e inceptisoles, según estudios realizados en esa área por la Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991. Los Ultisoles son muy evolucionados y se caracterizan por la presencia de un horizonte Argílico o un Kándico, y por poseer arcillas de baja actividad como caolinita y sesquióxidos de hierro y aluminio. Se han desarrollado a partir de rocas pertenecientes a las provincias geológicas Pastora e Imataca; así como a partir de sedimentos aluviales, se encuentran en bioclimas tropófilo y ombrófilo macrotérmico; y en paisajes tipo montaña, lomerío, peniplanicie y planicie. Son

moderadamente profundos a profundos; con fuerte desarrollo estructural; de textura ligera a pesada, mezclada con proporciones variables de fragmentos de rocas. En general son muy ácidos a extremadamente ácidos (pH H₂O 1:1, 3.5-5); con baja a muy baja capacidad de intercambio catiónico (Suelo); y muy baja saturación con bases (5%- 13%).

“Estos suelos fueron agrupados en cuatro subórdenes, de acuerdo con la taxonomía de suelos (Soil Survey Staw, 1990), debido a que ocurren en diversos ambientes bioclimáticos de la cuenca; ya que presentan diferencias en sus características físicas y químicas. Específicamente se encuentran los subórdenes Ustults, Udults, Humults y Aquults. Los Ustults y Udults se localizan en bioclimas Tropófilo Macrotérmico y Ombrófilo Macrotérmico, respectivamente.

Pueden ocurrir en cualquier tipo de paisaje. Los Humults se encuentran en bioclimas Ombrófilo Macrotérmico, pero no son reportados en las planicies. Los Aquults están asociados a las planicies y los relieves de vegas, independientemente del bioclima” (Corporación Venezolana de Guayana-Técnica Minera C.A., 1.991).

Los Entisoles están espacialmente asociados a los Ultisoles, sin embargo, no presentan evidencias de evolución pedogenética. Lo cual puede deberse, por una parte, a que ocupan áreas de altas pendientes, sometidas a fuertes procesos erosivos que han interrumpido su proceso evolutivo. En las planicies han evolucionado a partir de sedimentos aluviales con altos a muy altos contenidos de arena y muy poca arcilla.

Esta ha sido translocada hacia las partes más profundas, resultando perfiles con predominio de texturas arenosas, sin desarrollo pedogenético. Son superficiales a profundos; de textura ligera a media, mezcladas con proporciones diferentes de fragmentos de roca.

2.5 Fauna

La fauna silvestre en el área de estudio se encuentra bastante intervenida por el hombre, es decir, es relevante, escasa y poco variada. Considerándose un tipo de hábitat esporádico; sin embargo, esta zona desarrolla condiciones normales adecuadas para la adaptación al medio de algunas especies. Según datos tomados de informantes locales (*) y observación directa (°); tal como se muestra en las tablas 2.10, 2.11 y 2.12.

Tabla 2.10 Especies de reptiles y anfibios presentes en el área de estudio.

Nombre común	Nombre Científico
Morrocoy*	<i>Geochelone denticulada</i>
Iguana°	<i>Iguana iguana</i>
Mato°	<i>Liposona guianense</i>
	<i>Ameiva ameiba</i>
Sapo°	<i>Bufo marinus</i>
Rana*	<i>Rana palnipes</i>
Rana	<i>Leoptodactylus waijneneri</i>
Algarrobo°	<i>Gonatodes humeralis</i>
Baba*	<i>Caimán cocodrylus</i>
Lagartija*	<i>Gonatodes humeralis</i>
Ratoncita*	<i>Cielia cielia</i>
Cascabel°	<i>Crotalus durissus terrificus</i>

Tabla 2.11 Especies de mamíferos presentes en el área de estudio.

Nombre común	Nombre científico
Conejo Sabanero ^o	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
Conejo de Monte*	<i>Sylvilagus florindanus</i>
Onza*	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>
Acure*	<i>Dasyprocta Agouti</i>
Oso Hormiguero*	<i>Tamandua tetradáctila</i>
Cachicamo ^o	<i>Dasypus novencintus</i>
	<i>Dasypus kappteri</i>
Rabipelado ^o	<i>Didelphys mersupialis</i>
Venado Caramerudo*	<i>Doceileus virginianus</i>
Murciélago Naringudo ^o	<i>Rhynehonycteris sp.</i>
Murciélago Orejado ^o	<i>Micronycteris Magolatis</i>
Lapa*	<i>Agouti paca</i>
Cochino de Monte*	<i>Tayassu tajacu</i>

Tabla 2.12 Especies de aves identificadas en el área de estudio.

Nombre común	Nombre Científico
Rey Zamuro*	<i>Sarcoramphus papa</i>
Perico Cara Sucia ^o	<i>Aratinga pertinax</i>
Perdiz ^o	<i>Colinus cristatus</i>
Paloma Sabanera ^o	<i>Zenaida auriculata</i>
Gavilán Habado ^o	<i>Buteo Maynirostris</i>
Gavilán Primito*	<i>Falco sporvesides</i>
Alcaraban ^o	<i>Vanellus chilensis</i>
Paloma Turca ^o	<i>Leptotola veneauxi</i>
Garrapatero*	<i>Crotophaga ani</i>
Caricari ^o	<i>Polyborus plancus</i>
Tigereta ^o	<i>Tyranus savanna</i>

2.6 Geomorfología

El estudio geomorfológico de un área cualquiera no se limita solamente a la descripción de sus formas de relieve, sino que trata de establecer su origen y evolución; así como también los procesos geomorfológicos que cambian el relieve, teniendo siempre en cuenta una finalidad práctica en vista de la gran influencia que tiene el relieve en la actividad humana.

Las formas de relieve son la resultante de la interacción entre los materiales de la corteza terrestre, su dinámica interna y los procesos externos relacionados principalmente con la acción del clima y agua de escorrentía. De allí que un análisis geomorfológico cualquiera debe partir siempre del conocimiento de la geología del área.

El área de estudio, está enmarcada dentro la Provincia Geológica de Imataca y desde el punto de vista geomorfológico se encuentra representada por un conjunto de peniplanicies y lomas suaves. Constituidas por una serie de plutones o afloramientos graníticos que tienen una altura promediada entre los 5 ó 30 m.s.n.m; cuya litología está representada por las rocas ígneo- metamórficas de la zona (Figura 2.9).

2.7 Fisiografía

El relieve predominante en el área es moderado, con pequeñas ondulaciones y colinas bajas sin mucha relevancia de accidentes fisiográficos. Las pendientes promedios naturales del terreno están en el orden del 5 a 10 %, lo que permite clasificarlas como pendientes suaves (Figura 2.10).

2.8 Geología regional

2.8.1 Provincia Geológica de Imataca

Según Mendoza, (2000) la provincia geológica de Imataca se extiende en dirección SO – NE desde el río Caura hasta el delta del Orinoco por unos 550 kilómetros y en dirección NO - SE aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Gurí por unos 80 kilómetros de ancho (Figura 2.11). Newhouse y Zuloaga, (1929) en Mendoza, (2000) describieron que la Sierra de Imataca, como unidad de formación de hierro expuesta, es denominada Serie Imataca, pero Bellizzia y Martín Bellizzia, (1956) en Mendoza, (2000), redefinieron la Serie para incluir a toda la secuencia de rocas metamórficas de alto grado que incluyen los horizontes ferríferos, Kalliokoski, (1965) en Mendoza, (2000) realizó un estudio geológico regional de la parte Norte central del Escudo de Guayana. Esta Provincia se caracteriza por presentar rocas metasedimentarias, gneises graníticos, granulitas félsicas y máficas; dentro de las rocas de la Provincia de Imataca se encuentran las unidades estratigráficas del Complejo de Imataca, la Migmatita de La Ceiba, granito de La Encrucijada, la monzonita cuarcífera del cerro Guanacipana y otros cuerpos dioríticos, González de Juana et al (1980) en Mendoza, (2000).



2. 10 Ilustración que muestra la geomorfología, fisiografía y topografía del área de estudio.



2. 11 Fisiografía de la zona en estudio.

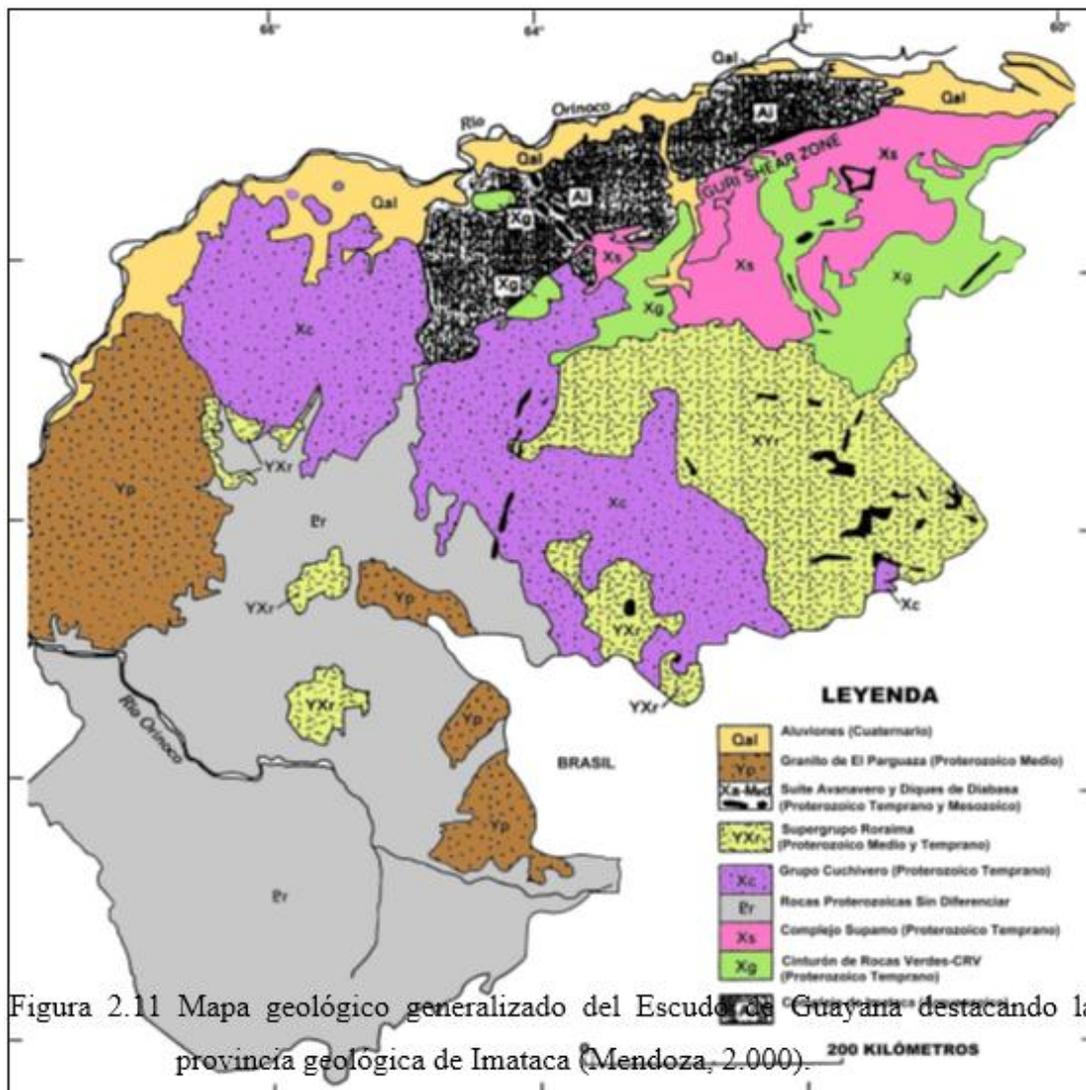


Figura 2.11 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana destacando la provincia geológica de Imataca (Mendoza, 2.000).

2. 12 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana destacando la provincia geológica de Imataca (Mendoza, 2.000).

2.8.2 El Complejo de Imataca

El Complejo de Imataca desde el punto de vista de su composición física está constituido por rocas silíceas de naturaleza calco – alcalinas, con algunos episodios de máficos y asociaciones menores de sedimentarias e itabiritas o formaciones de hierro, específicamente cerca al cerro Bolívar, lo que determina la composición de los

elementos mayoritarios y trazas de las granulitas, gneises graníticos y anfibolitas, son rocas representativas de la secuencia original. Según González de Juana et al., (1980) en Mendoza, (2000), esta provincia es formada por una secuencia sedimentaria, que luego fue plegada y metamorfozada hasta la facies de la granulita y alterado por eventos tecto – termales, acompañados de reactivación de rocas graníticas antiguas y algunas intrusiones ácidas posteriores.

La litología característica del Complejo de Imataca son gneises félsicos y máficos intercalado con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas y cuerpos delgados interestratificados de rocas graníticas, originalmente sedimentarias, en la actualidad intensamente metamorfozadas estructuralmente compleja, perteneciente al precámbrico. Según José Nancy Perfetti Baptista et al. (1972) en Mendoza, (2000), el Complejo Guayanés se caracteriza por presencia de gneises feldespáticos y máficos, cuarcitas ferruginosas, granulitas, charnockita, diques de diabasa, sill y algunos cuerpos graníticos intrusivos con presencia de migmatitas. El Complejo de Imataca está propiamente caracterizado por las presencias de una serie de horizontes ferríferos, interestratificados con gneises cuarzo – feldespáticos y anfibolita piroxénicas afectadas, a su vez, por intrusiones de rocas graníticas y diques basálticos.

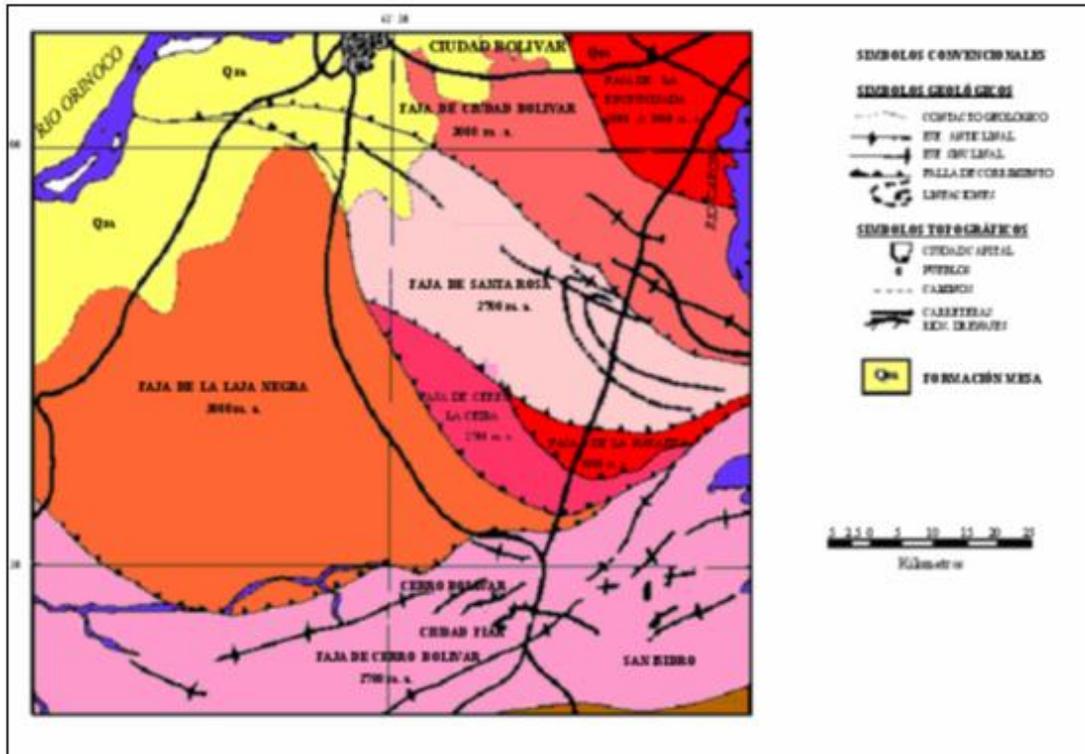
Ascanio, (1971) en Mendoza (op cit.) considera que el Complejo Imataca, al sur del río Orinoco, en la zona comprendida entre los ríos Aro y Caroní, formado por siete conjuntos, por lo menos, de rocas cuarzo feldespáticas, dentro de las cuales se intercalan secuencias de formaciones hierro, anfibolitas y gneises granodioríticos blancos. El autor divide estos conjuntos de rocas en siete fajas (Figura 2.12) separadas por corrimientos de ángulos bajo, los cuales denominó:

Faja de La Encrucijada: Conformada principalmente por gneises piroxénicos monzogranitos de colores verdes, grises y rosados, con textura de grano medio

grueso, se presentan bandeados, a veces granulares y en ocasiones porfídicos dentro de los cuales se han emplazado sienitas cuarcíferas y los granitos de La Encrucijada.

Faja de Ciudad Bolívar: Constituida por gneises cuarzo – feldespáticos de grano grueso, generalmente granatíferos, intercalados con esquistos y anfibolita. Contiene formaciones de hierro de grano medio, entre los cuales el de mayor importancia es el Cerro María Luisa. Las estructuras presentan un rumbo general N 60° W. Al norte del Cerro María Luisa y hacia el sur de la Serranía, María Luisa presenta el desarrollo de gneises monzograníticos, sienograníticos y granodioríticos con textura de grano grueso, de color rosado dentro de los cuales se observa la presencia de restos de gneises anfibolíticos. De esto se deduce, que ocurrió un proceso de cuarzo feldespatización que avanzó reemplazando la plagioclasa por microclina formando Vetas de cuarzo en el contacto de los gneises con las anfibolitas.

Faja de Santa Rosa: Reposo sobrecogida sobre la Faja de Ciudad Bolívar y debajo de las Fajas de la Naranjita, La Ceiba y Laja Negra, La Faja de Santa Rosa se encuentra representada litológicamente por gneises cuarzo – feldespático – biotítico, grises, bandeados e intercalados con anfibolitas y capas delgadas de “formación de hierro” y cuarcitas blancas. El rumbo general de la faja es N 60° W.



2. 13 Complejo de Imataca en los alrededores del Cerro Bolívar (Simplificado de Ascanio 1.975).

Faja de la Naranjita: Esta faja constituye un codo estructural del Complejo Imataca. Al este del sitio denominado Naranjita, las estructuras presentan una dirección noreste, mientras que al oeste toman un rumbo preferencial norte. La Faja está representada por una litología que consiste básicamente afloramientos de gneises de grano grueso, en ocasiones bien bandeado, intercalado con anfibolitas y con lentes delgados de formación de hierro. Un detalle característico de esta faja, es la presencia de estructuras de doble declive.

Faja Cerro La Ceiba: Aflora desde el kilómetro 18 al oeste del cerro la Ceiba hasta el Tocola, al pie del Cerro Toribio. La Faja presenta una forma lenticular con anchura de aproximadamente de 10 Km. y está conformada litológicamente por gneises cuarzo- monzograníticos de color rosado, con textura de grano grueso

contorsionados con pegmatitas paralelas al bandeamiento. El conjunto litológico es bastante uniforme que, al sufrir los efectos de los agentes del intemperismo, se erosiona produciendo formas topográficas dómicas, redonda desnudas. Las estructuras presentan un rumbo general N45°W.

Faja Laja Negra: Esta faja se presenta cruzada por la carretera Ciudad Piar – Ciudad Bolívar, desde el puente sobre el río Yauno hasta el puente sobre el río Orocopiche. Litológicamente está constituida básicamente por gneises cuarzo feldespáticos – biotítico, contorsionados, de grano grueso, con vetas delgadas de pegmatitas que en ocasiones se cortan; la foliación, sin embargo, en la mayoría de los casos es paralela a ésta.

Faja Cerro Bolívar: En esta se observa afloramiento desde la falla de Gurí al río Carapo, su composición litológica la define como gneises cuarzo – feldespático de colores grises y rosados, formaciones bandeadas de hierro de poco espesor, las cuales afloran en los núcleos de los anticlinales. Las formaciones hierro de grano fino, en las cuales se encuentran alojadas en la parte superior de los geosinclinales, llegan a alcanzar hasta los 200 m.s.n.m., de espesor.

2.9 Estratigrafía

El origen de las rocas de la Provincia de Imataca ha sido motivo de controversias. Sobre la estratigrafía de esta provincia geológica se han realizado diversos trabajos en los cuales no se han logrado aún determinar una sucesión de formaciones dentro del que definan su secuencia estratigráfica. En relación con el Complejo de Imataca en el cuadrilátero de las Adjuntas y Panamo. Chase, (1965) en Mendoza, (2000), lo describe como una secuencia estratigráfica de gneises intensamente metamorfizados con intercalaciones de granito.

Ratmiroff, (1965) en Mendoza, (2000), describe el Complejo como una secuencia sedimentaria plegada, altamente metamorfizada y caracterizada por la presencia de formaciones de hierro intercaladas con abundante gneises cuarzo – feldespáticos y capas anfibolíticas piroxénicas, que es intrusionada por grandes plutones graníticos.

Dougan, (1972) en Mendoza, (2000), describió dos secuencias diferentes de gneises Precámbricos complejamente plegados e intensamente metamorfizados separados entre sí por la Falla de Gurí Ciudad Piar. Señala que al norte de la falla afloran rocas cuya secuencia estratigráfica se caracteriza por la alternancia cíclica de espesas unidades de gneises félsicos con capas de formación de hierro y otras litologías subordinadas como gneises máficos, los cuales incluyen anfibolitas y granulitas máficas. Considera los gneises máficos y félsicos como roca meta – ígneas, de composición variable desde el basalto a las riolitas y los interpreta como una secuencia metamorfizada de rocas volcánicas estratificadas.

Al Sur de la falla de Gurí denominada informalmente a las rocas como “gneises de los Indios”, divide la secuencia en dos sub – unidades estratigráficas; la parte superior, compuesta por formación de hierro cuarzo – magnetítico, cuarcitas silicatadas, laminadas y anfibolita, de origen tanto ígneo como sedimentario; la parte inferior carece de formaciones de hierro anfibolita meta – sedimentaria, contiene pocos gneises cuarcíticos silicatados y litología más monótona.

Kalliokoski, (1965) en Mendoza, (2000), presenta discusiones en cuanto a la definición y origen del granito principalmente donde el metamorfismo es de grado medio a alto, ya que por razones de convergencia metamórfica, metasomatismo y fuerte recristalización, la roca caja se aproxima al granito, tanto en composición como en fractura; también indica que la textura de las textura migmatitas varía de una relación “lit – par – lit” hasta una de las cuales se ha desarrollado porfiroblastos de microclino en la roca caja, como se observa cerca del río Carapo, 35 Km. al oeste del

Cerro Bolívar. Mc Candles, (1966) en Mendoza, (2000), abarcó la zona de estudio dentro de su reconocimiento geológico de parte septentrional del Escudo de Guayana y la llamó al Complejo de Imataca “Grupo Imataca”, definiendo como una faja estructuralmente compleja de rumbo este – noreste, de roca metamórficas de alto grado que incluyen zonas migmatíticas, plutones catazonales y cuerpos granulíticos máficos (Mendoza, 2000).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos.

Cueche, S. y Pino, C. (2009), desarrollaron el trabajo de investigación como trabajo de grado, titulado “**INCIDENTES EN LAS PRESAS DE VENEZUELA**”. Este trabajo tenía como objetivo general describir los incidentes ocurridos en algunas presas de Venezuela. Entre los objetivos específicos que son relevantes para el estudio que aquí se realizará se puede mencionar que se identificaron las presas venezolanas que han presentado algún tipo de falla antes, durante y/o después de su construcción causando algún tipo de daño. Asimismo, se realizó en ese trabajo de grado una exposición de los factores que ocasionaron las diferentes fallas presentadas en las presas venezolanas. Cabe destacar, que este último objetivo mencionado es de importancia relevante en cuanto a metodología de investigación para aplicarlos en el desarrollo de la investigación diagnóstica de la represa Wará I.

Díaz, M. y Rivas, M. (2009), elaboraron como trabajo de grado, la investigación titulada “**PREDIMENSIONADO Y CALCULO DE ESTABILIDAD EN REPRESAS DE TIERRA**”, cuyo objetivo general era elaborar un procedimiento para el predimensionado y cálculo de la estabilidad en represas de tierra. Se considera relevante, para la investigación diagnóstica de la represa Wará I, el objetivo específico desarrollado sobre el predimensionamiento de la presa para evaluar el caso específico de los estribos de tierra del dique Wará I.

Asimismo, será un valioso aporte complementario, la revisión de los criterios de estabilidad del cuerpo térreo del estribo de la presa Wará I.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Presas y embalses

Según Bolinaga, J. (2002), las presas constituyen un elemento decisivo y esencial en las infraestructuras, deben responder a criterios específicos en los planostécnico y administrativo y de esta forma asegurar seguridad, eficacia y economía en su operación.

El proyecto, la construcción y el funcionamiento de todas las presas deben estar de acuerdo con las especificaciones técnicas y administrativas:

3.2.1.1 Especificaciones técnicas de una presa

a. La presa, las cimentaciones y los apoyos deben ser estables, sea cual sea la carga (sea cual sea el nivel del embalse y también en caso de temblores de tierra).

b. La presa y las cimentaciones deben ser suficientemente estancas y será necesario tener los medios para controlar las fugas para asegurar el funcionamiento con plena seguridad y mantener la capacidad de embalse.

c. La presa debe ser lo suficientemente alta como para impedir que las olas pasen por encima de la coronación y, en el caso de una presa de materiales sueltos, debe haber un resguardo suplementario para que tenga en cuenta los asentamientos de la presa y su cimiento.

d. La presa debe tener una capacidad suficiente de aliviadero y de desagüe para impedir cualquier desbordamiento del embalse en caso de avenidas extremas.

3.2.1.2 Especificaciones administrativas de una presa

- a. Una instrucción para su funcionamiento es su mantenimiento.
- b. Instrumentos de medida adaptados para conocer su comportamiento.
- c. Un plan de acción en caso de urgencia.
- d. La valoración del medio ambiente natural.
- e. Inspecciones periódicas, así como una revisión global que permita evaluar
- f. la presa y realizar modificaciones en casos necesarios.
- g. Todos los documentos (planos, notas de cálculo...) del proyecto y de la construcción y todos los informes sobre la obra (Bolinaga, 2002).

3.2.1.3 Objetivos de una presa

Como es el caso para todas las grandes obras públicas o privadas, las presas se construyen para responder a objetivos bien precisos. En el pasado, las presas se construían con el único fin de suministrar agua o de regar las tierras. El desarrollo de las civilizaciones ha conllevado el aumento de necesidades para el suministro de agua, regadío, control de avenidas, navegación, calidad del agua, control de sedimentos y energía hidroeléctrica. A veces un objetivo turístico es un beneficio añadido para la población. Una presa está en el corazón del desarrollo y de la gestión del incremento de las reservas de agua de una cuenca hidrográfica. Una presa con

finés múltiples es un proyecto capital para los países en desarrollo, puesto que su sola inversión origina beneficios para la vida cotidiana y económica de las poblaciones (Bolinaga, 2002).

3.2.2 Tipos de represa

Los diferentes tipos de presas que existen responden a las diversas posibilidades de cumplir la doble exigencia de resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso. En cada caso, las características del terreno y los usos que se le quiera dar al agua, condicionan la elección del tipo de presa más adecuado.

Existen numerosos tipos, comenzando con que puede hablarse de presas fijas o móviles, pero primero debemos clasificarlas en dos grandes grupos según su estructura y según los materiales empleados en su construcción. También hay presas hinchables, basculantes y pivotantes pero son de mucha menor entidad o han caído en desuso, por lo que no se consideran aquí (Bolinaga, 2002).

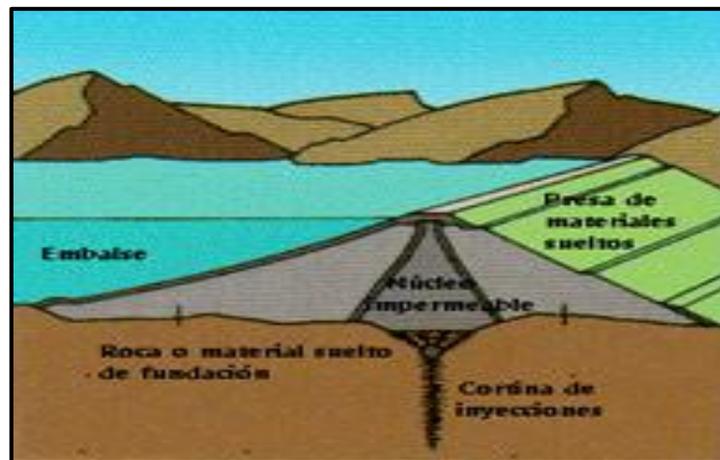
3.2.2.1 Según su estructura

❖ Presas de Gravedad

Son todas aquellas en las que su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua. El empuje del embalse es transmitido hacia el suelo, por lo que éste debe ser muy estable capaz de resistir, el peso de la presa y del embalse. Constituyen las represas de mayor durabilidad y que menor mantenimiento requieren.

Su estructura recuerda a la de un triángulo isósceles ya que su base es ancha y se va estrechando a medida que se asciende hacia la parte superior aunque en muchos casos el lado que da al embalse es casi de posición vertical.

La razón por la que existe una diferencia notable en el grosor del muro a medida que aumenta la altura de la presa se debe a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, de esta forma, el muro tendrá que soportar más fuerza en el lecho del cauce que en la superficie. La inclinación sobre la cara aguas arriba hace que el peso del agua sobre la presa incremente su estabilidad. .



3. 1 Figura 3.1. Presa de tipo gravedad. (Wikipedia, 2012).

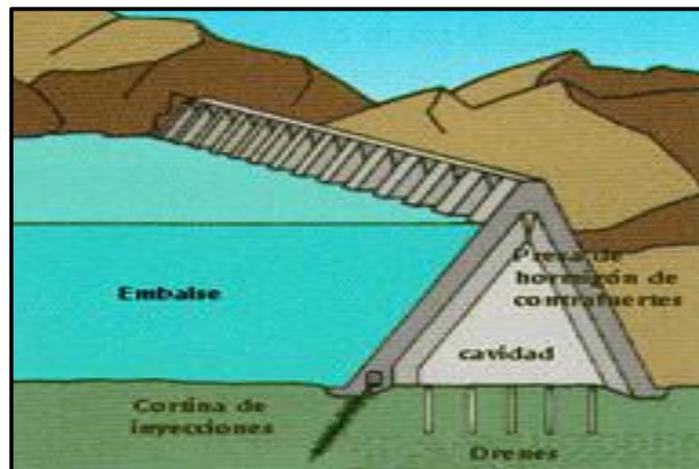
❖ Presas de bóveda o arco

Son todas aquellas en las que su propia forma es la encargada de resistir el empuje del agua. Debido a que la presión se transfiere en forma muy concentrada hacia las laderas de la cerrada, se requiere que ésta sea de roca muy dura y resistente. Constituyen las represas más innovadoras en cuanto al diseño y que menor cantidad de hormigón se necesita para su construcción.

Cuando la presa tiene curvatura en el plano vertical y en el plano 15 horizontal, también se denomina de bóveda. Para lograr sus complejas formas se construyen con

hormigón y requieren gran habilidad y experiencia de sus constructores que deben recurrir a sistemas constructivos poco comunes.

Debido a que transfieren en forma muy concentrada la presión del agua al terreno natural, se requiere que éste sea de roca muy sana y resistente, la que debe también ser muy bien tratada antes de asentar en ella la represa.



3. 2 Presa en Arco. (wikipedia, 2012).

3.2.2.2 Según su material

❖ Presas de hormigón:

Son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas. Normalmente, todas las presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material. Algunas presas pequeñas y las más antiguas son de ladrillo, de sillería y de mampostería.

En España, el 67% de las presas son de gravedad y están hechas con hormigón ya sea con o sin armaduras 16 de acero. Las represas de gravedad de hormigón, se

compone de cemento, piedras, gravas y arenas, en proporciones variables según el tipo de estructura y las partes de las mismas que se trate.

La particularidad de este material, que le permite adoptar complejas formas una vez fraguado, da la posibilidad de optimizar la forma y, por lo tanto disponer el peso de una manera tal que sea mayor la capacidad de la represa en su conjunto para resistir el empuje (Bolinaga, 2002).

❖ **Presas de materiales sueltos:**

Son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77% de las que podemos encontrar en todo el planeta. Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas.

Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos los que más destacan son las piedras y las gravas. Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante.

Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Las represas de materiales sueltos no soportan ser sobrepasadas por una crecida.

Por ello es necesario, basándose en el conocimiento del comportamiento histórico del río, efectuar una predicción de la forma en que se deberá operar el embalse formado, para evitar que en toda la vida de la obra sea sobrepasada por ninguna crecida, ya que corren el riesgo de desmoronarse y arruinarse.



3. 3 Presa de materiales sueltos. (wikipedia, 2012).

3.2.2.3 Según su aplicación

❖ **Presas filtrantes o diques de retención:** son aquellas que tienen la función de retener sólidos, desde material fino, hasta rocas de gran tamaño, transportadas por torrentes en áreas montañosas, permitiendo sin embargo el paso del agua (Bolinaga, 2002).

❖ **Presas de control de avenidas:** son aquellas cuya finalidad es la de laminar el caudal de las avenidas torrenciales, con el fin de que no se cause daño a los terrenos situados aguas abajo de la presa en casos de fuerte tormenta (Bolinaga, 2002).

❖ **Presas de derivación:** El objetivo principal de estas es elevar la cota del agua para hacer factible su derivación, controlando la sedimentación del cauce de forma que no se obstruyan las bocatomas de derivación. Este tipo de presas son, en general, de poca altura ya que el almacenamiento del agua es un objetivo secundario.

En geología una falla es una discontinuidad que se forma en las rocas de la corteza terrestre. En nuestro caso cuando se habla de falla de una presa se refiere a una rotura de la obra, con consecuencias graves para la población y la infraestructura que se encuentre aguas debajo de la misma.

Una falla es diferente de un incidente, pero a su vez un incidente no significa que la presa falle, aunque en algunos casos extremos eso ha llegado a ocurrir. La construcción de una represa es un mega proyecto que posee un gran espectro por lo tanto es necesario trabajar como sumo cuidado ya que los diferentes desastres pueden llegar a ocasionar grandes daños arrastrando todo a su paso. Existen muchas infraestructuras hidráulicas, desde la antigüedad hasta nuestros días, haremos énfasis en algunas a nivel mundial que se ha visto afectada por algún tipo de incidente, causando a su vez la falla de la obra.

3.2.3 Hidrología fluvial

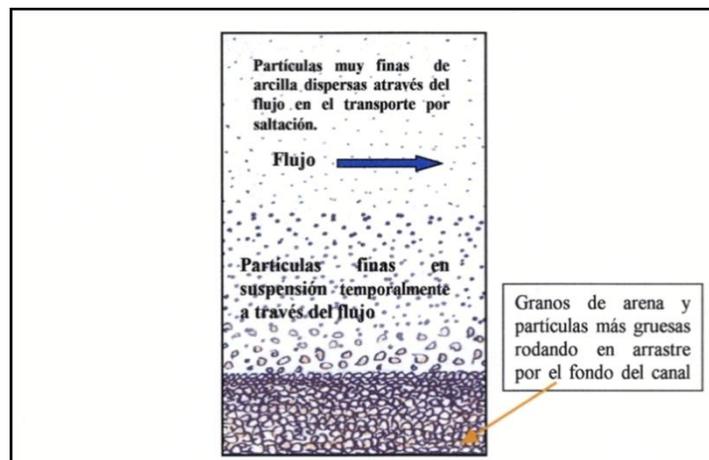
En los sistemas o medios fluviales existe un conjunto de canales de drenaje organizado de manera coherente y convergente llamados cuencas hidrográficas, las cuales se entrelazan por una red de cauces o canales que convergen con respuesta hidrológica hacia el mar, como punto geográfico del sistema y muchas veces formando un sistema ramificado dendrítico. Todo el sistema ramificado de drenaje convergerá en un solo canal principal activo, el cual tendrá una respuesta hidrológica al llegar al océano, descargando en la boca de desembocadura, el volumen del agua y la carga de sedimentos no depositados en la cuenca hidrológica, lo cuales han viajado por saltación o suspensión (Miall, A., 1981).

El volumen de material transportado, sometido a cualquiera de los mecanismos de transporte pero siempre en contacto con el fondo del río, es que se llama carga de

fondo donde una corriente de agua fluyendo sobre una capa de arena, limo y arcilla puede transportar partículas por dos vías: tal como la carga o peso de sedimentos.

El material es rodado y movido a lo largo de la parte más baja; o la carga suspendida, donde el volumen del material restante, el cual está constituido por las partículas finas que son transportadas sin tener contacto con el fondo del canal (en suspensión) y se le denomina carga en suspensión (Figura 3.1).

Estos dos parámetros mencionados son los que definen la configuración geométrica del canal y el tipo de depósito allí presente (Hjulstrom, F., 1935).



3. 4 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Modificado de Hjulstrom, F., 1935).

3.2.4 Análisis granulométrico por el método del tamizado

El análisis de granulometría se utilizó para determinar la variación del tamaño de los granos de los sedimentos.

Los resultados del mismo servirán para determinar la competencia y eficiencia del agente de transporte, así como también en caso de ser este último el agua, la mayor o menor proximidad de la roca generadora (Pettijohn F, 1970).

En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra. La tabla de clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth (Tabla 3.1), es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

Tabla 3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth(Pettijohn, 1949).

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA	
PSEFITA	Bloque	Aglomerado		Aglomerado (Conglomerado de bloques)	
	Guijón	Grava	256	Conglomerado o brecha	
	Guijarro		128		
	Guija		64		
			32		
			16		
			8		
			4		
			2		
PSAMITA	Grano	Arena	Muy gruesa	Arenisca	
			Gruesa		
			Mediana		
			Fina		
			Muy fina		
			1		
			0,5		
			0,25		
			0,125		
			0,062		
PELITA	Particula	Limo	0,031	Limolita	
			0,016		
			0,008		
			0,004		
			0,002		
		Arcilla	Muy fina	0,001	Arcilita
				0,0006	

3.2.5 Embalse

Se denomina embalse a la acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La construcción del embalse puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el

derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.

3.2.6 Embalses artificiales

Los embalses generados al construir una presa pueden tener la finalidad de:

- a. regular el caudal de un río o arroyo, almacenando el agua de los períodos húmedos para utilizarlos durante los períodos más secos para el riego, para el abastecimiento de agua potable, para la generación de energía eléctrica, para permitir la navegación o para diluir poluentes. Cuando un embalse tiene más de un fin, se le llama de usos múltiples;
- b. contener los caudales extremos de las avenidas o crecidas. Laminación de avenidas;
- c. crear una diferencia de nivel para generar energía eléctrica, mediante una central hidroeléctrica;
- d. crear espacios para esparcimiento y deportes acuáticos (Bolinaga, 2002).

3.2.7 Características de los embalses

Las características físicas principales de un embalse son las curvas cota-volumen, la curva cota-superficie inundada y el caudal regularizado.

Dependiendo de las características del valle, si este es amplio y abierto, las áreas inundables pueden ocupar zonas densamente pobladas, o áreas fértiles para la agricultura. En estos casos, antes de construir la presa debe evaluarse muy objetivamente las ventajas e inconvenientes, mediante un Estudio de impacto ambiental, cosa que no siempre se ha hecho en el pasado.

En otros casos, especialmente en zonas altas y abruptas, el embalse ocupa tierras deshabitadas, en cuyo caso los impactos ambientales son limitados o inexistentes.

El caudal regularizado es quizás la característica más importante de los embalses destinados, justamente, a regularizar, a lo largo del día, del año o periodos plurianuales o quizás pasen siglos antes de que este sea deshabilitado por la mano humana, el caudal que puede ser retirado en forma continua para el uso para el cual se ha construido el embalse (Bolinaga, 2002).

3.2.7.1 Niveles característicos de agua de los embalses



3. 5 Medición del nivel del embalse.

Según Bolinaga, J. (2012), el nivel del agua en un embalse es siempre mayor que el nivel original del río. Desde el punto de vista de la operación de los embalses, se definen una serie de niveles. Los principales son (en orden creciente):

❖ **Nivel mínimo minimorum:** es el nivel mínimo que puede alcanzar el embalse; coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota.

❖ **Nivel mínimo operacional:** es el nivel por debajo del cual las estructuras asociadas al embalse y la presa no operan u operan en forma inadecuada.

❖ **Nivel medio.** Es el nivel que tiene el 50 % de permanencia en el lapso del ciclo de compensación del embalse, que puede ser de un día, para los pequeños embalses, hasta períodos plurianuales para los grandes embalses. El período más frecuente es de un año.

❖ **Nivel máximo operacional:** al llegarse a este nivel se comienza a verter agua con el objetivo de mantener el nivel pero sin causar daños aguas abajo.

❖ **Nivel del vertedero.** si la presa dispone de un solo vertedero libre, el nivel de la solera coincide con el nivel máximo operacional. Si el vertedero está equipado con compuertas, el nivel de la solera es inferior al máximo operacional.

❖ **Nivel máximo normal:** al llegarse a este nivel la operación cambia de objetivo y la prioridad es garantizar la seguridad de la presa. En esta fase pueden ocurrir daños aguas abajo; sin embargo, se intentará minimizar los mismos.

❖ **Nivel máximo maximorum:** en este nivel ya la prioridad absoluta es la seguridad de la presa, dado que una ruptura sería catastrófica aguas abajo.

Se mantiene el nivel a toda costa; el caudal descargado es igual al caudal que entra en el embalse.

3.2.7.2 Volúmenes característicos de un embalse

Los volúmenes característicos de los embalses están asociados a los niveles; de esta forma se tiene:

❖ **Volumen muerto**, definido como el volumen almacenado hasta alcanzar el nivel mínimo minimorum.

❖ **Volumen útil**, el comprendido entre el nivel mínimo minimorum y el nivel máximo operacional.

❖ **Volumen de laminación**, es el volumen comprendido entre el nivel máximo operacional y el nivel máximo normal. Este volumen, como su nombre indica, se utiliza para reducir el caudal vertido en las avenidas, para limitar los daños aguas abajo (Bolinaga, 2002).

3.2.7.3 Caudales característicos de un embalse

❖ **Caudal firme**: es el caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Si el embalse ha sido dimensionado para compensar los caudales a lo largo de un año hidrológico, generalmente se considera como período crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo. Sin embargo, existen otras definiciones para el período crítico también aceptadas, como, por ejemplo, el volumen anual de aporte hídrico superado en el 75 % de los años, que es una condición menos crítica que la anterior.

❖ **Caudal regularizado**. es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, asociado a una probabilidad.

3.2.7.4 Vida útil del embalse

La vida útil del embalse, para efectos de las evaluaciones económicas, del mismo se estiman entre 30 y 50 años, sin embargo, los embalses potencialmente

pueden tener una vida útil mucho más larga. Los factores que pueden influir en la vida útil del embalse se pueden mencionar:

- a. Problemas de degradación de la represa;
- b. Sedimentación del embalse, con su consecuente disminución del volumen útil del mismo.

La combinación de suelos empinados, lluvias intensas, el tipo de suelo y el uso que se le da a los mismos hacen que las tasas de erosión y sedimentación sean muy altas en los lugares donde se sitúan los embalses. El alto acarreo de sedimentos de algunos cursos de agua y el desarrollo desmedido en las áreas cercanas a los embalses, así como la falta de control preventivo de la erosión aceleran el proceso de sedimentación de los embalses. En cuencas con embalses, los ríos y quebradas transportan los sedimentos erosionados hacia los embalses donde son "atrapados".

La forma más precisa para medir sedimentación en los embalses es mediante estudios de batimetría. Se toman elevaciones del fondo del embalse para generar la topografía del fondo del mismo. De esta manera se determina el volumen disponible del embalse y se compara con el volumen de diseño del mismo. Con la información levantada de los estudios de batimetría se determina la capacidad existente del embalse y la tasa de pérdida de capacidad anual basada en una carga específica de sedimentos.

Existen una variedad de alternativas para el manejo de sedimentación en embalses. En un embalse se puede utilizar más de una técnica y diferentes técnicas pueden ser más apropiadas en diferentes momentos a lo largo de la vida del embalse. Las estrategias de manejo se pueden catalogar en cuatro temas básicos: (1) reducir el aporte de sedimentos hacia el embalse, (2) manejo hidráulico del embalse para

minimizar el depósito de sedimentos, (3) remover los sedimentos una vez depositados, y (4) manejar las consecuencias sin manejar el proceso de sedimentación como tal. (Bolinaga, 2002). A continuación un resumen de estrategias para el manejo de sedimentos:

❖ **Reducir el aporte de sedimentos.** esto se puede lograr mediante trampas de sedimento, las que pueden ser tanto estructurales como no estructurales, dentro o fuera del río.

Otra manera para reducir el aporte de sedimento es mediante controles de erosión superficial de los suelos, propiciando la formación de una protección vegetal de los mismos.

❖ **Minimizar el asentamiento de sedimentos.** esta estrategia se fundamenta en el desvío de sedimentos. Esto se puede lograr mediante el desvío de corrientes de agua turbia o el desvío de crecidas, entre otras.

Una estrategia para el desvío de sedimentos que se ha implantado en algunos países, es la construcción de embalses fuera del cauce.

❖ **Recuperar el volumen de almacenamiento.** una manera de lograr esto es mediante excavación, ya sea hidráulica o mecánica. Otra manera es mediante la redistribución de sedimentos, por ejemplo depositándolos en el volumen muerto.

Esta última se puede lograr también con modificaciones estructurales o subiendo el nivel operacional.

3.2.8 Causas de las filtraciones en embalses

3.2.8.1 Tubificación

La tubificación puede erosionar tanto los terraplenes de las presas como los sitios de paso de las estructuras de hormigón, socavando los terraplenes o sus fundaciones, y tanto desde aguas abajo hacia aguas arriba como a la inversa.

Un flujo de agua surge por una diferencia de energía (dada por la carga o diferencia en el nivel de agua) entre dos puntos. Gradiente hidráulico es la diferencia de carga de agua entre dos puntos, dividida por la distancia (trayectoria) entre los mismos ($i = h / L$). El flujo ejerce en un nivel dado de una masa del suelo además de la presión hidrostática, otra ($= h * \gamma_{\text{agua}}$, Figura 1) que se debe exclusivamente a la carga hidráulica.

Esta es la presión de filtración:

$$p_f = h * \gamma_{\text{agua}} = i * L * \gamma_{\text{agua}} \quad (3.1)$$

El flujo tiende a ejercer presión sobre las partículas del suelo, y la fuerza de filtración actuante, definida por unidad de volumen, puede arrastrarlas en el sentido de la corriente. Las fuerzas que se oponen al arrastre del flujo es la trabazón entre las partículas (estructura) y su cohesión, pero al emerger aguas abajo de la presa, es el peso sumergido del suelo la principal fuerza en sentido opuesto, al menos en suelos sin cohesión. Una presa es, en cierta forma, un impedimento interpuesto en la corriente para que el agua pase por debajo de ella. La energía debe disiparse lo suficiente por fricción y otras pérdidas a través de esa trayectoria, de forma de que salga (aguas abajo de la presa) sin provocar erosión (tubificación y sufusión) que ponga en riesgo la estructura.

El sentido de la fuerza de filtración sigue el de las líneas de flujo, y en su origen, cuando el agua penetra en el suelo tiene el mismo que el del peso de las partículas, pero la erosión se ve impedida por la masa del suelo. En cambio, al emerger aguas abajo, tienen sentidos opuestos, y allí no existe masa alguna que se oponga a la erosión.

Cuando el área de la sección transversal está restringida, como debajo de los tablestacados, la velocidad, la fuerza de filtración y el gradiente aumentan. Se llama gradiente hidráulico crítico al que resulta del perfecto equilibrio entre estas fuerzas, considerando el peso sumergido del suelo. El gradiente crítico es aproximadamente igual a 1, puesto que el peso saturado de los suelos es aprox. el doble del peso específico del agua (sumergido saturado agua $g = g - g$).

3.2.8.2 Dispersión

Se denomina así al proceso por el cual las partículas de arcilla de muy pequeñas dimensiones, ven disminuidas sus fuerzas de atracción molecular por efecto de la presencia de iones de sodio, lo que las vuelve susceptibles al arrastre o dilución. Los cationes Na^+ aumentan el espesor de la doble capa y las fuerzas eléctricas de repulsión, siendo superiores a las de atracción de Van der Waals. El proceso degrada los suelos con alto contenido de sodio debido al arrastre (dispersión o defloculación) de coloides. Determinadas condiciones como flujos de agua pura (agua de lluvia), con bajos contenidos de sales, activan y aceleran el proceso, incluso con cargas nulas o muy pequeñas de agua.

3.2.8.3 Tubificación por levantamiento

En los primeros estudios se analizaron “reventones” donde la arena entraría en “ebullición”, provocando el colapso de la obra si el peso del suelo resultaba

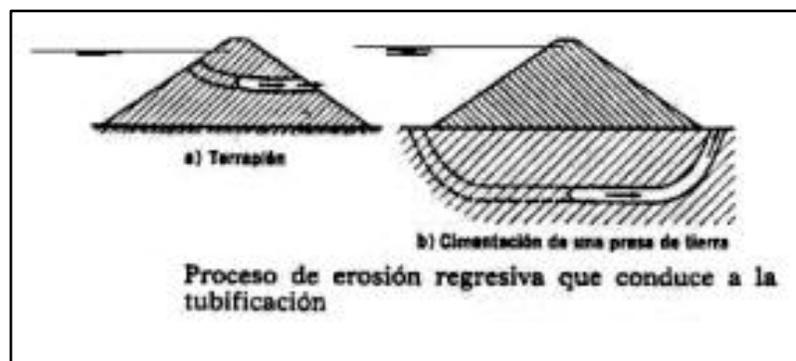
insuficiente para contener el movimiento ascendente del suelo bajo el efecto de la fuerza de filtración, en el momento de alcanzarse un determinado gradiente, denominado “crítico”.

Terzagui (Terzagui-Peck 1973) recomendó la construcción de un “filtro invertido cargado” (materiales gruesos arriba), de tal forma que su peso, colocado en la zona donde emergen las líneas de corriente en forma concentrada (inmediatas al tablestacado), evite el sifonamiento, incrementando el factor de seguridad.

3.2.8.4 Tubificación retrógrada

La tubificación retrógrada se puede producir en prácticamente todos los suelos (en los no cohesivos si algún estrato o estructura impide el desmoronamiento del túnel), desde aguas abajo hacia aguas arriba, siguiendo preferentemente el camino de concentración de las líneas de filtración.

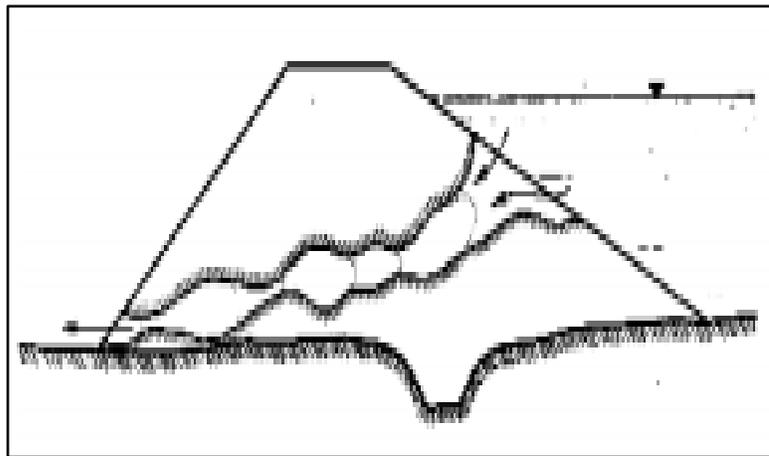
El conducto se forma por las zonas geológicamente más débiles, por planos de estratificación permeables, o en cualquier otras zonas de concentración del flujo donde la energía llega sin sufrir grandes pérdidas debidas a la fricción (figura 3.6).



3.6 Tubificación retrógrada.

3.2.8.5 Fractura hidráulica

Consiste en la brusca irrupción del agua a través de las grietas de los terraplenes, bajo los efectos de la carga hidráulica, ejerciendo subpresiones (fuerzas dirigidas de abajo hacia arriba) y presiones en todas direcciones, principalmente durante el primer llenado del embalse o al producirse alguna variación brusca de su nivel, (Jiménez S. Justo A. 1975). (Figura 3.7)



3. 7 Fractura hidráulica.

A las contracciones y secado como el origen de fisuras pueden agregarse diferencias en compactación producidas por el paso de los rodillos. Estas grietas internas pueden estar cerradas, pero, cuando el nivel del reservorio alcanza algunos metros (2 a 3) sobre ellas, la presión hidrostática puede ser superior a la presión total. El agua ejerce presión sobre la fisura abriéndola progresivamente.

3.2.8.6 Posibilidad de tubificaciones dispersivas en los cimientos

En general las tubificaciones (debidas a suelos dispersivos) se presentan en el cuerpo de la presa: en sus paramentos, en contactos con la fundación o con los conductos. Hay muy pocos casos por debajo de sus cimientos. Aún el mismo peso de la presa puede cerrar las incipientes. Al parecer las aguas subterráneas con altos contenidos de sales impiden el lavado de los iones sodio en las arcillas dispersivas, y el reemplazo gradual por aguas más limpias procedentes del reservorio permite que los suelos disminuyan su contenido de sodio en el agua de poro

3.2.8.7 Medidas de prevención contra la tubificación

Las tubificaciones pueden prevenirse mediante los criterios adecuados de diseño, tanto en suelos granulares como en cohesivos. ·

a. La red de flujo proporciona un medio teórico de interpretar las subpresiones, las fuerzas de filtración (gradiente) y los caudales pasantes. La seguridad de la presa depende de que los valores obtenidos estén dentro de rangos seguros. De no poder determinarse, se deberán adoptar criterios conservadores (como el de Lane), y calcular los valores mediante fórmulas aproximadas. ·

b. El criterio de confiar y considerar al filtro de aguas abajo como la principal línea de seguridad de la presa parece más razonable que el antiguo de múltiples líneas de defensa. Exige un diseño cuidadoso de todos los filtros y drenes de la presa, incluyendo el dren chimenea. ·

c. Los suelos dispersivos pueden utilizarse cuando no existan otros disponibles, con adecuadas medidas de control, que impidan o aseguren el autosellado de las fisuras potenciales. El control en obra de estas medidas de seguridad es clave. Los riesgos son mayores, debido a las probables tubificaciones superficiales y en los terraplenes.

3.2.8.8 Determinación del contorno subterráneo de la presa.-

Para la cimentación la pérdida de carga por presión del agua es directamente proporcional a la longitud del contorno subterráneo desarrollado.

En terrenos no rocosos y permeables es necesario prolongar el camino de la filtración, de tal forma que la mayor parte de la carga de presión del agua sea agotada por la resistencia del suelo en el camino desde aguas arriba hacia aguas abajo.

a. Construir aguas arriba de la estructura pantallas o delantales impermeables (generalmente se usa en suelos arcillosos). Su longitud está entre los límites H y $1.5H$ para que sea efectiva. Los delantales flexibles (arcillas, suelos, suelo-cemento, asfalto o materiales sintéticos) responden a las exigencias de deformabilidad de la fundación. La permeabilidad del material debe ser unas 50 veces menor que la permeabilidad de la fundación. Para cargas hasta de 15 m se usan delantales de arcilla, tierra arcillosa y turbosa. Para cargas mayores se usan de concreto reforzado, asfaltos o similares. Los delantales rígidos se construyen comúnmente en las cimentaciones compactadas de la presa, en forma de losas aisladas con juntas provistas de sellos impermeables. Otros son los delantales anclados, compuestos generalmente de losas de 0.4 a 0.7 m. de espesor y cuya armadura se une a la malla inferior de la armadura de la placa de cimentación de la presa.

b. Tablestacados o pantallas impermeables debajo del contorno subterráneo. La profundidad de hincado del tablestacado va de $0.5H$ a $1.5H$, si son colgantes la distancia entre ellos no debe ser menor de 2 veces su profundidad. Se usan de acero, concreto reforzado y a veces de madera, las de concreto reforzado permiten que sean hechas en el sitio, las de acero permiten lograr grandes longitudes, las de madera no logran gran impermeabilidad y su profundidad de hincado es menor.

c. El mejoramiento del suelo consiste en inyecciones u otro tipo de sistema de estabilización del suelo. En presas localizadas sobre suelos cohesivos arcillosos no es recomendable la construcción de pantallas impermeables ya que la permeabilidad de estos elementos es comparable con la del suelo de fundación. En lugar de ello, es mejor construir dentellones verticales poco profundos para evitar el posible desarrollo de pasos propicios a la filtración.

d. En fundaciones permeables un tratamiento podría ser un colchón o manto impermeable en el lado aguas arriba de la presa que evita el drenaje hacia la presa

e. El tratamiento mínimo para cualquier cimentación es el despalme del área de la cimentación para quitarle el pasto, la tierra vegetal con elevado contenido de materia orgánica y otros materiales inadecuados que puedan eliminarse con una excavación.

f. Se pueden usar varios métodos de tratamiento para la presencia de filtraciones, que dependen de los requisitos para evitar la pérdida de agua. Un objetivo de las cimentaciones es permitir el paso libre de la corriente y disipar la presión sin que se altere la estructura.

g. Las dimensiones óptimas del contorno subterráneo y del tipo de esquema a usar se establecen con base en el análisis técnico-económico de diferentes variantes.

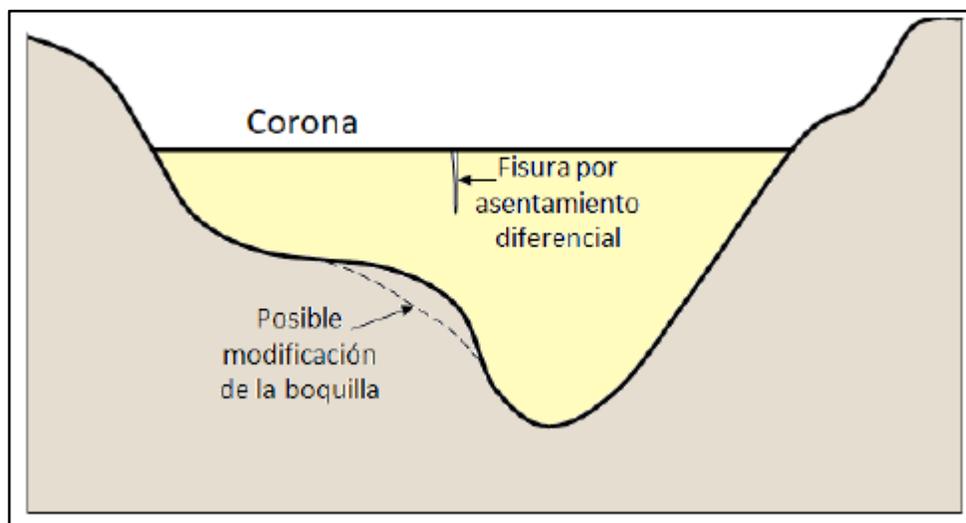
3.2.9 Diseño geométrico de presas de materiales sueltos

Para el diseño geométrico de las presas de materiales sueltos se debe tomar en cuenta los mismos aspectos considerados para otros tipos, siendo relevantes las características físicas, geológicas y geotécnicas presentes en el sitio de

emplazamiento de la futura presa, entre las cuales se debe dar mayor atención a las siguientes:

3.2.9.1 Forma de la boquilla o sección de cierre

Prácticamente todas las formas son adecuadas para la construcción de presas de materiales sueltos; sin embargo, algunas secciones pueden requerir de modificaciones locales de la sección, con el fin de evitar deformaciones diferenciales y la formación de fisuras en el cuerpo de la presa, como se ilustra en la figura 3.8 (Sandoval, W. 2018).

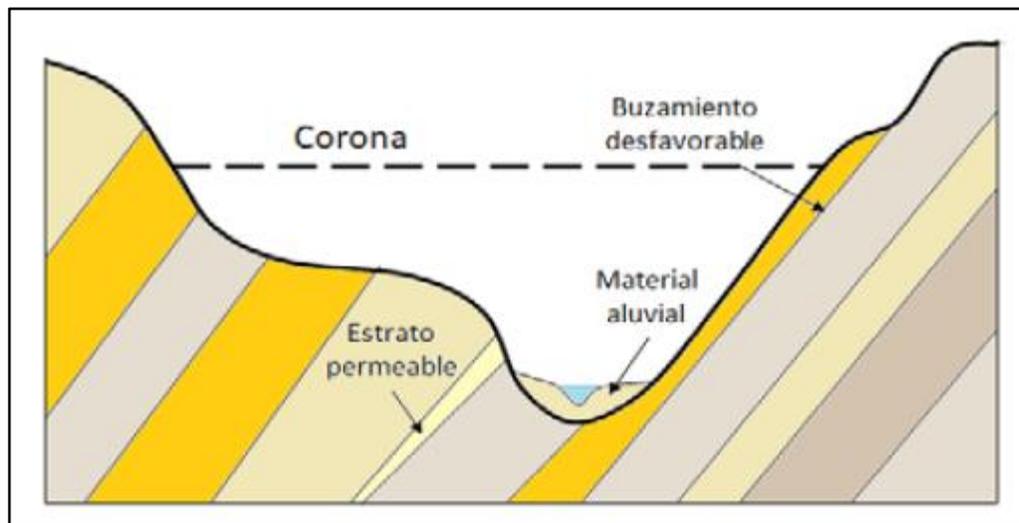


3. 8 Fisuras en una presa por la forma de la boquilla(Sandoval, W. 2018).

3.2.9.2 Condiciones de los estratos geológicos

Tanto para la estabilidad de las laderas como para la permeabilidad de la sección de cierre, es importante tomar en cuenta el buzamiento (inclinación respecto al plano horizontal) de las diferentes capas presentes en la zona de cierre de la presa, al igual que la presencia de estratos o zonas permeables. Por ejemplo, en la figura 3.9

se puede notar que las condiciones geológicas de la ladera derecha no son lo más convenientes para la estabilidad del talud, mientras que, en la margen izquierda, se observa un estrato permeable, cuyo tratamiento puede requerir procedimientos especiales (Sandoval, W. 2018).



3. 9 Condiciones geológicas de la boquilla (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.3 Capacidad de carga de los suelos o los estratos que conforman la cimentación

Si el material aluvial, que recubre suelos de una mayor resistencia, tiene un pequeño espesor, de 5 a 10 m, se recomienda desalojarlo o buscar la manera de mejorar su resistencia, dependiendo de cuál resulte la solución más económica (Goldin, 2001).

3.2.9.4 Estabilidad de los estribos laterales

Las condiciones de meteorización de la capa superficial de la roca de los estribos, así como la disposición de los estratos, pueden resultar críticas, tales como,

que al llenarse el embalse y saturarse los suelos, pierdan su condición de equilibrio y se deslicen (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.5 Zona sísmica

Se debe tomar en cuenta que en la mayoría de los casos los lechos de los ríos coinciden con fallas geológicas o tectónicas (Marsal, 1979), por lo que se debe realizar un estudio de la sismicidad de la región. Los resultados inciden sobre la geometría y a la clasificación de los materiales que se consideran usar en la construcción de la presa (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.6 Condiciones de flujo del agua subterránea

El emplazamiento de la presa y el llenado del embalse modifican el flujo subterráneo, por lo que se deben tomar en cuenta esos cambios; siempre existe la posibilidad de que el flujo se desvíe, inclusive, hacia otra cuenca. La variación del nivel freático puede cambiarla estabilidad de los taludes de la zona embalse y producir deslizamientos. Estos factores conjugados con otros pueden condicionar o limitar la altura de la presa (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.7 La permeabilidad de la cimentación y de los materiales de la zona

Son los que determinan el tipo de presa y los elementos de impermeabilización a utilizarse (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.8 El clima

Es un factor que condiciona los materiales, el diseño y la forma de construcción de una presa, porque controla el rendimiento en la colocación de los materiales y, por consiguiente, el tiempo necesario para su construcción (Sandoval, W. 2018).

3.2.9.9 Paso de caudales durante el período de construcción

Este es uno de los aspectos de mayor trascendencia, por lo que, generalmente, para el diseño de las presas y en hidrotecnia, se lo estudia como un tema particular de diseño. Los métodos más comúnmente utilizados para el paso de caudales consisten en un túnel un canal de desvío que, funcionan a la perfección si es que el período de construcción es muy corto o que coincide con un período de caudales bajos. Para construcciones en las que se prevé que duren varios años, como en el caso de presas grandes, es probable que se presenten grandes caudales que superen a los que se consideró para el correspondiente período de retorno, que hace necesario introducir modificaciones en el diseño. Existen casos históricos en los que se ha permitido el paso de crecidas por sobre presas de materiales sueltos en construcción, solo con algunas modificaciones temporales (Grishin, 1979), (Alvarez, 1998).

3.2.9.10 Importancia de la obra

Como se desprende del Capítulo 1, las exigencias de seguridad modifican el diseño de una presa para atender con especial cuidado los riesgos de falla (Sandoval, W. 2018).

3.2.10 Pantallas de hormigón o concreto

Para presas de escollera, en las que se utiliza pantallas de hormigón como elemento de impermeabilización y protección del talud de aguas arriba, Grishin (1979) recomienda para determinar el espesor de estas pantallas (t_h) la siguiente ecuación:

$$T_h = kh (\lambda / mL)^{1/2} \dots \dots \dots (3.1)$$

Donde: $k = 0,096$, para juntas cerradas de las losas y $k = 0,077$ para juntas abiertas, L – es la longitud vertical entre las juntas de las losas.

En la práctica, el espesor de la pantalla (m) se lo determina a partir de la ecuación presentada en Gandarillas (2010) y otros autores:

$$t_h = 0,3 + kH \quad (3.2)$$

Donde:

$$k = 0,002 \text{ a } 0,003 \text{ y } \quad (3.3)$$

H = es la altura de la presa desde donde arranca la pantalla hasta la corona.

En la presa Mazar se utilizó el valor de $k = 0,003$. Las pantallas de hormigón se las funde en el sitio, como se observa en la figura 3.9; sin embargo, si es que se utilizan losetas prefabricadas se recomienda que las dimensiones varíen desde 1,5 m x 1,5 m hasta 5 m x 5 m, con un espesor que, de acuerdo con Grishin (1979), es de 0,15 m a 0,20 m.



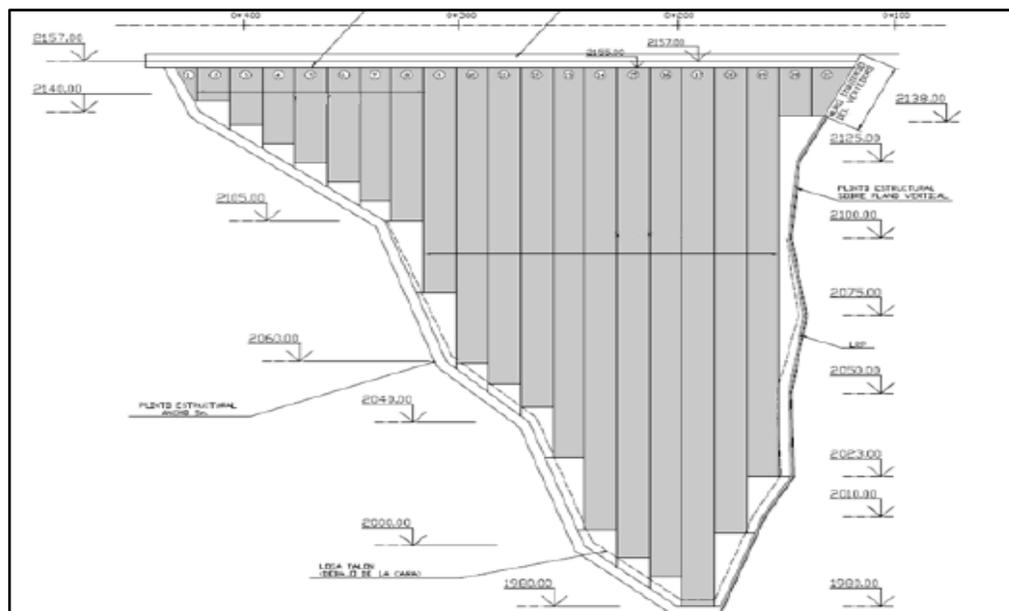
3. 10 Proceso constructivo de una pantalla de concreto de hormigón (Sandoval, W. 2018).

Las losas de las presas de escollera no son de un solo cuerpo, por lo que es preciso diseñar juntas que garanticen la estanqueidad. En la figura 3.11, se aprecia con detalle los aspectos constructivos, tales como el armado del hierro, la banda de PVC y la lámina metálica de impermeabilización, los encofrados, etc.



3. 11 Detalle de una junta de una pantalla de concreto (Sandoval, W. 2019).

En la figura 3.12 se puede apreciar el diseño de la pantalla de hormigón de la presa Mazar y su empate con la sección de cierre.



3. 12 Pantalla de concreto del proyecto Mazar (Sandoval, W. 2019).

3.2.11 Pantallas o muros de corte

Conciernen a las previstas para cortar el paso del flujo subterráneo en los suelos permeables. Se las fabrica de varios materiales, encontrándose, entre los más comunes, el metal y el hormigón plástico. Su profundidad debe alcanzar un estrato impermeable o, para grandes profundidades del material aluvial, hasta 0,5 a 1 vez la carga hidráulica a la que estará sujeta la presa (figura 3.13) (Sandoval, W. 2019).



3. 13 Proceso de construcción de una pantalla de concreto plástico (Sandoval, W. 2019).

3.2.12 Coeficiente de filtración de suelos gruesos

El coeficiente de filtración para suelos gruesos (cm/s) se lo puede determinar con la ecuación citada por Rasskazov (2008):

$$k_f = 100 \times (n^3 / (1-n)^2) \times (d_{17})^2 \times (d_{60} / d_{10})^{1/2} \quad (3.4)$$

Donde:

Kf:= coeficiente de filtración

n = es la porosidad,

d_{17} = es el diámetro de las partículas (cm) correspondientes al 17% en peso.

Una ecuación más simple es la sugerida en USSD (2011) con un rango de aplicación de $d_{10} = 0,1$ a 3 mm:

$$k_f = C d_{10} \quad (5.39) \dots \dots \dots (3.5)$$

Donde:

Kf:= coeficiente de filtración

C = 0,4 a 1,2, con un valor recomendado de 1,0.

3.2.13 Densidad de suelos finos

El peso volumétrico del material fino a colocarse en una presa se lo puede determinar con la siguiente ecuación (Rasskazov, 1984):

$$\gamma_v = \frac{\gamma \cdot \gamma_s (1 - V_a)}{\gamma + \gamma_s W_c} \quad (3.6)$$

Donde:

γ = es el peso específico del agua,

V_a = el volumen relativo de aire incluido en el suelo, $V_a = 0,02$ a $0,04$,

W_c = humedad del suelo utilizada en el cálculo, que, para disminuir la presión de poros, se asume como 1% o 2% menor que el valor de la humedad óptima.

Para el diseño se debe tomar en cuenta que la humedad óptima, con la que se coloca un suelo fino en una presa, depende de la humedad en la zona de préstamo (cantera), de las condiciones climáticas (presencia de lluvia) y de la tecnología de compactación (tipo de rodillo, espesor de las capas y cantidad de pasadas).

3.2.14 Coeficiente de filtración de suelos finos

Rasskazov (1984) recomienda utilizar la ecuación de Zhilinkov V., cuyo límite de aplicación es $0,2 \leq e \leq 1,0$:

$$k_f = 4 * 10^{-11} \exp \frac{e}{0,17e_L - 0,084} \quad (3.7)$$

Donde:

e_L = es el coeficiente de porosidad correspondiente al límite líquido, que se lo determina con la siguiente relación,

$$e_L = \frac{\gamma_s}{\gamma} W_{LL} \quad (3.8)$$

3.2.14.1 Ejemplo de diseño para suelo fino

Se requiere determinar el peso volumétrico de un suelo limo-arenoso de $\gamma_s = 2,71 \text{ t/m}^3$, humedad óptima $W_{op} = 23,32\%$, $W_{LL} = 41,63\%$ y coeficiente de porosidad $e = 0,72$.

Se determina el peso específico del suelo fino en obra con la ecuación (3.6), asumiendo $W_c = W_{op} - 2\% = 21,32\%$ y $V_a = 0,04$:

$$\gamma_v = \frac{1 * 2,71(1 - 0,04)}{1 + 2,71 * 0,2132} = 1,65 \text{ t/m}^3$$

Y el coeficiente de porosidad en el límite líquido, ecuación (3.8):

$$e_L = \frac{2,71}{1} 0,4163 = 1,128$$

El coeficiente de filtración con la ecuación (3.7):

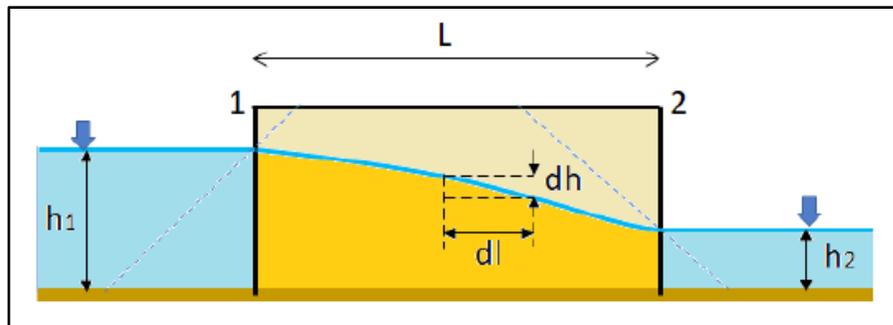
$$k_f = 4 * 10^{-11} \exp \frac{0,72}{0,17 * 1,128 - 0,084} = 3 * 10^{-8} \text{ cm/s}$$

3.2.15 Filtración en presas de tierra

El proceso de filtración en las presas es bastante complejo debido a la diversidad de condiciones naturales y constructivas que pueden presentarse, por lo que es indispensable evaluarlo para determinar los gradientes del flujo y las pérdidas de agua que ocurren a través del cuerpo de la presa, la cimentación, los estribos y otros sitios del embalse.

Para conocer la parte del material de la presa que se encuentra bajo la acción del flujo de agua y la que no, es preciso determinar la línea de saturación, que se establece en el interior del cuerpo de la presa de materiales sueltos y el caudal que se filtra, para lo cual se pueden utilizar varios métodos como; el gráfico, analítico, numérico, simulación eléctrica, etc.

Para el análisis de la filtración se emplean varias abstracciones, como las siguientes: la filtración es permanente (estacionaria) en el tiempo y se la analiza en un solo plano; se la considera despreciable a la componente vertical de la velocidad; el suelo del que está conformada la presa es uniforme; el borde o estrato inferior se le considera impermeable; y, la posición de la línea de saturación no depende de la calidad del suelo, sino de las condiciones geométricas del perfil de la presa.



3. 14 Flujo a través de un bloque permeable de suelo (Sandoval, W., 2019).

La mayoría de los métodos de cálculo de filtración se fundamentan en la ecuación de velocidad de Darcy:

$$v = k_f J \quad (3.9)$$

Donde:

$I = dh/dl$ - es el gradiente hidráulico del flujo.

Dupuit, citado por Chugaev R. (1982), analizando un bloque rectangular de suelo asentado sobre una superficie horizontal impermeable, figura 3.13, dedujo que el caudal unitario es:

$$q = vh = k_f h J = k_f h \frac{dh}{dl}$$

Si es que se integra a lo largo del bloque,

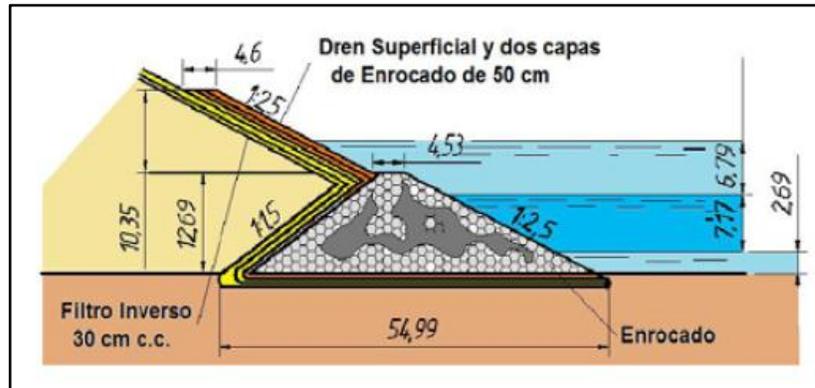
$$q \int dl = k_f \int_{h_2}^{h_1} h dh$$

Resulta la fórmula de caudal para cada metro de ancho de la presa, obtenida por Dupuit en 1863,

$$q = k_f \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (3.10)$$

A partir de esta ecuación y considerando que el resultado no se afecta si se modifica la masa de suelo sobre la línea de saturación, como se muestra, con las líneas punteadas, en la figura 3.13, se presentan varias soluciones analíticas para el flujo filtrante a través de presas.

Como elementos complementarios a considerar en el análisis de filtración se tiene los drenes y filtros, que influyen directamente en la posición de la línea de saturación. Adicionalmente, como elemento estructural, existen los prismas de enrocado que mejoran en la estabilidad hidráulica y estructural de la presa, figura 3.15.



3. 15 15 Enrocado al pie de una presa de tierra (Sandoval, W. 2019).

Para el cálculo de filtración se debe simplificar lo más posible el perfil de la presa, excluyendo algunos elementos como los enrocados de protección de aguas arriba (rip-rap) y los filtros. Así también, en la cimentación se pueden aglutinar en capas los suelos con características físicas cercanas.

Para aguas arriba, el nivel del agua a considerarse es el que corresponde al nivel más alto de la línea desaturación, que usualmente es el NAMO y, para aguas abajo, el nivel de mayor duración en el año, que generalmente corresponde al nivel mínimo y, en las cimentaciones permeables, éste puede coincidir con la solera del cauce.

3.2.16 Filtración en una presa homogénea con cimentación permeable

El método que se describe a continuación fue propuesto por Chugaev (1967). Se considera que el coeficiente de filtración del cuerpo de la presa no es igual al de la cimentación ($k_{fp} \neq k_{fc}$) y que el estrato impermeable se encuentra a una profundidad Tr . En este caso, no se requiere que intervenga en el análisis de la filtración todo el espesor Tr y, por lo tanto, se asume que solo una parte de la profundidad Tc participa en el cálculo.

El espesor del estrato a considerarse en el cálculo debe cumplir la siguiente condición:

$$T_c = \frac{k_{fp}}{k_{fc}} T_r \leq 0,5L \quad (3.11)$$

En el caso de que $T_r \leq T_c$ se realiza el cálculo con el valor T_r .

ΔL_1 se calcula para ubicar a esa distancia el eje de las ordenadas:

$$\Delta L_1 = \frac{m_1}{2m_1+1} H_1 \quad (3.12)$$

Mientras el eje de las abscisas se lo ubica en la profundidad T_c , figura 3.15.

En la ecuación del caudal unitario se procede a realizar los cambios, de acuerdo con la figura 3.15:

$$\frac{q}{k_{fp}} = \frac{H_1^2 - (H_2^*)^2}{2L_T} \quad (3.13)$$

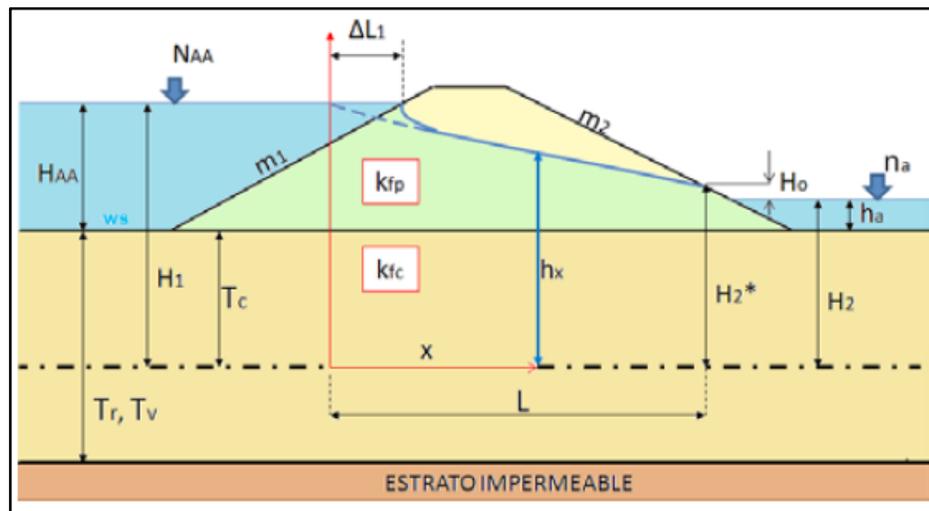
Los demás valores se los determina con las siguientes ecuaciones:

$$H_0 = 1,2 \left(A + \sqrt{A^2 + 0,4 \frac{q}{k_f} H_2} \right) \quad (3.14)$$

$$A = 0,5 \left[\frac{q}{k_f} m_2 - \left(1 + \frac{0,4}{m_2} \right) H_2 \right] \quad (3.15)$$

$$h_x = \sqrt{H_1^2 - (H_1^2 - H_2^{*2}) \frac{x}{L}} \quad (3.16)$$

Estas ecuaciones se las tiene que resolver por aproximaciones sucesivas, en vista que no se conoce H_0 .



3. 16 Filtración por una presa de fundación permeable (Sandoval, W. 2018).

3.3 Bases Legales

3.3.1 Ley de aguas

Se considera que esta ley contenida y publicada en la Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela No: 35.595 del 02-01-2007 apoya en todas sus partes este tipo de trabajo de investigación. Sin embargo, se mencionan a continuación solo dos (2) de los más importantes artículos que contiene.

Artículo 3.- La gestión integral de las aguas comprende, entre otras, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional,

gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los, ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del territorio y de desarrollo socioeconómico del país.

Artículo 12.- El control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

1. La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, atendiendo a su calidad y usos actuales y potenciales.

2. El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en afluentes líquidos generados por fuentes puntuales.

3. El establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación no puntuales.

4. La elaboración y ejecución .de programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas máxicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

La clasificación de los cuerpos de agua y la aprobación de los programas maestros de control y manejo de los mismos, las cuales se podrán realizar conjunta o separadamente con los planes de gestión integral de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas.

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1 Afluentes

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. Ordoñez, J. (2011).

3.4.2 Aliviadero

Estructura por encima de la cual o a través de la cual el caudal es liberado durante las avenidas. Si, por ejemplo, el caudal es controlado por medio de compuertas, se trata de un aliviadero con compuertas; en el caso contrario, se trata de un aliviadero de labio fijo (CIGB, 2015).

3.4.3 Área del embalse

Superficie cubierta por un embalse lleno (expresado en km²) (CIGB, 2015).

3.4.4 Ataguía

Estructura temporal realizada durante la construcción con el fin de que las obras definitivas pueda hacerse en seco. Una ataguía de desvío permite desviar un curso de agua a un conducto, un canal, un túnel (CIGB, 2015).

3.4.5 Auscultación

Colocación de aparatos de medida instalados en una presa o cerca de ella para evaluar el comportamiento y los rendimientos de una estructura (CIGB, 2015).

3.4.6 Avenida

Subida temporal de las aguas de un río o de un cauce como consecuencia de lluvias importantes en la cuenca vertiente. Conlleva la inundación de zonas habitualmente secas (CIGB, 2015).

3.4.7 Avenida de proyecto

Avenida de cálculo utilizada para proceder al dimensionamiento de una presa y sus obras anejas tales como los aliviaderos y los órganos de desagüe y para determinar la capacidad máxima de almacenamiento, la altura de la presa y los resguardos necesarios (CIGB, 2015).

3.4.8 Caudal

Es el volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3 /s . (Ordoñez, J., 2011).

3.4.9 Coronación

Plano más alto de una presa de hormigón o mampostería.

3.4 10 Corte

Vista de una presa como sección del interior en sentido perpendicular al eje (CIGB, 2015).

3.4 11 Cuenca hidrográfica

Zona drenada hasta un punto particular de un río o de un curso de agua (expresada en km^3) (CIGB, 2015).

3.4.12 Cuenca vertiente

La cuenca de captación o cuenca vertiente es, para una presa, la zona situada aguas arriba de la presa (a menudo expresada en km^3). Las precipitaciones que caen en la cuenca vertiente de una presa discurren y vierten hasta la presa (CIGB, 2015).

3.4.13 Derivar

Hacer ir en una dirección diferente (CIGB, 2015).

3.4.14 Desagüe de fondo

Órgano de desagüe en la parte baja del embalse utilizado habitualmente para vaciar el embalse o evacuar los sedimentos y a veces para permitir el regadío (CIGB, 2015).

3.4.15 Distancia de resguardo

Vertical entre el nivel máximo de un embalse y la altura de la presa (CIGB, 2015).

3.4.16 Erosión

Deterioro progresivo de una superficie, sea un río, el lecho de un curso de agua, una riera o cualquier otra superficie provocado por el flujo del agua, las olas de los embalses, el viento o cualquier otro proceso natural (CIGB, 2015).

3.4 17 Espesor de tongada del hormigón

Espesor de las capas sucesivas de hormigón delimitadas por juntas de construcción horizontales (CIGB, 2015).

3.4 18 Estabilidad

Condición de una estructura que es capaz de soportar fuerzas y presiones instantáneas o de larga duración sin sufrir deformaciones significativas (CIGB, 2015).

3.4 19 Evaporación

Proceso de paso de un líquido al estado gaseoso o de vapor que se mezcla con el aire (CIGB, 2015).

3.4.20 Longitud de la coronación de la presa.

Longitud de la cima de la presa de una orilla a otra (CIGB, 2015).

3.4.21 Márgenes del embalse

Límites de la superficie del agua del embalse (CIGB, 2015).

3.4.22 Nivel aguas abajo

Nivel del agua que se encuentra inmediatamente aguas abajo de la presa. El nivel de aguas abajo varía según los caudales liberados desde la presa y según las influencias de las otras presas y estructuras situadas aguas abajo (CIGB, 2015).

3.4.23 Nivel mínimo de explotación

Nivel más bajo que puede alcanzar el embalse en condiciones normales de explotación; corresponde al nivel inferior de capacidad útil de embalsado (CIGB, 2015).

3.4.24 Órgano de desagüe

Abertura a través de la cual el agua puede ser liberada desde un embalse a un río (CIGB, 2015).

3.4.25 Pie de la presa

Intersección del paramento aguas abajo con el terreno; se llama también “pie de aguas abajo”. La intersección con el paramento aguas arriba se llama talón o pie de aguas arriba. fin de crear un embalse y controlar el caudal (CIGB, 2015).

3.4.26 Talud

Inclinación en relación con un plano horizontal; pendiente mide la inclinación respecto a la vertical (CIGB, 2015).

3.4.27 Toma de agua

Situada a la entrada de los órganos de desagüe, la toma de agua fija el nivel último de vaciado del embalse. Puede tratarse de torres verticales o inclinadas, o de estructuras sumergidas. El nivel de las tomas está fijado según los caudales requeridos, teniendo en cuenta la sedimentación y el nivel deseado de vaciado (CIGB, 2015).

3.4.28 Umbral de los aliviaderos

Nivel inferior de los aliviaderos; corresponde al nivel mínimo del embalse que permite el paso del agua por los aliviaderos (CIGB, 2015).

3.4.29 Volumen activo

Suma del volumen útil y del volumen inactivo (CIGB, 2015).

3.4.30 Volumen de control de avenidas

Hecho de almacenar o de retardar las avenidas por medio de una operación planificada como en el caso de los embalses, o por el relleno temporal de zonas inundables, como el hecho de hacer derivar agua en un canal de flujo natural (CIGB, 2015).

3.4.31 Volumen de la presa

Volumen total de la estructura de la presa desde el nivel de cimentación a la coronación de la presa y del estribo derecho al estribo izquierdo (CIGB, 2015).

3.4.32 Volumen de nivelación

Volumen de la franja por encima del volumen útil entre el nivel de embalse normal y el nivel máximo del agua (CIGB, 2015).

3.4.33 Volumen del embalse

Volumen de agua retenida y almacenada por la presa (CIGB, 2015).

3.4-34 Volumen inactivo

Volumen entre el órgano de desagüe más bajo y el nivel mínimo de explotación (CIGB, 2015).

3.4.35 Volumen muerto

Volumen de la capa de agua situada debajo de la toma de agua más baja y que, por tanto, no puede evacuarse del embalse excepto por bombeo (CIGB, 2015).

3.4.36 Volumen útil

Volumen del embalse que está disponible para usos como la producción de energía, el regadío, el control de las avenidas, el suministro de agua... Su nivel más bajo del embalse es el nivel mínimo de explotación. Su nivel más alto es el nivel de embalse normal (CIGB, 2015).

3.4.37 Zona inundable

Tierras próximas a un embalse o a un río que pueden ser cubiertas por el agua. Este término es igualmente utilizado para describir la zona aguas abajo que sería inundada o afectada por avenidas importantes, o en caso de rotura de la presa.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Este tipo de investigación se califica como investigación descriptiva porque se describirán las variables dependientes e independientes sin considerar alteración alguna sobre la potencial pérdida de agua por filtraciones que se producirían a través de la presa de tierra La Morrona y las fundaciones.

4.2 Diseño de investigación

4.2.1 Investigación de campo

El diseño de la investigación es de campo y constituye un plan estructurado de acción que en función de unos objetivos básicos está orientado a la obtención de datos relevantes a los problemas e indicadores planteados. El diseño de investigación de campo se explica según el criterio de Hernández y Otros (1996: 53), como:

“La estrategia metodológica que permite evaluar de manera adecuada las relaciones entre las variables, es decir, el diseño le indica al investigador que observaciones hacer, cómo hacerlas y cómo analizar los datos que representan tales observaciones.”

La presente investigación se considera de campo, ya que se realizará la recolección de datos en el lugar objeto de la investigación y porque se realizaron mediciones de la geometría y dimensiones de la represa La Morrona.

4.2.2 Investigación documental

Según Hernández, R., (2004), “es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.)”.

Es documental porque se realiza la recopilación de información bibliográfica, revisiones en la Web, revisión cartográfica y documentos ya existentes sobre la zona de estudio.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Balestrini, M. (2004:137) expresa que:

“Estadísticamente hablando, por población se entiende un conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos que representan características comunes. Una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

La población a ser considerada como objeto de estudio es todo el cuerpo térrico que conforma la presa y las fundaciones de la represa La Morróna en el sector La Culebra, municipio Angostura, estado Bolívar, Venezuela.

4.3.2 Muestra de la investigación

Según Balestrini, M. (2006), “La muestra es un subconjunto representativo de un universo o población”.

La muestra a utilizar será de carácter opinático, y se considerará no probabilística por cuanto estará conformada por una muestra de cada horizonte de suelo observada en una (1) perforación practicadas en el lugar de fundación de la presa La Morrona.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

Según Arias, F. (2006), las técnicas de recolección de datos son las distintas maneras de obtener información. Por otra parte, este autor plantea que las herramientas son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información.

Para este trabajo de grado se utilizaron las técnicas de recolección de datos mencionadas a continuación:

4.4.1.1 La revisión bibliográfica

La cual permitió abordar el estudio en función de los objetivos planteados. Primeramente, se buscó información sobre diferentes tipos de gestión y planificación de varios proyectos de investigación, la cual justifica ampliamente la realización de este trabajo de grado. Para maximizar los resultados de este procedimiento se

utilizaron a su vez técnicas operacionales como: subrayado, fichaje, notas de referencia bibliográfica, entre otras.

4.4.1.2 El fichaje

Esta técnica consiste en registrar los datos que se van obteniendo en la revisión bibliográfica, en fin, en las diferentes etapas y procesos que se van desarrollando. Esto nos permitió manejar la información de manera organizada y así maniobrar ideas de forma lógica.

La información obtenida de los diferentes medios, se fue archivando mediante el uso de Microsoft Word, cumpliendo el papel de las llamadas fichas, con los correspondientes datos bibliográficos para posteriormente al utilizar la información poderla citar de una manera correcta y con mayor facilidad.

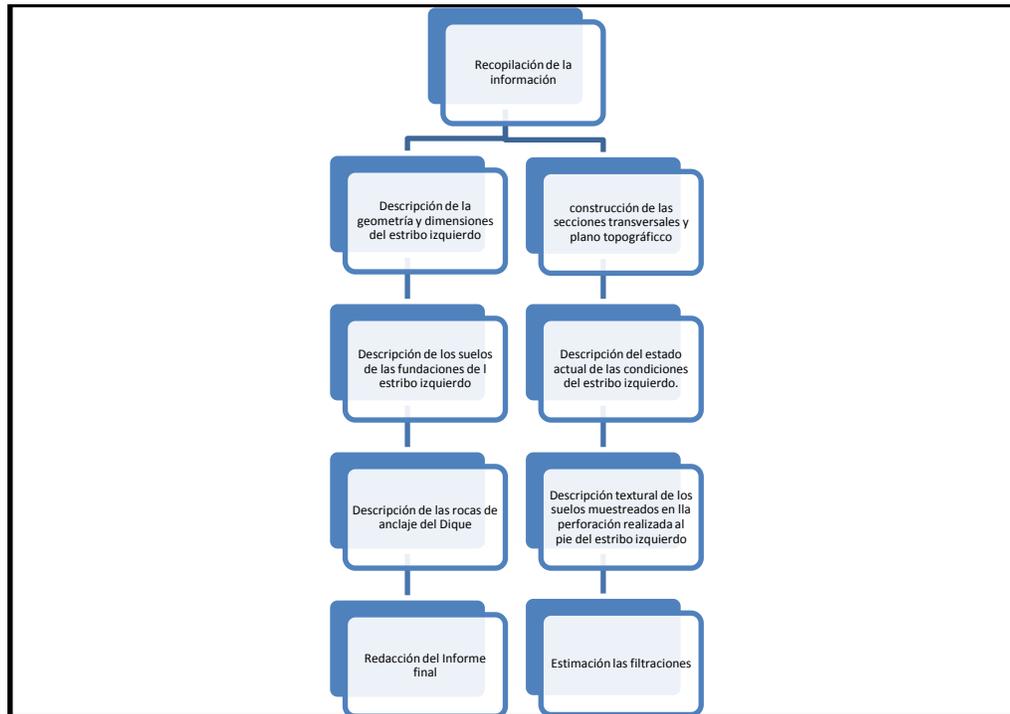
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

- a. Teodolito
- b. Mira topográfica
- c. Cinta Métrica
- d. Clinómetro
- e. Jalón
- f. Nivel de burbuja

- g. GPS
- h. Pala
- i. Bolsas para muestras
- j. Equipo de computación
- k. Calculadora
- l. Programas de ofimática, SEEP/W, Autocad, etc.

4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.

A fin de realizar la investigación con mayor eficiencia y cumplir con los objetivos propuestos para la estimación de las filtraciones que se producirían a través del dique y fundaciones de la represa La Morrona, se plantean las siguientes actividades:



4. 1 Flujograma de la investigación.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se mostrarán los productos o informaciones generadas a partir de los datos obtenidos y procesados según la metodología planteada en el capítulo anterior.

5.1 Geometría y dimensiones del embalse y dique de la represa La Morrona

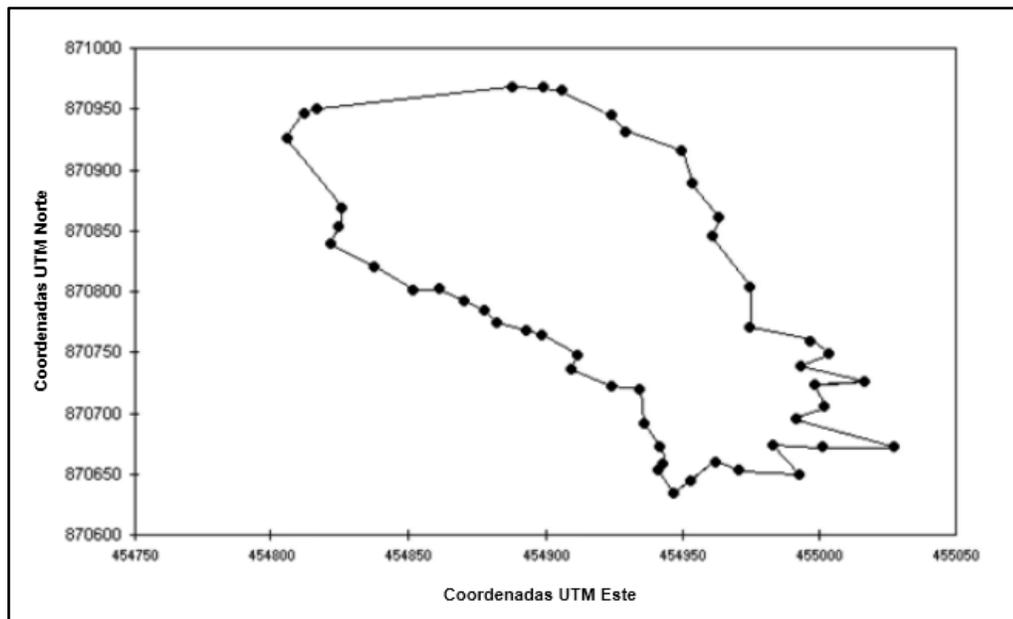
Es necesario acotar, una vez más, que la ubicación de la represa La Morrona en el sector La Culebra del municipio Angostura, a escasos 25 kilómetros al sureste de la población de Ciudad Bolívar, es uno (1) de los ocho (8) embalses de uso agropecuario y de piscicultura que se encuentran en el sector (Figura 5.1).



5. 1 Plano de ubicación del área de embalses en el sector La Culebra.

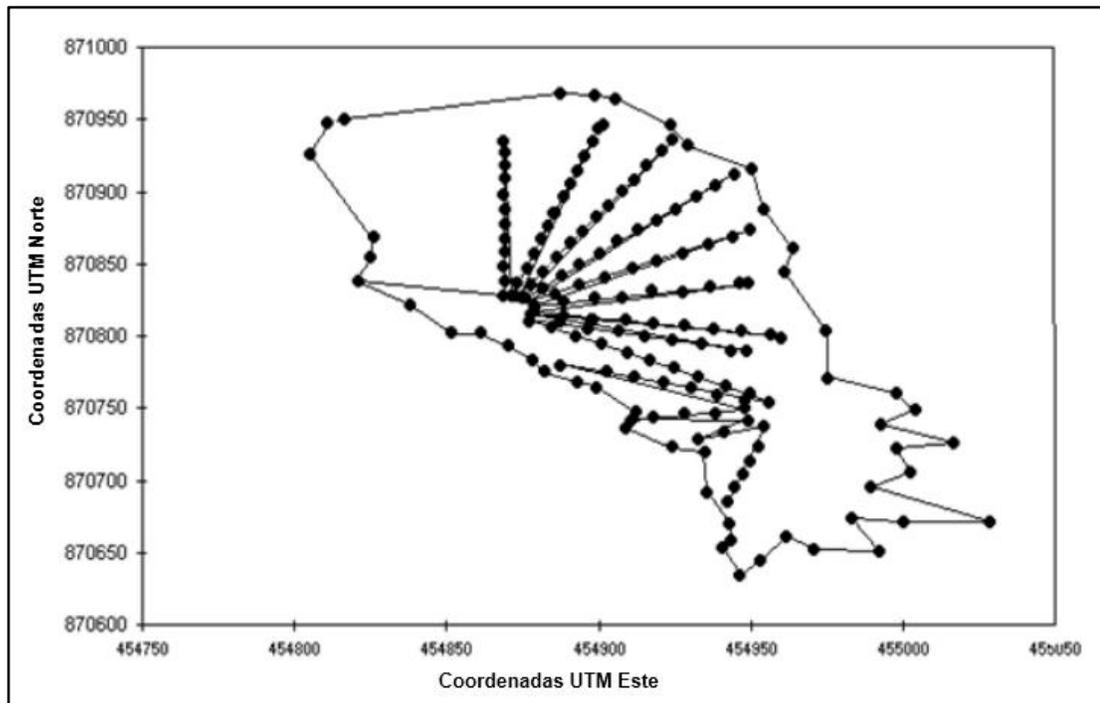
5.1.1 Características dimensionales y morfológicas del embalse

Con la finalidad de establecer el dimensionamiento del embalse y del dique de la represa La Morrona se efectuó un levantamiento topo-batimétrico por método taquimétrico cuyos datos se muestran en los apéndices A.1, B.1 y C.1. Este levantamiento plani-altimétrico permitió la construcción del plano con la delimitación del perímetro del embalse, el plano de radiales y ubicación de puntos batimétricos, el plano topográfico y el modelo 3D del terreno (Figuras 5.2, 5.3 y 5.4).



5. 2 Plano de delimitación del perímetro del embalse.

Seguidamente se presenta el trazado de las radiales con los puntos de ubicación de profundidades (Figura 5.2) lo cual permitió establecer la morfología del lecho del embalse mediante la ayuda del programa de aplicación Surfer (v.8) (Figura 5.3).

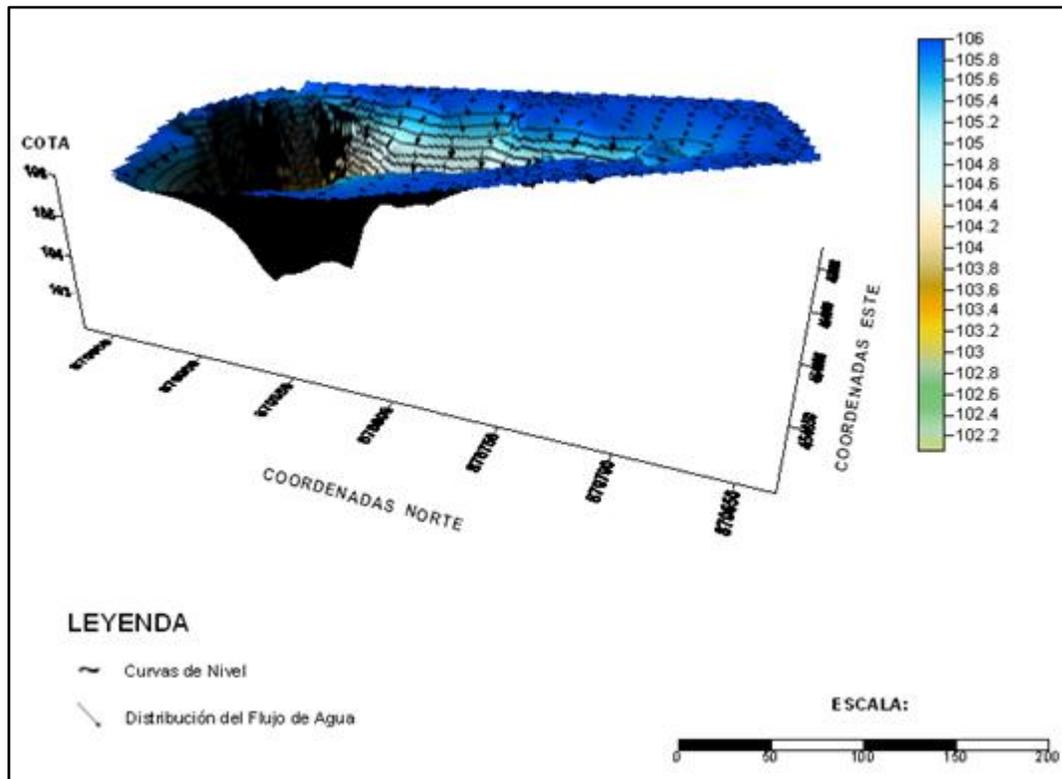


5. 3 Plano de trazado de radiales y puntos de ubicación de profundidades.

Tal como se acotó anteriormente, se introdujeron en el programa Surfer (v.8) las coordenadas UTM y las cotas respectivas de los 115 puntos. En el modelo 3D generado por el mencionado programa se muestran la imagen con matices de colores que representan las diferentes profundidades (Figura 5.4).

Cabe destacar que en el modelo 3D se observa que la zona con mayor profundidad se encuentra hacia la zona norte del embalse; sin embargo, tal zona se encuentra por debajo de la cota de fondo del dique o presa de tierra. Tal circunstancia obedece presumiblemente a que la zona en cuestión haya sido excavada durante el proceso de construcción del embalse con la finalidad de lograr un mayor almacenamiento de agua dentro del vaso. Sin embargo, tal circunstancia se presume

no permitiría el drenaje total del vaso de almacenamiento en caso de que se requiriese.

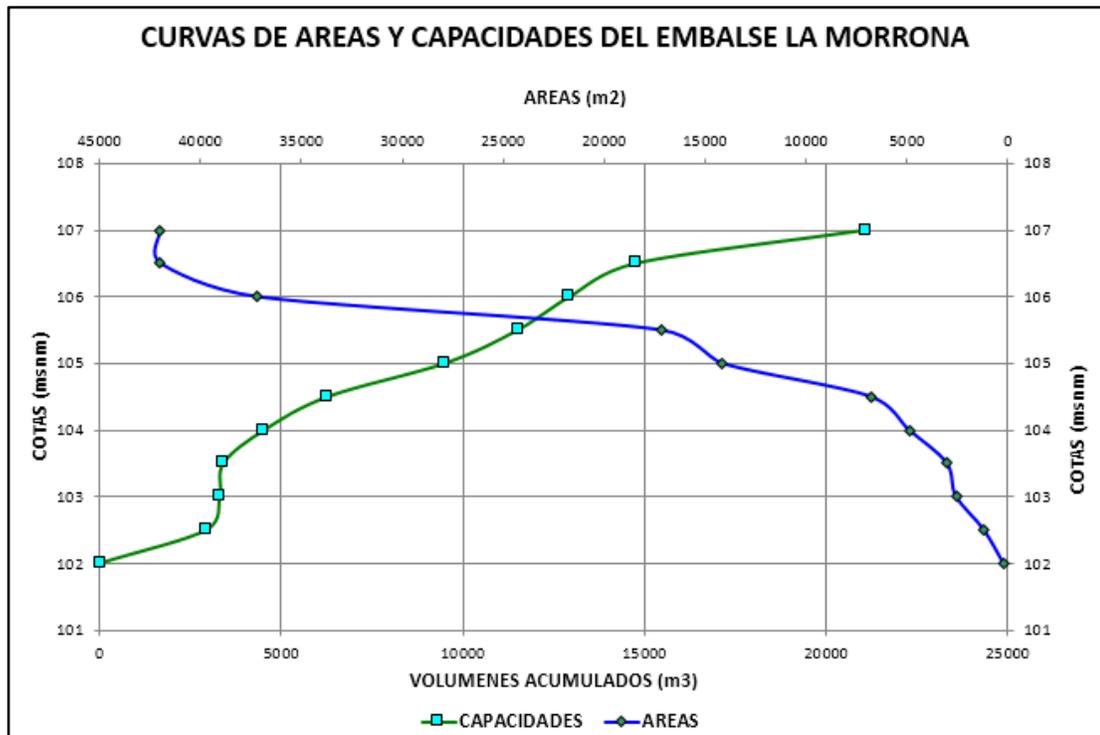


5. 4 Modelo 3D del embalse La Morrona

A tal efecto, se considera oportuno mostrar la curva de áreas y capacidades del embalse que no es otra cosa que la correlación entre la cota del embalse (msnm) en relación a los volúmenes de agua acumulados (Hm^3) y entre las cotas (msnm) del embalse y las áreas inundadas (ha).

Tabla 5.1 Valores para graficar las curvas de aéreas y capacidades.

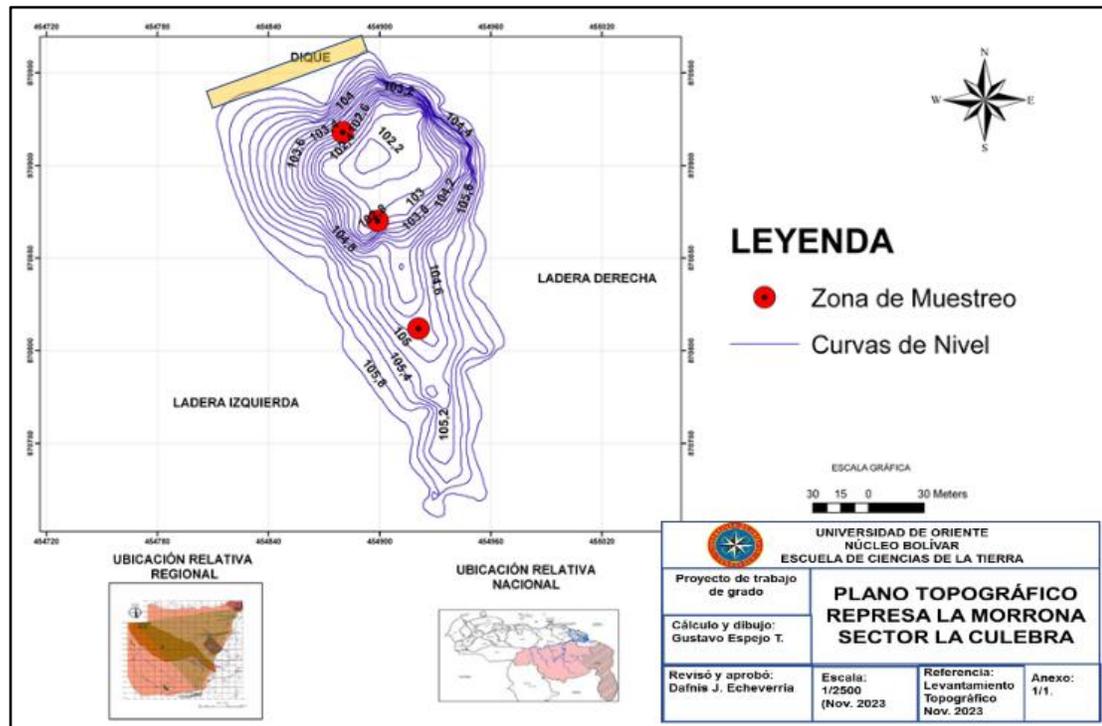
COTAS (m)	AREAS (m2)	Volumen parcial (m3)	Volumen. acumulado (m3)
102	210	41	41
102,5	1180	2903	2944
103	2550	350	3294
103,5	3010	107	3401
104	4890	1135	4536
104,5	6800	1759	6295
105	14150	3225	9520
105,5	17200	2000	11520
106	37220	1425	12945
106,5	42000	1830	14775
107	42050	6320	21095



5. 5 Curva de áreas y capacidades del embalse La Morrona.

Seguidamente, en la figura 5.6 se muestra el plano topográfico generado con la ayuda del programa AUTOCAD CIVIL 3D. En el mismo se observa hacia el norte del plano, el dique de tierra, también se observan las líneas color violeta las curvas de nivel, numeradas en msnm.

Asimismo, se presentan tres (3) puntos de color rojo los cuales indican la ubicación de los muestreos de suelos del lecho del embalse. También se efectuó otro muestreo con auger en la terraza del terraplén del dique mediante el cual se muestreo verticalmente la altura total del dique.



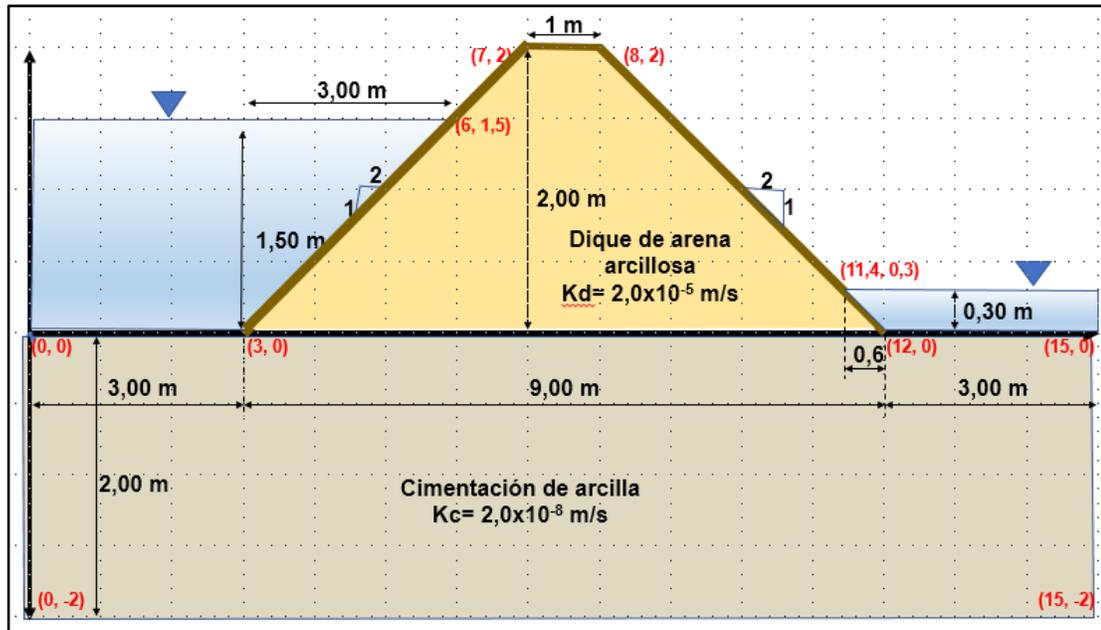
5. 6 Plano topográfico del embalse La Morróna.

5.1.2 Elementos dimensionales del dique de tierra

El dique posee las siguientes características dimensionales: a) altura total del dique de dos (2) m. b) ancho de la base de nueve (9) m. c) Pendiente de los taludes aguas arriba y aguas abajo de 2:1 (H:V). d) Ancho de la cresta del dique de un (1) m. e) Longitud del dique de tierra es de 70.00 metros.

También es necesario conocer que la altura del agua al pie del dique aguas arriba de la presa es de 1.50 metros y la altura del agua aguas abajo del dique es de 0.30 metros.

La representación esquemática de estas dimensiones y las coordenadas de los nodos sería como se muestra en la Figura 5.8 si se representa una sección transversal del dique en un sistema cartesiano.



5.7 transversal dimensional del dique de tierra.

5.2 Caracterización textural de los materiales del dique y de la fundación

A continuación, se identificarán las magnitudes de los parámetros texturales y geotécnicos de los suelos. En ese sentido, es necesario destacar que estas características fueron determinadas con base a las muestras recolectadas en dos (2) perforaciones realizadas verticalmente; la primera de ellas, en la cresta del dique hasta una profundidad de 2.50 metros medidos desde la cresta. La segunda perforación, fue realizada verticalmente con una profundidad de 2.00 al pie aguas abajo del dique de tierra. Ambos sondeos de muestreo fueron efectuados en el mes de diciembre de año 2005 por iniciativa del propietario de los embalses del sector.

En dichas perforaciones para muestreo se colectaron:

En el primer sondeo: dos (2) especímenes correspondientes a los horizontes identificados como:

- a. Horizonte 1: arena arcillosa de color beige de dos (2.00) metros de espesor
- b. Horizonte 2: arcilla de color ocre de 0.50 metros de espesor.

En el segundo sondeo, sólo fue identificado un estrato de arcilla color ocre de al menos dos (2.00) metros de espesor.

En ese orden de ideas, se concluyó durante los muestreos que todo el dique estaba constituido por material areno arcilloso compactado (horizonte 1) y que toda la fundación del dique, al menos hasta una profundidad de 2.00 metros, estaba constituida por arcilla (similar a la del horizonte 2 y a la de la segunda perforación).

Los resultados de los ensayos geotécnicos realizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Oriente en enero de 2006 presentaron en resumen las siguientes características:

- a. Arena arcillosa compactada:

$$K = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\text{Humedad} = 26\%$$

Granulometría= arena arcillosa mal gradado (SC)

- b. Arcilla:

$$K = 2.0 \times 10^{-8} \text{ m/s}$$

$$\text{Humedad} = 28\%$$

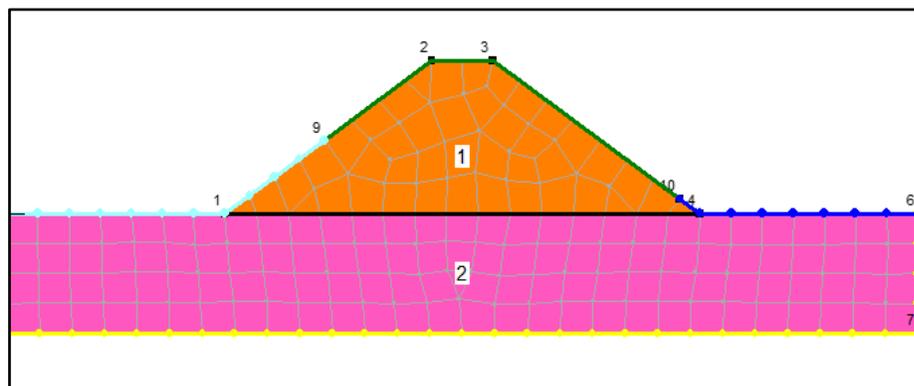
Granulometría= arcilla de baja plasticidad (CL)

5.4 Estimación de las filtraciones a través del dique y las fundaciones

5.4.1 Modelamiento de filtraciones con SEEP/W

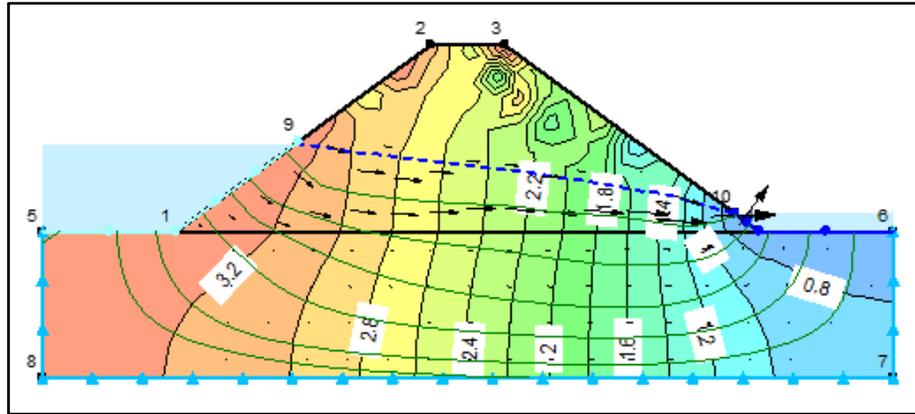
Se realiza un modelamiento de las posibles filtraciones mediante el uso del programa SEEP/W de GEOSTUDIO, partiendo de las características dimensionales del dique, de las características geotécnicas de los materiales y de la carga hidráulica impuesta aguas arriba y aguas abajo.

En primer lugar, el programa construye una malla de elementos finitos a través de la sección transversal de la presa y sus cimientos obteniéndose el siguiente resultado presentado en la figura 5.9.



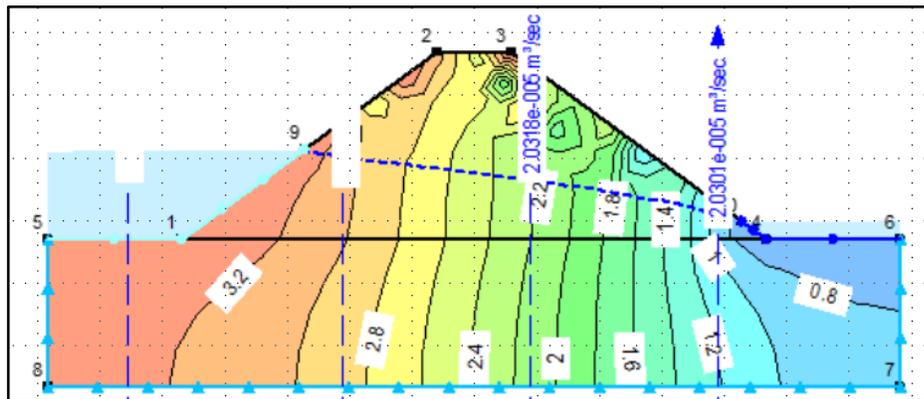
5. 8 Malla de elementos finitos en la sección transversal del dique.

En la figura 5.10 se muestran los canales de flujo y las curvas equipotenciales piezométricas que se interpolaron mediante el programa SEEP/W.



5. 9 Líneas de flujo, líneas equipotenciales y vectores de velocidad de las filtraciones a través del dique y la cimentación.

En la figura 5.11 se observa, en las dos (2) secciones de flujo que fueron definidas, los distintos caudales unitarios determinados. Nótese en la primera sección a la izquierda un caudal unitario de $2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ correspondiente al caudal unitario que fluye por el estrato de arena arcillosa compactada y la cimentación.



5. 10 Magnitud de las filtraciones a través del dique y cimentaciones.

5.4.2 Estimación analítica de las filtraciones por método unidimensional

A continuación, se intentará el modelaje simple por el método unidimensional para la estimación de las filtraciones a través del dique para lo cual se utilizará la ecuación de Darcy:

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

Donde:

Q= caudal de filtración (m³/s)

K=permeabilidad promedio ponderada para el dique

i= gradiente hidráulico = $\Delta h/L$

A= área de la sección transversal por donde pasará el flujo

El gradiente hidráulico (i) será la diferencia de las cargas hidráulicas aguas arriba menos la carga hidráulica aguas abajo y esa diferencia será dividida entre la base del dique susceptible a filtraciones. Así se tiene:

$$i = (1.5 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) / 9 \text{ m} = 0.13$$

El área (A) de la sección que atravesaría el flujo sería el ancho de la sección transversal multiplicada por la longitud del dique, Así se tiene:

$$A = (70.00 \text{ m} \times 1.50 \text{ m}) = 105 \text{ m}^2$$

Luego la filtración a través del dique sería:

$$Q = (2 \times 10^{-5} \text{ m/s}) \times (0.13) \times (105 \text{ m}^2) = 2.73 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 23.58 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q=23580 \text{ l/día}$$

El caudal unitario considerando flujo solo a través del dique:

$$q= 3.9 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Para la estimación de la permeabilidad de un conjunto de suelo estratificado (dique + cimentación) se tiene:

Se debe estimar la permeabilidad horizontal (K_h) y la permeabilidad vertical (K_v) del conjunto estratificado dique – fundación. Para ello, se tiene:

Estimación de la permeabilidad horizontal (K_h):

$$K_h = ((K_{\text{dique}} \times \text{espesor}_{\text{dique}}) + (K_{\text{fund}} \times \text{espesor}_{\text{fund}})) / (\text{espesor}_{\text{dique}} + \text{espesor}_{\text{fund}})$$

$$K_h = ((2 \times 10^{-5} \text{ m/s} \times 1.50 \text{ m}) + (2 \times 10^{-8} \text{ m/s} \times 2.00 \text{ m})) / (1.50 \text{ m} + 2.00 \text{ m})$$

$$K_h = 8.58 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Estimación de la permeabilidad vertical (K_v):

$$K_v = (\text{espesor}_{\text{dique}} + \text{espesor}_{\text{fund}}) / ((\text{espesor}_{\text{dique}} / K_{\text{dique}}) + (\text{espesor}_{\text{fund}} / K_{\text{fund}}))$$

$$K_v = (1.5 \text{ m} + 2.0 \text{ m}) / ((1.5 \text{ m} / 2 \times 10^{-5} \text{ m/s}) + (2.0 \text{ m} / 2 \times 10^{-8} \text{ m/s}))$$

$$K_v = 3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$$

Estimación de la permeabilidad media (Km) será:

$$K_m = (K_h + K_v) / 2$$

$$K_m = (8.58 \times 10^{-6} \text{ m/s} + 3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}) / 2$$

$$K_m = 4.3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Luego el caudal de filtraciones por el conjunto dique + fundaciones sería:

$$Q = K_m \cdot i \cdot A$$

$$Q = (4.3 \times 10^{-6} \text{ m/s}) \times (0.13) \times (70 \text{ m} \times 3.5)$$

$$Q = 1.37 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 11.85 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 11850 \text{ l/día}$$

$$\text{El caudal unitario (q)} = 1.95 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

5.4.3 Estimación analítica de las filtraciones por método bidimensional

Asumiendo, que se ha podido trazar a mano las líneas de flujo y las líneas equipotenciales planteadas en la figura 5.10, se podría aplicar el método analítico bidimensional:

$$q = k_m \times \Delta h \times (N_f/N_p)$$

Donde:

q = caudal de filtraciones por unidad de ancho (m^3/s)

K_m = permeabilidad promedio del suelo que atravesará la filtración

Δh = pérdida total de altura piezométrica

N_f = número de tubos de flujo resultantes

N_p = número de espacios de igual caída de carga hidráulica resultante

Sustituyendo se tendrá:

$$q = (4.3 \times 10^{-6} \text{ m/s}) \times (1.5 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) \times (6/13)$$

$$q = 2.38 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La represa La Morrona es de naturaleza homogénea y está clasificado por el USBR como un pequeño dique térreo de 70 metros de largo, nueve (9) metros de ancho y dos (2) metros de altura el cual permite realizar el cierre del vaso de almacenamiento ocupando un área total de 4.2 ha y almacenando un poco más de 21.000.000 litros de agua.

Los suelos que constituyen el dique de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos como arenas arcillosas compactadas (SC) de color beige que presentaron al momento de los sondeos exploratorios una humedad de 26% y una permeabilidad baja. Asimismo, la cimentación hasta los dos (2) metros de profundidad está constituida por una arcilla de baja plasticidad (CL) color amarillo ocre que presentó para el momento del sondeo una humedad del 28% y una muy baja permeabilidad.

La estimación de las filtraciones mediante el modelamiento computarizado con el programa SEEP/W arrojó que las filtraciones unitarias a través del dique y sus cimentaciones alcanzarían una magnitud de $2.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ lo cual implicaría una pérdida diaria de agua por filtraciones a través de los setenta (70) metros longitudinales del dique y sus fundaciones de 122774 litros.

Se realizó una cuantificación de las pérdidas por filtraciones utilizando los métodos analíticos unidimensional (ecuación de Darcy) y bidimensional mediante mallas de flujo (ecuación de Laplace) y se obtuvieron magnitudes de pérdidas en el orden de

caudales unitarios de $1.95 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ y $2.38 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente lo cual indica al

comparar las tres (3) determinaciones que son estimaciones con un adecuado orden de magnitud.

Recomendaciones

1. Analizar las filtraciones que se podrían producir utilizando otras aplicaciones computarizadas como el GEO 5

2. Se recomienda ejecutar pruebas Lugeon para la determinación de posibles problemas de tubificación a través del dique y las cimentaciones.

3. Cuantificar el caudal de aporte del morichal que abastece al embalse La Morrona con la finalidad de determinar si las pérdidas actuales por filtraciones ponen en riesgo el uso primario del embalse (uso agropecuario).

REFERENCIAS

Aguirre-Pe, J. (1980). **HIDRÁULICA DE SEDIMENTOS**. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. (p 269).

Aparicio, Francisco. (2001) **FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Editorial LIMUSA, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores, Décima reimpresión, Balderas 95, Distrito Federal, México. (pp 19-45).

Arias, Fidias (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GUÍA PARA SU ELABORACIÓN**. Caracas: Episteme, C.A.(p 66)

Arias, Fidias. (2012) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. Editorial Episteme, Caracas, Venezuela. (p 146).

Barredo, Silvia (1999) **ROCAS SEDIMENTARIAS**, Universidad de buenos aires, Departamento de Ciencias Geológicas - facultad de ciencias exactas y naturales
Recuperado de: 22 de febrero de 2016,
[<http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyestrucsedim/TProcyestrucsediment.PDF>]

Bonnefille, R. (1963). **ESSAIS DE SYNTHÈSE DES LOIS DE DÉBUT D'ENTRAÎNEMENT DES SEDIMENTS SOUS L'ACTION D'UN COURANT EN RÉGIME UNIFORME BULL.** Du CREC, No 5, Chatou. (p 15).

Clauso, Adelina. (1993) **ANÁLISIS DOCUMENTAL: EL ANÁLISIS FORMAL**, Revista general de información y documentación. Vol. 3, Editorial Complutense, Madrid. 03 de mayo de 2016, [<https://revistas.ucm.es/index.php/RGID/article/viewFile/RGID9393120011A/11739>]

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC20 – 15, CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SUELOS Y VEGETACION TOMO I, II, III**. Ciudad Bolívar, Venezuela. (pp. 185-203, 441-444, 453 – 461).

C.V.G Técnica Minera (1986). **INFORME DE AVANCE NC-20-14 Y NB-20-2 CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, VEGETACIÓN. GERENCIA DE PROYECTOS ESPECIALES PROYECTO INVENTARIO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN GUAYANA**. Tomo I Y II. Ciudad Bolívar; (pp 9-489 Y 515-756).

Chow., V. T. Maidmen, David., y Mays, Larry. (1994) **HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia. (pp 180-190).

Cueche, S. y Pino, C. (2009), **INCIDENTES EN LAS PRESAS DE VENEZUELA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. Pp. 6 – 10.

Díaz, M. y Rivas, M. (2009), **PREDIMENSIONADO Y CÁLCULO DE ESTABILIDAD EN REPRESAS DE TIERRA**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. Pp. 8 y 9.

González de Juana, Carlos., Iturralde, Juan y Picard, Xavier (1.980), **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**, tomo I y II, ed. facsimilar 1.993, Caracas: Ed. Foninves.(pp 99-111).

Iriondo, Martín. (2006) **INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA**, Tercera edición, editorial Brujas, Argentina. (pp 15-129).

Lahee, Frederic. (1970) **GEOLOGÍA PRÁCTICA**, Tercera edición, Ediciones Omega. Barcelona, España. pp 143, 324-326.

Leliavsky, Serge. (1964) **INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA FLUVIAL**. Editorial Ediciones Omega, S.A. Casanova, Barcelona. (pp 2-5).

Landeau, Rebeca. (2007) **ELABORACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Alfa, Caracas, Venezuela. (pp 53-55).

Moreno, Guadalupe. (2000) **INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA II**. Editorial Progreso, S.A. de C.V. D.F., México, (pp 60-64).

Ordoñez, Juan. (2011). **CARTILLA TÉCNICA: ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?**. Foro peruano para el agua, Sociedad Geográfica de Lima. Lima, Perú, octubre de 2011, [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf]

Ortiz, Frida (2004). **DICCIONARIO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Editorial Limusa, S.A. México. (pp 93-127).

Palacios, Álvaro. (2011) **ACUEDUCTO, CLOACAS Y DRENAJES**. Universidad Católica Andrés Bello, Facultad De Ingeniería, Escuela De Ingeniería Civil, Segunda edición Caracas, Venezuela. (pp 184-190).

Pérez, H. y Sanchez, V. (2018). **DIAGNÓSTICO OPERATIVO Y ESTRUCTURAL DEL VASO DE ALMACENAMIENTO Y DIQUE DE CONCRETO DE LA REPRESA WARÁ I EN EL RÍO WARÁ, MUNICIPIO GRAN SABANA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar.

Sabino, Carlos (2007). **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPO DE ESCRITOS**.Caracas. (pp 14-21)

Sandoval, W. (2018). **PRESAS DE TIERRA Y DE ENROCAMIENTO**. Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE. Consultado el 25/04/2019. <https://www.researchgate.net/publication/326560958>

Schumm, Arthur (1960). **THE SHAPE OF ALLUVIAL CHANNELS IN RELATION TO SEDIMENT TYPE, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER**. (pp 352B: 17-30).

Suarez D., Jaime. (2001). **CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES**. Bucaramanga. (pp 227 -258).

Tarback, Edward y Lutgens, Frederick. (2005). **CIENCIAS DE LA TIERRA. UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA**. Edición Pearson-Prentice Hall, 8ª ed. Madrid.(p 64).

Yalin, M. S. (1972) **MECHANICS OF SEDIMENT TRANSPORT**. Pergamon Press. Denver. (pp 55-57).

APÉNDICES

APÉNDICE A

Datos del perímetro del embalse

A.1 Coordenadas UTM de los puntos tomadas con el GPS.

PUNTO	ESTE	NORTE
1	454821	870838
2	454838	870821
3	454852	870801
4	454861	870801
5	454871	870792
6	454878	870784
7	454882	870774
8	454893	870768
9	454899	870764
10	454912	870748
11	454909	870736
12	454924	870722
13	454935	870720
14	454936	870692
15	454943	870670
16	454944	870659
17	454941	870653
18	454947	870634
19	454953	870644
20	454962	870661
21	454971	870652
22	454993	870650
23	454993	870650
24	454983	870674
25	455000	870671
26	455029	870671
27	454990	870695
28	455003	870705
29	454998	870722
30	455017	870726
31	454993	870739
32	455004	870748
33	454998	870760
34	454975	870771
35	454975	870803
36	454961	870844
37	454964	870860
38	454954	870887

Continuación A.1

PUNTO	ESTE	NORTE
39	454950	870916
40	454930	870931
41	454924	870945
42	454906	870964
43	454899	870967
44	454887	870968
45	454817	870950
46	454811	870946
47	454805	870926
48	454826	870867
49	454825	870853
50	454821	870838

APÉNDICE B

Datos del Levantamiento topográfico

B.1 Puntos tomados en el levantamiento topográfico con las coordenadas UTM y las cotas de cada uno.

Est	Pto Vist	Alt ins hi	Ang Horiz			Ang Vert			Dep	Ls	Lm	Li	S	K . S	D	h	hi - Lm	Δh	COTA	PROYECCIONES		COORDENADAS	
			°	'	"	°	'	"												Norte	Este	Norte	Este
A		1,56																	106,00			870818,00	454869,00
	P1		338	57	0	2	57	0	1	1,670	1,560	1,450	0,220	22,000	22,000	1,131	0,000	1,131	107,13	20,53	-7,90	870838,53	454861,10
	P2		310	48	0	-1	42	0	1	1,780	1,560	1,340	0,440	44,000	44,000	-0,230	0,000	-0,230	105,77	28,75	-33,31	870846,75	454835,69
	P3		247	0	0	-3	5	0	1	1,810	1,560	1,320	0,490	49,000	49,000	-2,490	0,000	-2,490	103,51	-19,15	-45,10	870798,85	454823,90
	P4		247	2	0	-2	15	0	1	1,650	1,560	1,470	0,180	18,000	18,000	-0,549	0,000	-0,549	105,45	-7,02	-16,57	870810,98	454852,43
	P5		203	15	0	-2	10	0	1	1,950	1,560	1,180	0,770	77,000	77,000	-2,462	0,000	-2,462	103,54	-70,75	-30,40	870747,25	454838,60
	P6		203	10	0	-2	5	0	1	1,690	1,560	1,430	0,260	26,000	26,000	-0,869	0,000	-0,869	105,13	-23,90	-10,23	870794,10	454858,77
	P7		166	7	0	0	39	0	1	1,720	1,560	1,390	0,330	33,000	33,000	0,374	0,000	0,374	106,37	-32,04	7,92	870785,96	454876,92
	P8		168	14	0	0	40	0	1	1,940	1,560	1,180	0,760	76,000	76,000	0,884	0,000	0,884	106,88	-74,40	15,50	870743,60	454884,50
	P9		151	55	0	1	55	0	1	1,960	1,560	1,160	0,800	80,000	80,000	2,674	0,000	2,674	108,67	-70,58	37,66	870747,42	454906,66
	P10		337	20	0	-2	15	0	1	1,810	1,560	1,310	0,500	50,000	50,000	-1,526	0,000	-1,526	104,47	46,14	-19,27	870864,14	454849,73
	P11		350	5	0	0	55	0	1	2,050	1,560	0,970	1,080	108,000	108,000	1,728	0,000	1,728	107,73	106,39	-18,60	870924,39	454850,40
	P12		355	35	0	0	48	0	1	2,210	1,560	0,960	1,250	125,000	125,000	1,745	0,000	1,745	107,75	124,63	-9,62	870942,63	454859,38
	P13		8	22	0	0	42	0	1	2,250	1,560	0,830	1,420	142,000	142,000	1,735	0,000	1,735	107,73	140,49	20,66	870958,49	454889,66
	P14		22	40	0	0	40	0	1	2,280	1,560	0,830	1,450	145,000	145,000	1,687	0,000	1,687	107,69	133,80	55,88	870951,80	454924,88
	P15		35	10	0	0	35	0	1	2,360	1,560	0,810	1,550	155,000	155,000	1,578	0,000	1,578	107,58	126,71	89,27	870944,71	454958,27
	P16		46	42	0	0	35	0	1	2,260	1,560	0,860	1,400	140,000	140,000	1,425	0,000	1,425	107,43	96,01	101,89	870914,01	454970,89
	P17		57	55	0	0	35	0	1	2,250	1,560	0,920	1,330	133,000	133,000	1,354	0,000	1,354	107,35	70,64	112,69	870888,64	454981,69
	P18		67	0	0	0	20	0	1	2,270	1,560	0,850	1,420	142,000	142,000	0,826	0,000	0,826	106,83	55,48	130,71	870873,48	454999,71
	P19		65	25	0	1	53	0	1	2,030	1,560	1,100	0,930	93,000	93,000	3,055	0,000	3,055	109,05	38,69	84,57	870856,69	454953,57
	P20		84	5	0	0	20	0	1	2,250	1,560	0,900	1,350	135,000	135,000	0,785	0,000	0,785	106,79	13,92	134,28	870831,92	455003,28
	P21		101	55	0	0	20	0	1	2,200	1,560	0,950	1,250	125,000	125,000	0,727	0,000	0,727	106,73	-25,81	122,31	870792,19	454991,31
	P22		111	55	0	0	30	0	1	2,250	1,560	0,760	1,490	149,000	149,000	1,300	0,000	1,300	107,30	-55,62	138,23	870762,38	455007,23
	P23		112	35	0	0	5	0	1	2,150	1,560	0,970	1,180	118,000	118,000	0,172	0,000	0,172	106,17	-45,32	108,95	870772,68	454977,95
	P24		125	30	0	0	0	0	1	2,260	1,560	0,960	1,300	130,000	130,000	0,000	0,000	0,000	106,00	-75,49	105,83	870742,51	454974,83
	P25		122	45	0	0	20	0	1	2,310	1,560	0,800	1,510	151,000	151,000	0,878	0,000	0,878	106,88	-81,69	127,00	870736,31	454996,00

P26	131	55	0	0	10	0	1	2,300	1,560	0,830	1,470	147,000	147,000	0,428	0,000	0,428	106,43	-98,20	109,38	870719,80	454978,38
-----	-----	----	---	---	----	---	---	-------	-------	-------	-------	---------	---------	-------	-------	-------	---------------	--------	--------	------------------	------------------

Continuación B.1

Est	Pto	Alt ins hi	Ang Horiz			Ang Vert			Dep	Ls	Lm	Li	S	K . S	D	h	hi - Lm	Δh	COTA	PROYECCIONES		COORDENADAS	
			°	'	"	°	'	"												Norte	Este	Norte	Este
	B		125	35	0	0	25	0	1	2,400	1,560	0,630	1,770	177,000	177,000	1,287	0,000	1,287	107,29	-102,99	143,95	870715,01	455012,95
	II		309	55	0	-1	0	0	1	1,800	1,560	1,320	0,480	48,000	48,000	-0,838	0,000	-0,838	105,16	30,80	-36,81	870848,80	454832,19
B		1,56																	107,29			870715,01	455012,95
	P28		230	10	0	1	50	0	1	1,750	1,560	1,390	0,360	36,000	36,000	1,151	0,000	1,151	108,44	-23,06	-27,64	870887,65	454711,79
	P29		232	55	0	1	54	0	1	1,740	1,560	1,370	0,370	37,000	37,000	1,226	0,000	1,226	108,52	-22,31	-29,52	870888,40	454709,91
	P30		233	55	0	1	54	0	1	1,740	1,560	1,370	0,370	37,000	37,000	1,226	0,000	1,226	108,52	-21,79	-29,90	870888,92	454709,53
	P31		269	5	0	0	55	0	1	1,870	1,560	1,250	0,620	62,000	62,000	0,992	0,000	0,992	108,28	-0,99	-61,99	870909,72	454677,44
	P32		198	15	0	-1	15	0	1	1,820	1,560	1,350	0,470	47,000	47,000	-0,615	0,000	-0,615	106,67	-44,64	-14,72	870866,07	454724,71
	P33		208	50	0	0	50	0	1	1,820	1,560	1,300	0,520	52,000	52,000	0,756	0,000	0,756	108,05	-45,55	-25,08	870865,16	454714,35
	P34		222	55	0	0	30	0	1	2,050	1,560	1,660	0,390	39,000	39,000	0,340	0,000	0,340	107,63	-28,56	-26,56	870882,15	454712,87
	P35		235	5	0	0	25	0	1	2,140	1,560	1,000	1,140	114,000	114,000	0,829	0,000	0,829	108,12	-65,25	-93,48	870845,46	454645,95
	P36		249	33	0	0	15	0	1	2,140	1,560	0,980	1,160	116,000	116,000	0,506	0,000	0,506	107,80	-40,53	-108,69	870870,18	454630,74
	P37		264	40	0	0	15	0	1	2,080	1,560	1,040	1,040	104,000	104,000	0,454	0,000	0,454	107,74	-9,67	-103,55	870901,04	454635,88
	P38		277	20	0	0	35	0	1	2,000	1,560	1,100	0,900	90,000	90,000	0,916	0,000	0,916	108,21	11,49	-89,26	870922,20	454650,17
	P39		293	50	0	-1	5	0	1	2,050	1,560	1,050	1,000	100,000	100,000	-1,600	0,000	-1,600	105,69	40,41	-91,47	870951,12	454647,96
II		1,525																	105,16			870848,80	454832,19
	A		0	0	0	0	40	0	1	1,480	1,240	1,000	0,480	48,000	48,000	0,558	0,285	0,843	106,00	48,00	0,00	870818,00	454869,00
	C		232	55	0	-2	55	0	1	2,270	1,630	1,000	1,270	127,000	127,000	-2,401	-0,105	-2,506	102,65	-76,58	-101,32	870772,22	454730,87
C		1,55																	102,65			870772,22	454730,87
	II		0	0	0	2	38	0	1	1,480	1,240	1,000	0,480	48,000	48,000	2,203	0,310	2,513	105,16	48,00	0,00	870848,80	454832,19
	C1		328	0	0	0	30	0	1	1,400	1,200	1,000	0,400	40,000	40,000	0,349	0,350	0,699	103,35	33,92	-21,20	870806,14	454709,67
	C2		315	10	0	1	30	0	1	1,360	1,180	1,000	0,360	36,000	36,000	0,942	0,370	1,312	103,96	25,53	-25,38	870797,75	454705,49
	C3		288	55	0	1	0	0	1	1,560	1,280	1,000	0,560	56,000	56,000	0,977	0,270	1,247	103,90	18,16	-52,98	870790,38	454677,89
	C4		285	20	0	2	0	0	1	1,580	1,290	1,000	0,580	58,000	58,000	2,023	0,260	2,283	104,93	15,34	-55,94	870787,56	454674,93

C5	278	40	0	1	50	0	1	1,560	1,280	1,000	0,560	56,000	56,000	1,791	0,270	2,061	104,71	8,44	-55,36	870780,66	454675,51
----	-----	----	---	---	----	---	---	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	---------------	------	--------	------------------	------------------

Continuación B.1

Est	Pto	Alt ins Vist hi	Ang Horiz			Ang Vert			Dep	Ls	Lm	Li	S	K . S	D	h	hi - Lm	Δh	COTA	PROYECCIONES		COORDENADAS	
			°	'	"	°	'	"												Norte	Este	Norte	Este
	C6		290	30	0	2	20	0	1	1,240	1,120	1,000	0,240	24,000	24,000	0,976	0,430	1,406	104,06	8,41	-22,48	870780,63	454708,39
	C7		299	15	0	2	40	0	1	1,330	1,170	1,000	0,330	33,000	33,000	1,534	0,380	1,914	104,56	16,12	-28,79	870788,34	454702,08
	C8		279	5	0	0	0	0	1	1,230	1,115	1,000	0,230	23,000	23,000	0,000	0,435	0,435	103,09	3,63	-22,71	870775,85	454708,16
	C9		305	55	0	0	10	0	1	1,160	1,080	1,000	0,160	16,000	16,000	0,047	0,470	0,517	103,17	9,39	-12,96	870781,61	454717,91
	I2		278	55	0	0	40	0	1	1,840	1,480	1,000	0,840	84,000	84,000	0,977	0,070	1,047	103,70	13,02	-82,98	870785,24	454647,89
I2		1,56																	103,70			870785,24	454647,89
	C		0	0	0	-1	14	0	1	1,840	1,480	1,000	0,840	84,000	84,000	-1,124	0,080	-1,044	102,66	84,00	0,00	870772,22	454730,87
	D		169	50	0	-1	10	0	1	1,640	1,320	1,000	0,640	64,000	64,000	-0,931	0,240	-0,691	103,01	-63,00	11,30	870722,24	454659,19
D		1,54																	103,01			870772,24	454659,19
	I2		0	0	0	0	25	0	1	1,640	1,320	1,000	0,640	64,000	64,000	0,465	0,220	0,685	103,70	64,00	0,00	870785,24	454647,89
	D1		352	50	0	2	35	0	1	1,530	1,260	1,000	0,530	53,000	53,000	2,386	0,280	2,666	105,68	52,59	-6,61	870824,83	454652,58
	D2		355	20	0	2	10	0	1	1,520	1,260	1,000	0,520	52,000	52,000	1,965	0,280	2,245	105,25	51,83	-4,23	870824,07	454654,96
	D3		359	25	0	1	35	0	1	1,500	1,250	1,000	0,500	50,000	50,000	1,381	0,290	1,671	104,68	50,00	-0,51	870822,24	454658,68
	D4		3	45	0	0	30	0	1	1,500	1,250	1,000	0,500	50,000	50,000	0,436	0,290	0,726	103,74	49,89	3,27	870822,13	454662,46
	D5		323	20	0	4	50	0	1	1,300	1,150	1,000	0,300	30,000	29,999	2,519	0,390	2,909	105,92	24,06	-17,91	870796,30	454641,28
	D6		324	50	0	2	40	0	1	1,270	1,130	1,000	0,270	27,000	27,000	1,255	0,410	1,665	104,67	22,07	-15,55	870794,31	454643,64
	D7		325	20	0	1	40	0	1	1,240	1,120	1,000	0,240	24,000	24,000	0,698	0,420	1,118	104,13	19,74	-13,65	870791,98	454645,54
	D8		324	25	0	1	25	0	1	1,200	1,100	1,000	0,200	20,000	20,000	0,494	0,440	0,934	103,94	16,27	-11,64	870788,51	454647,55
	D9		288	5	0	3	55	0	1	1,360	1,180	1,000	0,360	36,000	36,000	2,453	0,360	2,813	105,82	11,17	-34,22	870783,41	454624,97
	D10		287	15	0	1	55	0	1	1,340	1,170	1,000	0,340	34,000	34,000	1,137	0,370	1,507	104,52	10,08	-32,47	870782,32	454626,72
	D11		286	10	0	1	5	0	1	1,300	1,150	1,000	0,300	30,000	30,000	0,567	0,390	0,957	103,97	8,35	-28,81	870780,59	454630,38
	D12		284	15	0	1	10	0	1	1,260	1,130	1,000	0,260	26,000	26,000	0,529	0,410	0,939	103,95	6,40	-25,20	870778,64	454633,99
	D13		261	30	0	2	20	0	1	1,780	1,390	1,000	0,780	78,000	78,000	3,173	0,150	3,323	106,33	-11,53	-77,14	870760,71	454582,05

APÉNDICE C

Datos del levantamiento batimétrico

C.1 Radiales realizadas en el levantamiento batimétrico del embalse

Radial	Punto	Coordenadas		Distancia m	Prof m	Cota m.s.n.m.
		Norte	Este			
1	1	870828	454869	10	0,15	105,85
	2	870838	454869	20	0,3	105,7
	3	870848	454869	30	0,34	105,66
	4	870858	454869	40	0,6	105,4
	5	870868	454869	50	1,4	104,6
	6	870878	454869	60	1,8	104,2
	7	870888	454869	70	2,9	103,1
	8	870898	454869	80	3,64	102,36
	9	870908	454869	90	3,1	102,9
	10	870918	454869	100	2	104
	11	870928	454869	110	1	105
	12	870933	454869	115	0	106
2	1	870828	454871	10	0,23	105,77
	2	870837	454874	20	0,43	105,57
	3	870847	454876	30	0,6	105,4
	4	870857	454879	40	1,5	104,5
	5	870867	454881	50	2,75	103,25
	6	870876	454883	60	2,89	103,11
	7	870886	454886	70	3,53	102,47
	8	870896	454888	80	3,81	102,19
	9	870905	454891	90	4	102
	10	870915	454893	100	3,8	102,2
	11	870925	454895	110	3,6	102,4
	12	870934	454898	120	3,5	102,5
	13	870944	454900	130	2,2	103,8
	14	870947	454901	133	0	106
3	1	870827	454873	10	0,25	105,75
	2	870836	454878	20	0,53	105,47
	3	870845	454882	30	1	105
	4	870854	454886	40	1,8	104,2
	5	870863	454891	50	3,55	102,45
	6	870873	454895	60	3,5	102,5
	7	870882	454899	70	3,5	102,5
	8	870891	454903	80	3,54	102,46
	9	870900	454908	90	3,75	102,25
	10	870909	454912	100	3,75	102,25
	11	870918	454916	110	3,8	102,2
	12	870927	454921	120	3,75	102,25
	13	870936	454925	130	3,55	102,45
4	1	870826	454875	10	0,34	105,66
	2	870834	454882	20	0,7	105,3
	3	870841	454888	30	1,01	104,99
	4	870849	454894	40	1,5	104,5

Continuación C.1

Radial	Punto	Coordenadas		Distancia m	Prof m	Cota m.s.n.m.
		Norte	Este			
4	5	870857	454901	50	1,6	104,4
	6	870865	454907	60	2,7	103,3
	7	870872	454913	70	3,2	102,8
	8	870880	454919	80	3,3	102,7
	9	870888	454926	90	3,4	102,6
	10	870896	454932	100	3,5	102,5
	11	870903	454938	110	3	103
	12	870911	454945	120	1,8	104,2
5	1	870824	454877	10	0,4	105,6
	2	870829	454886	20	0,8	105,2
	3	870835	454894	30	1,1	104,9
	4	870840	454902	40	1,6	104,4
	5	870846	454911	50	2,1	103,9
	6	870851	454919	60	1,52	104,48
	7	870857	454928	70	0,8	105,2
	8	870862	454936	80	1	105
	9	870868	454944	90	0,5	105,5
	10	870872	454950	98	0	106
6	1	870820	454879	10	0,4	105,6
	2	870822	454889	20	0,8	105,2
	3	870825	454898	30	1,3	104,7
	4	870827	454908	40	1,8	104,2
	5	870829	454918	50	1,9	104,1
	6	870831	454928	60	1,2	104,8
	7	870834	454937	70	0,7	105,3
	8	870836	454947	80	0,2	105,8
	9	870836	454949	82	0	106
7	1	870816	454879	10	0,35	105,65
	2	870814	454889	20	0,55	105,45
	3	870812	454898	30	0,9	105,1
	4	870810	454909	40	1,3	104,7
	5	870808	454918	50	1,4	104,6
	6	870806	454928	60	1,5	104,5
	7	870804	454938	70	1,1	104,9
	8	870802	454947	80	0,6	105,4
	9	870800	454957	90	0,2	105,8
	10	870799	454960	93	0	106
8	1	870815	454878	10	0,25	105,75
	2	870811	454888	20	0,5	105,5
	3	870808	454897	30	0,7	105,3
	4	870804	454906	40	1,02	104,98
	5	870801	454916	50	1,2	104,8
	6	870797	454925	60	1,3	104,7
	7	870794	454934	70	1,05	104,95

Continuación C.1

Radial	Punto	Coordenadas		Distancia m	Prof m	Cota m.s.n.m.
		Norte	Este			
8	8	870790	454944	80	0,2	105,8
	9	870788	454949	82	0	106
9	1	870812	454877	10	0,1	105,9
	2	870806	454885	20	0,37	105,63
	3	870800	454893	30	0,4	105,6
	4	870794	454901	40	0,57	105,43
	5	870788	454909	50	0,73	105,27
	6	870783	454917	60	0,8	105,2
	7	870777	454925	70	1,37	104,63
	8	870771	454933	80	1,1	104,9
	9	870765	454942	90	0,6	105,4
	10	870759	454950	100	0,2	105,8
	11	870754	454956	108	0	106
10	1	870756	454949	12,3	0,23	105,77
	2	870760	454940	22,3	0,78	105,22
	3	870764	454930	32,3	1	105
	4	870768	454921	42,3	1,15	104,85
	5	870771	454912	52,3	0,6	105,4
	6	870775	454903	62,3	0,3	105,7
	7	870779	454888	73,3	0	106
11	1	870749	454948	12,3	0,16	105,84
	2	870747	454938	22,3	0,81	105,19
	3	870745	454928	32,3	1,2	104,8
	4	870744	454918	42,3	0,39	105,61
	5	870742	454911	50	0	106
12	1	870741	454949	15,3	0,21	105,79
	2	870734	454941	25,3	0,68	105,32
	3	870728	454933	35,3	60	46
13	1	870737	454955	18	0,1	105,9
	2	870724	454953	28	0,24	105,76
	3	870714	454950	38	0,17	105,83
	4	870705	454948	48	0,45	105,55
	5	870695	454945	58	0,24	105,76
	6	870685	454943	68	0,1	105,9
	7	870684	454942	69	0	106

Título	ESTIMACIÓN DE LAS FILTRACIONES QUE SE PRODUCEN A TRAVÉS DEL DIQUE Y FUNDACIONES DE LA PRESA LA MORRONA, SECTOR LA CULEBRA, MUNICIPIO ANGOSTURA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Espejo Torres, Gustavo José	CVLAC	19.332.902
	e-mail	gustavojet90@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Presas y embalses
Filtraciones en las presas
Presas La Morrona
Programa SEEP/W
Método unidimensional
Mallas de flujo

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ingeniería Hidráulica	Presas y embalses
	Filtraciones en las presas

Resumen (abstract):

La presente investigación se desarrolló en el sector La Culebra, específicamente en la represa La Morrona, en el municipio Angostura, estado Bolívar. El objetivo fundamental del estudio es estimar la magnitud de las filtraciones que se producen a través de las fundaciones y la presa de tierra antes mencionada. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de investigación de tipo descriptiva para lo cual se implementó una estrategia de campo y documental. Para el logro de la investigación se efectuó un levantamiento topográfico en el área del vaso de almacenamiento y de la represa La Morrona cuyos datos se utilizaron para construir un plano topográfico del mencionado cuerpo terreo. Se realizó el análisis geotécnico de las muestras de los suelos tomadas en la perforación practicada con un muestreador tipo auger en la presa. Se estimó la carga hidráulica a la cual estará sometido el talud del estribo izquierdo del embalse La Morrona. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el embalse tiene una capacidad actual de casi 22000 m³ de agua para un área inundada de 4.2 ha. Por otro lado, con base a los sondeos de suelos realizados en 2005 y los ensayos de suelos realizados a las muestras tomadas en las dos perforaciones efectuadas en la cresta del dique y al pie del dique aguas abajo respectivamente, se diferenció un solo estrato en el dique: arena arcillosa (SC) compactada de color beige con un espesor de 2.00 m. y en las fundaciones un único estrato de arcilla de baja plasticidad (CL).- El dique y fundaciones de la presa presenta evidencias de filtraciones que fueron estimadas mediante el programa SEEP/W con un caudal unitario de 2.03×10^{-5} m³/s. Esta magnitud se corresponde con las obtenidas mediante cálculos analíticos utilizando el método unidimensional y el bidimensional de Laplace.

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Díaz, Dafnis José	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506408
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com
	e-mail	
Echeverría, Beatriz	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Márquez, Edgar	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2023	5	29

Lenguaje: spa

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Estimación de las filtraciones a través del dique de tierra y las cimentaciones de la represa La Morrona, sector La Culebra, municipio Angostura, estado Bolívar, Venezuela.doc	Application/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 - .**

Alcance:

Espacial: Represa La Morrona, municipio Angostura, estado Bolívar (Opcional)

Temporal: 5 años (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Ingeniería Hidráulica

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Firma]*

FECHA *5/8/09* HORA *5:20*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLANOS CUMBELE
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telesinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/ YOC/ maruja

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

Gustavo José Espejo Torres
CI. No 19.332.902
AUTOR 1

Dafnis José Echeverría Díaz
C.I. No 4.506.408
TUTOR



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

CONSTANCIA DE CONFORMIDAD DE TUTORIA

A través de la presente hago de su conocimiento que el trabajo de grado intitulado **“ESTIMACIÓN DE LAS FILTRACIONES QUE SE PRODUCEN A TRAVÉS DEL DIQUE Y FUNDACIONES DE LA PRESA LA MORRONA, SECTOR LA CULEBRA, MUNICIPIO ANGOSTURA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.”**, el cual fue desarrollado por el bachiller **ESPEJO TORRES, GUSTAVO JOSÉ** fue revisado y aprobado por quien suscribe y en vista de ello, se propone para que sea expuesto y defendido por sus autores.

Sin otro particular

Atentamente.

Prof. Dafnis Echeverría

Asesor académico