

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



**ANÁLISIS SOBRE EL REACONDICIONAMIENTO DE LA  
SUPERFICIE DE CONCRETO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL  
ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN  
BOLÍVAR EN GURI - ESTADO BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LA  
BACHILLER MARÍA A.  
TORRES CHIRINOS PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**CIUDAD BOLÍVAR, MAYO DE 2010**

## HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “**Análisis sobre el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri - Estado Bolívar.**”, presentado por la bachiller **María Auxiliadora Torres Chirinos**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Mario

Castro

\_\_\_\_\_  
(Asesor)

Rogelio

Pérez

Marisol

Diequez

\_\_\_\_\_  
Profesor Jacques Edlibi  
Jefe del Departamento de Ingeniería Civil

Ciudad Bolívar 09 de Junio de 2010

## **DEDICATORIA**

A Dios ante todo, por ser mi guía, mi luz y darme la fortaleza de seguir luchando y aprender que la vida es una sola y hay que vivirla llena de amor y de felicidad. Dios eres todo para mí.

A mi hijo Oriad Zadael por ser fuente de amor infinito y enseñarme que todo se puede lograr siempre que queramos seguir adelante y también por hacer florecer en mí ese niño que llevamos dentro. Te amo cielo.

A mi esposo Rubén Darío por ser el mejor compañero y brindarme su amor, apoyo y comprensión en todo momento. Eres especial.

Desde luego le agradezco infinitamente al ser que me dio la existencia, amor y confianza, entre otras cosas no menos importantes. Esa persona no es otra que mi madre Magali Chirinos y a mi padre Perfecto González, infinitas gracias por ser tan especial y único.

A mis hermanos María Eugenia, Mayra, Ali David, Carmen y Gustavo, Ángel gracias por toda la ayuda brindada y por ser tan especiales.

A todos mis amigos que formaron parte de mi vida estudiantil, son demasiados para nombrarlos a todos, muchas Gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía espiritual en todo momento.

A mi tutor académico, profesores y amigos Mario Castro y Giovanni Grieco por la ayuda y colaboración recibida en todo momento.

A la Universidad de Oriente y todos sus profesores por contribuir en mi formación personal y profesional.

A la empresa EDELCA por permitirme desempeñarme como profesional en el Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil Coordinación Guri.

A mi tutor industrial Ingeniero Juan Carlos Silva, por ser partícipe de este logro y plantearme retos en mi carrera y muy especialmente al Técnico Superior Universitario Víctor Cañas por todo el apoyo, colaboración, enseñanzas y amistad brindadas en todo momento.

A los Ingenieros José Fuentes, Ventina Ferreira, Manuel Perales, Yamir Tritton, Andrys Henríquez, Vicente Ledezma y los Técnico Superior Universitario Yracema Marquina, Hermes Marcano y Martha Meléndez, por todo el apoyo y colaboración prestada en todo momento.

## RESUMEN

Al sur oriente del país en el Estado Bolívar se encuentra el Complejo Hidroeléctrico Simón Bolívar en Guri, ubicada en el cañón de Necuima a 100 km aguas arriba de la desembocadura del río Caroní en el Orinoco. Esta es la primera planta de mayor potencia instalada en el país y la tercera central construida sobre el río Caroní, que hay hoy en día, está en capacidad de producir 10.000 MW, la cual está constituida por dos casas de maquinas contando cada una con 10 unidades turbogeneradores. En las Centrales Hidroeléctricas, uno de los mayores problemas que se presenta es el desgaste de los canales del aliviadero ocasionada por los alivios en las épocas de inviernos. Actualmente es responsabilidad del Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil de EDELCA realizar las inspecciones formales para evaluar las estructuras de concreto de la presa, para ello se contrató a la empresa FAPCO. que es la encargada de realizar el trabajo de reparación de los canales del aliviadero de la central de Guri. Por tales motivos el trabajo de investigación tiene como objetivo general “Analizar el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri-Estado Bolívar” La investigación desarrollada adopta un diseño de campo de tipo documental, por cuanto se requirieron realizar inspecciones regulares al canal 1 y evaluar los daños que presenta actualmente, así como también conocer las características del aliviadero. Además con este trabajo se elabora un plan de mantenimiento que garantice el buen funcionamiento de las estructuras hidráulicas (en este caso el aliviadero) de la presa. Se tiene como resultados de la investigación que es necesaria la reparación en el canal para evitar daños mayores en la superficie del concreto en los años siguientes de descarga, y de esta forma, garantizar el buen funcionamiento hidráulico del aliviadero.

## CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	4
SITUACIÓN A INVESTIGAR .....	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Objetivos de la investigación .....	6
1.2.1 Objetivo general .....	6
1.2.2 Objetivos específicos .....	6
1.3 Justificación de la investigación.....	7
1.4 Alcance de la investigación.....	7

CAPÍTULO II .....	9
GENERALIDADES .....	9
2.1 Razón social y nombre comercial de la empresa .....	9
2.2 Reseña histórica de EDELCA.....	9
2.3. Matriz estratégica de la empresa .....	16
2.3.1. Misión .....	16
2.3.2. Visión.....	16
2.3.3. Valores .....	16
2.4. Objetivos estratégicos de la empresa .....	17
2.5. Estructura organizativa de EDELCA.....	18
2.5.1. Nivel central .....	18
2.5.2. Nivel regional.....	19
2.5.3. Nivel local .....	19
2.6. Dirección de Expansión de Generación.....	19
2.6.1 Objetivo de la Dirección .....	19
2.6.2. Elementos de la misión de EDELCA en los cuales interviene la Dirección .....	20
2.7. División de Consolidación y Mantenimiento de Obras Civiles.....	22

2.7.1. Objetivo de esta División .....	22
2.7.2. Funciones .....	23
2.8 Marco normativo de la División .....	24
2.8.1 Interno .....	24
2.8.2 Externo .....	24
2.9. Departamento de Infraestructuras y Mantenimiento Civiles .....	25
2.9.1. Objetivos .....	25
2.9.2. Funciones del Departamento.....	25
2.10. Ubicación geográfica del área en estudio.....	26
2.11 Acceso al área de estudio .....	28
2.12. Características físicas y naturales.....	29
2.12.1 Descripción del sitio.....	29
2.12.2 Estructura geológica.....	29
2.12.3 Sismicidad .....	30
2.12.4 Hidrología .....	30
2.12.5 Basamento geológico de la cuenca .....	31
2.12.6 Vegetación.....	31
2.13 Datos significativos de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar” .....	31

CAPÍTULO III.....	36
MARCO TEÓRICO.....	36
3.1 Antecedentes de la investigación .....	36
3.2 Bases teóricas .....	40
3.2.1 Central hidroeléctrica.....	40
3.2.2 Partes de una central hidroeléctrica.....	41
3.2.3 Tipos de aliviaderos .....	47
3.2.4 Componentes de un aliviadero.....	52
3.2.5 Fenómenos que afectan el concreto y el funcionamiento de los aliviaderos .....	55
3.2.6 Método de reparación.....	57
3.2.7 Preparación de superficie del concreto para su reparación .....	59
3.2.8 Método de hidrodemolición .....	61
3.3 Definición de términos básicos .....	74
CAPÍTULO IV.....	78
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	78
4.1 Nivel de investigación.....	79
4.2 Diseño de la investigación .....	79

4.3 Población y muestra .....	80
4.3.1 Población.....	80
4.3.2 Muestra.....	80
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	80
4.4.1 Recopilación de información bibliográfica.....	81
4.4.2 Entrevista no estructuradas .....	81
4.4.3 Trabajo de campo.....	81
4.4.4 Instrumentos de recolección de datos .....	85
4.5 Análisis de datos .....	85
4.6 Flujograma de trabajo .....	85
CAPÍTULO V .....	87
ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS .....	87
5.1 Características del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar.....	87
5.2 Daños que actualmente presenta el canal 1 del aliviadero.....	90
5.2.1 Aguas arriba y cercanas a la segunda rampa de aireación .....	91
5.2.2 Concreto en el borde izquierdo y derecho del lanzador.....	92
5.2.3 Superficie del concreto aguas abajo del lanzador .....	93
3.2.4 Muros de encauzamiento .....	94

5.3 Análisis de las especificaciones para el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Simón Bolívar en Guri.	96
CAPÍTULO VI.....	99
PLAN DE MANTENIMIENTO.....	99
6.1 Estrategias que deben seguir un plan de conservación .....	99
6.2 Conservación de los canales de aliviaderos .....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
Conclusiones .....	103
Recomendaciones.....	104
REFERENCIAS.....	106
APÉNDICES.....	110
APÉNDICE A .....	110
Detalles de robot Conjet 364 utilizado en la reparación del canal 1 del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.....	110
APÉNDICE B .....	114
Fotografías de colocación de plataformas y estructuras de acceso en el canal 1 del aliviadero.....	114
APÉNDICE C .....	116

Fotografías de inspecciones en el canal 1 del aliviadero por personal de EDELCA.....	116
APÉNDICE D .....	119
Fotografías de inspección a materiales y equipos.....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Cañón de Necuima Año 1963 (Intranet, EDELCA, 2009).....	11
Figura 2.2 Primera Etapa de la Central Hidroeléctrica de .....	12
Guri Año 1968 (Intranet, EDELCA, 2009).....	12
Figura 2.3 Etapa Final de la Central Hidroeléctrica de Guri.....	13
Año 1986. (Intranet, EDELCA, 2009). .....	13
Figura 2.4 Capacidad de los Proyectos de EDELCA (Intranet EDELCA, 2009).....	14
Figura 2.5 Desarrollo Hidroeléctrico del Bajo Caroní (Intranet, EDELCA, 2009). ...	15
Figura 2.6 Estructura organizativa de EDELCA. (Intranet, EDELCA, 2009).....	20
Figura 2.7 Organigrama de la dirección de expansión de generación .....	21
(Intranet, EDELCA 2009). .....	21
Figura. 2.8. Organigrama de la División de Consolidación y .....	22
Mantenimiento de Obras Civiles.....	22
(Intranet, EDELCA, 2009). .....	22
Figura 2.9 Ubicación relativa de los sitios de presa del Bajo .....	27
Caroní. (Intranet, EDELCA, 2009). .....	27
Figura 2.10 Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”. (Intranet, EDELCA, 2009).....	28
Figura 2.11 Acceso al área de estudio.....	29

Figura 3.1. Deflectores de los canales del Aliviadero sumergidos en el agua. ....	37
Año 1967. (Intranet EDELCA 2009). ....	37
Figura 3.2. Realzamiento de los bordes del lanzador, trabajos de ..... sobrelevación y rampas de aireación. Año 1981 (Intranet – EDELCA 2009).....	38
Figura 3.3. Culminación de sobrelevación de la presa. Año 1985..... (Intranet – EDELCA 2009). ....	38
Figura. 3.4. Esquema general de una central hidroeléctrica. (es.wikipedia.org, 2009). .....	41
Figura 3.5 Presa de gravedad. (es.wikipedia.org, 2009). ....	42
Figura. 3.6 Presa de arco. (es.wikipedia.org, 2009). ....	43
Figura 3.7 Presa de contrafuerte. (es.wikipedia.org, 2009). ....	43
Figura. 3.8 Presa de enrocado. (es.wikipedia.org, 2009). ....	44
Figura 3.9 Presa de tierra. (es.wikipedia.org, 2009). ....	45
Figura 3.10. Presa de Guri. (Intranet - EDELCA 2009). ....	45
Figura 3.11. Embalse de Guri vista desde aguas arriba (Guri 2009). ....	46
Figura. 3.12. Aliviadero de lámina vertiente – Embalse El Pedregal, Estado Falcón.(Bolinaga, 1999).....	48
Figura 3.13. Aliviadero de lámina vertiente con compuertas y conducto cerrado – Proyecto del Embalse Boconó- Estados Portuguesa y Barinas. (Bolinaga, 1999).....	48

Figura 3.14. Aliviadero de abanico. Presa Pueblo Viejo, Estado Zulia, Venezuela. (Bolinaga, 1999).....	49
Figura 3.15. Aliviadero con canal lateral. Presa Rafael Vegas, río Clavellinos Estado Sucre, Venezuela. (Bolinaga, 1999).....	50
Figura 3.16. Aliviadero de embudo con toma adosada. Presa Cabayu, Estado Yaracuy, Venezuela. (Bolinaga, 1999). ....	51
Fig. 3.17. Componentes de un aliviadero típico. (Bolinaga, 1999). ....	53
Figura 3.18 Muestra de hormigón con microfisuras .....	60
(www.anzeve.com, 2010). ....	60
Figura 3.19 Penetración del agua en el hormigón deteriorado.....	61
(www.anzeve.com, 2010). ....	61
Figura 3.20. Hidrodemolición manual (www.hidrofrein.com, 2010).....	63
Figura 3.21. Hidrodemolición robotizada (www.hidrofrein.com, 2010).....	64
Figura 3.22. Conjunto bomba – robot para hidrodemolición (www.anzeve.com, 2010). ....	65
Figura 3.23. Puntos de entrada y salida de agua en bomba y robot. ....	66
(www.hidrofrein.com, 2010).....	66
Figura 3.24 Bomba de 750 Kw (www.hidrofrein.com, 2010). ....	67
Figura 3.25. Hidrodemolición Vs. Martillo (www.anzeve.com, 2010). ....	70

Figura 3.26. Aplicaciones de la hidrodemolición robotizada. (www.anzeve.com, 2010). .....	74
Figura 4.1 Escaleras de acceso al canal 1. (Autor, 2009). .....	82
Figura 4.2. Disposición del acceso a la plataforma fija. (FAPCO C.A, 2009). .....	83
Figura 4.3. Pasarela para acceso a la plataforma .....	84
fija. (Autor, 2009). .....	84
Figura 4.4. Plataformas fija y móvil instaladas en el canal 1. (Autor, 2009).....	84
Figura 4.5. Flujograma de trabajo. ....	86
Figura 5.1. Planta del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. ....	88
(Bolinaga, 1999).....	88
Figura 5.2. Partes del aliviadero de la central de Guri. (Autora, 2009). ....	89
Figura. 5.3. Compuertas radiales del aliviadero de la central de Guri. (Autor, 2009).	90
Figura 5.4 Daños en la segunda rampa de aireación del canal 1 del aliviadero de la presa de Guri. (Silva, 2009). ....	91
Figura 5.5. Oquedades en algunos sectores del canal 1. (Autor, 2009). ....	92
Fig. 5.6. Grietas en el borde derecho del lanzador. (Autor, 2009).....	93
Figura 5.7. Borde izquierdo del lanzador con erosión. (Autor, 2009). ....	93
Figura 5.8. Daños en la superficie de concreto del lanzador. (Autor, 2009). ....	94

Fig. 5.9. Daños en los muros de encauzamiento 1 y 2 del canal 1 (Autor, 2009)..... 95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales volúmenes de la obra.....	32
(EDELCA ,2009). .....	32
Tabla 2.2 Cuenca y embalse (EDELCA, 2009). .....	32
Tabla 2.3 Presas de concreto (EDELCA, 2009). .....	33
Tabla 2.4 Casas de máquinas (EDELCA, 2009).....	33
Tabla 2.5 Aliviadero (EDELCA, 2009). .....	34
Tabla 2.6 Canales de descarga (EDELCA, 2009).....	35
Tabla 2.7 Presas y Diques (EDELCA, 2009).....	35

## INTRODUCCIÓN

Los aliviaderos tiene como función evacuar los excesos de agua no regulables de los embalses, de tal forma que se garantice la integridad física de la presa y de las obras de embalse conexas y también que no se causen daños inaceptables aguas abajo.

Los aliviaderos son con frecuencia estructuras independientes de las obras de embalse (presas y tomas), pero en algunas ocasiones están integrados a ellas. La capacidad del aliviadero de un embalse debe ser igual o mayor que el gasto de diseño, entendiendo como este último el caudal máximo de salida. El caudal de diseño se originará de la amortiguación que sufra la crecida de proyecto que se seleccione, a través de su tránsito en el embalse; por lo tanto la crecida es el dato fundamental para el proyecto de un aliviadero.

En la Región Sur Oriental de nuestro país, en el estado Bolívar, se erige la imponente estructura de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”, la cuál está ubicada en el Cañón de Necuima a unos 90 Km aguas arriba de la confluencia del Caroní con el río Orinoco.

Toda Central Hidroeléctrica requiere de un detallado y minucioso seguimiento de su comportamiento a través del tiempo, de todas y cada una de las instalaciones que la conforman. En esta central es de mucho cuidado el aliviadero ya que los canales que lo conforman han sufrido daños en la superficie del concreto por los alivios en años anteriores para regular el embalse de Guri.; por ende, dada la importancia que tienen este tipo de estructuras en dichos casos, y teniendo un caso tan particular en dicha central; la empresa EDELCA a través de la División de

Consolidación y Mantenimiento de Obras Civiles, en el Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil Coordinación Guri , realizan inspecciones

formales cada cierto tiempo en las estructuras de concreto de la presa para evaluar o diagnosticar la existencia de daños en las partes que la integran.

El presente trabajo tiene como objetivo principal, el análisis del reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar. En este sentido, la presente investigación se dividió en seis capítulos:

Capítulo I. Situación a investigar: en donde se presenta el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, la justificación, y los alcances de la investigación.

Capítulo II. Generalidades: explica la estructuración e historia de la empresa, así como características físicas y naturales de área de estudio al igual que la vía de acceso.

Capítulo III. Marco teórico: se presentan los antecedentes de la investigación, así como, el conjunto de aspectos teóricos, que permiten proporcionar una base conceptual del tema investigado.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: en el cual se señala el tipo y diseño de la investigación, el flujograma de la metodología; el cual describe paso a paso el proceso investigativo, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, y las técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: donde se presenta el análisis de los objetivos planteados por medio de un conjunto de tablas y gráficos.

Capítulo VI. El plan de mantenimiento diseñado en donde se detalla los pasos a seguir para una mejor vida útil del aliviadero y evitar reparaciones posteriores.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, producto de la investigación, los apéndices y anexos que amplían aún más la información de la presente investigación.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### **1.1 Planteamiento del problema**

Las presas en la actualidad constituyen unas de las obras de ingeniería de gran importancia para el desarrollo de un país y en los últimos años han experimentado un incremento en las construcciones de éstas, pues los beneficios de estos proyectos justifican su gran inversión.

Según registros del International Commission of Large Dams, Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), a nivel mundial para el año de 1998 considerando presas de alturas mayores a 60 metros el número total de presas ascendía a 25.410, construyéndose alrededor de la mitad en los últimos 35 años, para el 2000, entraron en servicio 290 presas aproximadamente y en el año 2001 estaban en construcción unas 750; sobresalen como países constructores España, Brasil, Turquía, Rumania, Japón y China. ([www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net)).

Actualmente se está llevando a cabo la construcción de la presa de Tres Gargantas, obra que se levanta en el río Yangtze, entre las ciudades de Chongqing y Yichang (Provincia de Hubei en China), la cual será la obra hidráulica más grande del mundo. Por otro lado, se generaría electricidad, dado que contará con 26 turbinas de 700.000kW cada una, sumando una potencia instalada de potencia total de 18,2 gigavatios

En Latinoamérica se ha promovido en los últimos años, el desarrollo de grandes obras en el marco del desarrollo de generación eléctrica, tal es el caso de la Central Hidroeléctrica Itaipú, emprendimiento binacional entre Brasil y Paraguay, la primera

en tamaño de operación del mundo y considerada una de las maravillas de la ingeniería moderna.

En Venezuela, existen más de 100 presas con distintos fines, entre lo cuáles están: riego, abastecimiento de agua, control de inundaciones o crecientes, uso recreacional, piscicultura, reservas de aguas, saneamiento de tierras agrícolas y generación hidroeléctrica. Al Sur oriente del país en el estado Bolívar se encuentra el Complejo Hidroeléctrico del Bajo Caroní, bajo la tutela de la Corporación Eléctrica Nacional a través de su filial Electrificación del Caroní C.A. (EDELCA), siendo la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar “Guri”, la de mayor importancia con una potencia instalada de 10.000 MW con un volumen de agua en su embalse de  $135.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ , y una cuenca con área de  $95.000 \text{ Km}^2$ , siendo la principal fuente de energía eléctrica del país.

Cada año, el aliviadero funciona de una manera casi continua durante los períodos de invierno. Esto puede variar de acuerdo a las condiciones climatológicas que se presenten en la cuenca del río; cuando el nivel del lago se encuentra por encima de la elevación 270 msnm, es necesario aliviar volúmenes de agua por medio de los canales de aliviadero, con el propósito de no sobrepasar la capacidad de fluido represado por el muro de la hidroeléctrica Simón Bolívar.

Los volúmenes de agua son canalizados por medio de un tobogán de concreto. Es importante destacar que el agua contiene una variedad de partículas suspendidas y en combinación a la inclinación de  $51^\circ$  (correspondiente al canal 1) que genera turbulencia del fluido, se hace presente en los paños que conforman el tobogán una serie de irregularidades. Generando una parábola distinta y anomalías en el concreto no contemplada en el proyecto original; razón por la cual también se hace variable la

magnitud de los daños que se producen en la superficie del aliviadero durante cada invierno.

En vista de la importancia que tiene la Central Hidroeléctrica, se realizan inspecciones para verificar las condiciones de las estructuras que la conforman, con el fin de detectar cualquier condición que atente contra la integridad física del sistema y que pueda afectar el buen funcionamiento de la misma.

A partir de estas circunstancias, surge la necesidad de estudiar más a fondo la naturaleza del aliviadero de la central, sus características, así como los daños que presenta.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

1. Analizar el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri - Estado Bolívar.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Describir las características del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.

2. Evaluar los daños que presenta el canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.

3. Analizar los lineamientos y especificaciones para la reposición de la superficie de concreto en el canal 1 y muros del aliviadero.
4. Proponer un plan de mantenimiento para los canales del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.

### **1.3 Justificación de la investigación**

La investigación propuesta busca determinar la situación actual del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar mediante inspecciones y de esta manera conocer los daños que presenta así como también llevar un registros de los trabajos realizados en el mismo; de manera tal que se garantice el buen funcionamiento del aliviadero ya que este cumple la función de verter el excedente de agua, no requerida, pues de fallar estructuralmente a causa de un sobre flujo, se produciría un caos energético en nuestro país.

Este análisis le permitirá a la Empresa EDELCA llevar un registro de los trabajos de reparación en los aliviaderos de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar. Para la carrera y la Universidad de Oriente es un aporte por ser un tema de gran interés y de gran relevancia pues se trata de mantener el buen funcionamiento de una de las represas más importantes del país. De igual forma, los resultados de esta investigación es una manera de que los estudiantes y egresados en Ing. Civil fortalezcan sus conocimientos sobre análisis, inspección y evaluación de estructuras de concreto; así mismo, el trabajo servirá como base para que otros tesisistas continúen un tema como este y puedan tener un gran impacto para Venezuela.

### **1.4 Alcance de la investigación**

Con este trabajo se realizó el análisis del Reacondicionamiento del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”, y dejar establecido un plan de mantenimiento para garantizar el funcionamiento de los mismos. Para el cumplimiento de los objetivos de estudio fue necesario realizar inspecciones periódicamente en el sitio y revisar toda la documentación referida.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Razón social y nombre comercial de la empresa**

El 31 de julio del 2008, por Decreto –Ley N° 5.330 del Ejecutivo Nacional, se dispone la creación de la “Sociedad Anónima Corporación Eléctrica Nacional, S.A.”, adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo, como una empresa Estatal encargada de la realización de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de potencia de energía eléctrica. En el mismo se especifica que la Sociedad Mercantil CVG Electrificación del Caroní, C.A. (EDELCA) queda adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo como filial de la Corporación Eléctrica Nacional, S.A.(Carico, 2009, p.75).

#### **2.2 Reseña histórica de EDELCA**

Los primeros intereses de aprovechar el río Caroní con fines Hidroeléctricos se remontan a los años 1912, cuando Leonard Dalton publicó en Londres su Libro “Venezuela” donde se decía que en vista del gran potencial de energía hidráulica de las cataratas del Caroní, donde decía “parece extraño que hasta El Puerto de San Félix (antes llamado Puerto de Tablas), no se haya convertido en una ciudad importante y floreciente, realizando Centrales Hidroeléctricas que permitan el aprovechamiento energético del Caroní”

El gobierno de López Contreras, autorizó en 1938 la exploración de la Guayana venezolana, iniciando con un estudio preliminar de las hoyas hidrográficas de los ríos Cuyuní y Caroní, para lo cual se designó a un grupo de expertos, que en 1939 presentó una descripción detallada sobre la hidrología, geología y otros aspectos de interés para el desarrollo de la región.

La Corporación Venezolana de Fomento (CVF) fue creada el 29 de Mayo de 1946, figurando entre las primeras tareas realizadas el análisis sobre la posibilidad de aprovechar el potencial hidroeléctrico de la Cuenca del río Caroní.

En 1949 la firma de consultores norteamericana BURNS & ROE, contratada por la CVF para realizar un Plan de electrificación Nacional; determinando con esto la conveniencia de aprovechar los saltos del bajo Caroní, mediante la construcción de una central generadora de electricidad para satisfacer la demanda del país; pues para esa época el suministro eléctrico en Venezuela era básicamente térmico y la hidroelectricidad representaba apenas alrededor del 20% de la generación nacional.

Fue para 1953 cuando se creó la Comisión de Estudios para la Electrificación del Caroní, adscrita al Ministerio de Fomento, la cual inició los estudios y trabajos para la construcción de la primera Central Hidroeléctrica sobre el río Caroní. En 1956 se inició la construcción de la Central Hidroeléctrica Macagua I, siendo ésta soporte del desarrollo de la industria del hierro y el acero, a través de la naciente Siderúrgica Nacional y para 1959 se inician las pruebas de la misma.

El 29 de Diciembre de 1960 se crea la Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) mediante el decreto número 430 emitido por el Presidente de la República Rómulo Betancourt; bajo la figura de Instituto Autónomo adscrito a la Presidencia de la República. La Central Hidroeléctrica Macagua I inició su funcionamiento a plena

capacidad en 1961, con la puesta en marcha de sus seis unidades generadoras, con un total de 360 Megavatios.

El 23 de Julio de 1963 se constituyó formalmente la empresa CVG ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ, C.A. (CVG EDELCA). En 1964 se desvió el río Caroní (primera voladura) hacia su margen derecho permitiendo el acceso a la zona de trabajo para ejecutar el Proyecto Guri. (Figura 2.1).



Figura 2.1 Cañón de Necuima Año 1963 (Intranet, EDELCA, 2009).

El 23 de Agosto de 1968, fue firmado el Contrato de Interconexión, dando origen al Sistema Interconectado Nacional, que integraban las empresas CVG EDELCA - Cadafe C.A. - La Electricidad de Caracas. Asimismo para ese año el

Presidente de la República, Doctor Raúl Leoni, inauguró la Primera Etapa de la Central Hidroeléctrica de Guri. En 1969 se comenzó a operar la primera Línea de Transmisión a 400.000 voltios Guri - El Tigre - Santa Teresa, con una longitud de 570 kilómetros, incorporándose Venezuela al grupo de países con Sistemas de Extra Alta Tensión. (Figura 2.2).

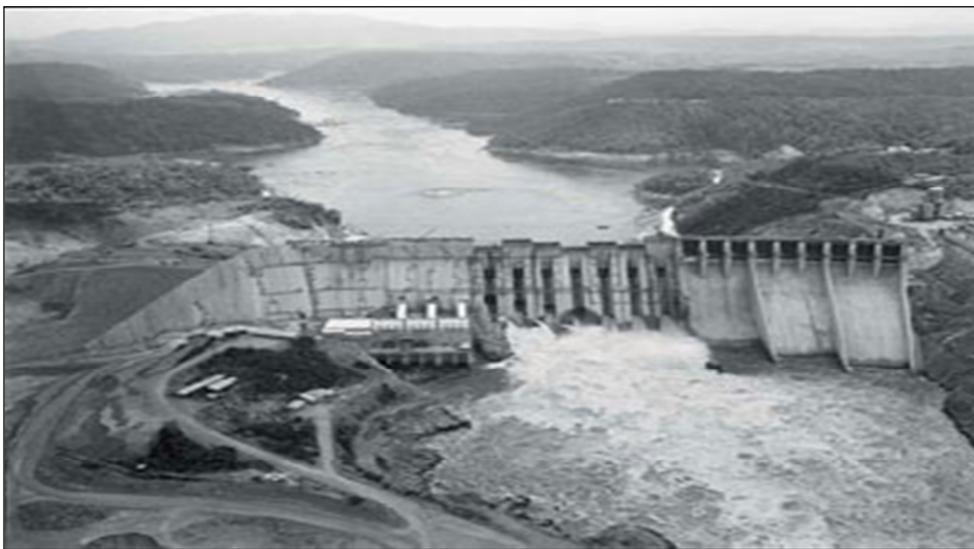


Figura 2.2 Primera Etapa de la Central Hidroeléctrica de Guri Año 1968 (Intranet, EDELCA, 2009).

Fue en 1976 cuando finalizaron las obras civiles de la Primera Etapa de Guri, con diez (10) unidades de generación en la Casa de Máquinas 1; siendo en 1980 cuando CVG EDELCA asume la directriz para guiar el proceso de construcción de la etapa final de Guri. Luego en 1984 entró en operación la primera unidad de la Casa de Máquinas 2. Guri - Etapa Final; poniéndose en funcionamiento para ese año las líneas de transmisión a 800.000 voltios Guri - La Horqueta convirtiéndose Venezuela en el Quinto País del Mundo con Líneas de Ultra Alta Tensión en operación. Continuando con más proyectos en 1985 se inició el desvío del río para la construcción de las estructuras principales de la Central Hidroeléctrica Macagua II.

El 8 de Noviembre de 1986 el Presidente de la República, Doctor Jaime Lusinchi, inauguró la Central Hidroeléctrica Guri, con una capacidad instalada de 10.000.000 kilovatios, convirtiéndose en ese momento en una de las Centrales Hidroeléctricas más grandes del mundo. (Figura 2.3).



Figura 2.3 Etapa Final de la Central Hidroeléctrica de Guri  
Año 1986. (Intranet, EDELCA, 2009).

Para el año 1988 se realizó la firma del segundo contrato del Sistema Interconectado Nacional que integran las Empresas CVG EDELCA - Cadafé C.A. - La Electricidad de Caracas - Enelven. En 1991 entro en operación comercial la Segunda Etapa del Sistema de Transmisión a 800.000 voltios; seguidamente para Febrero del presente año se realizó el primer desvío del río Caroní en el sitio de las obras de la Central Hidroeléctrica Caruachi, para así permitir la construcción de las estructuras civiles principales.

A partir de 1992 comenzó a operar la interconexión eléctrica Venezuela - Colombia a 230.000 voltios por la zona de la Guajira. Por otra parte en 1993 se inició

la construcción de Caruachi; siendo en 1995 cuando culminaron las obras Civiles del Proyecto Macagua II, paralelamente a esto se puso en servicio la primera unidad de la Casa de Máquinas III. Fue en 1997 cuando el Presidente de la República Doctor Rafael Caldera, inauguró la Central Hidroeléctrica Macagua II, incorporando 2540 MW a la producción eléctrica nacional.

A inicios del año 2000 se comienza a aplicar la separación contable de los negocios de la empresa, siguiendo las instrucciones emanadas del Ministerio de Energía y Minas (MEM.). En agosto de 2001 se inauguró el Sistema de Transmisión Macagua – Boa Vista, con esta interconexión se pone en servicio la subestación Santa Elena 230/34,5 mil voltios, la cual además permite un suministro de energía a los pobladores de Santa Elena de Uairén en Territorio Venezolano.

Para ese mismo año se dio inicio a las labores de montaje de la primera unidad generadora del proyecto hidroeléctrico Caruachi y se realizó la promulgación y publicación en Gaceta Oficial de la reforma a la Ley Orgánica del Servicio Eléctrico. Pudiéndose notar la capacidad de los proyectos de la empresa. (Figura 2.4).

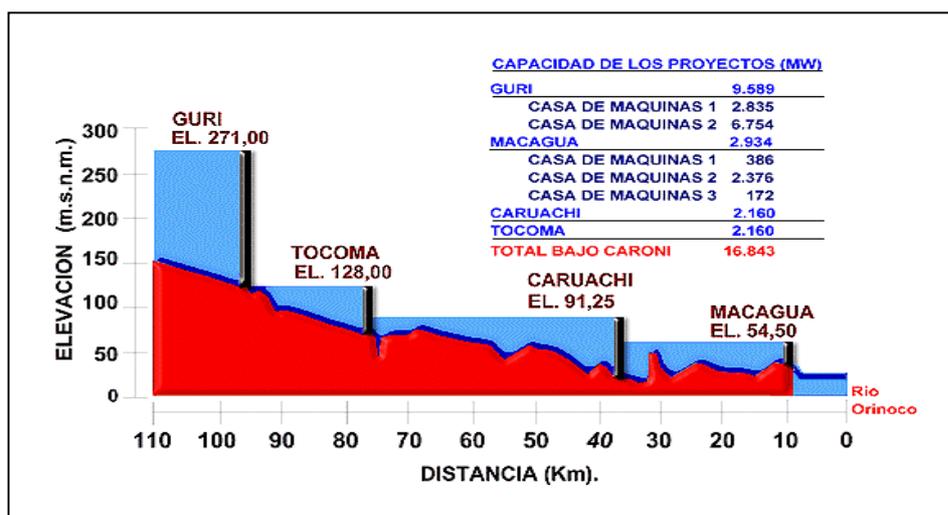


Figura 2.4 Capacidad de los Proyectos de EDELCA (Intranet EDELCA, 2009).

En el año 2002 se iniciaron las obras preliminares del Proyecto Hidroeléctrico Tocoma. Siendo a partir del 2003 cuando entró en operación comercial la primera unidad generadora de la Central Hidroeléctrica Caruachi, la cual una vez culminada en el 2006, aporta una energía firme de 11.300 millones de kilovatios hora al año. Asimismo la entrada en operación de la primera unidad generadora del Proyecto Tocoma, se tiene prevista para el año 2012 y al culminar dicho proyecto se aportará una energía firme de 11.000 GWh/año, que serán incorporados al Sistema Interconectado Nacional para satisfacer la creciente demanda del sector. (Figura 2.5). En resumen se puede decir que el aprovechamiento eléctrico posible del río Caroní es: en la Presa Antonio José de Sucre (Macagua) 1.000.000 Kw, en la Presa Francisco de Miranda (Caruachi) 1.500.000 Kw, en Presa Manuel Carlos Piar (Tocoma) 1.200.000 Kw y en la Presa Simón Bolívar (Guri) 6.600.000 Kw.

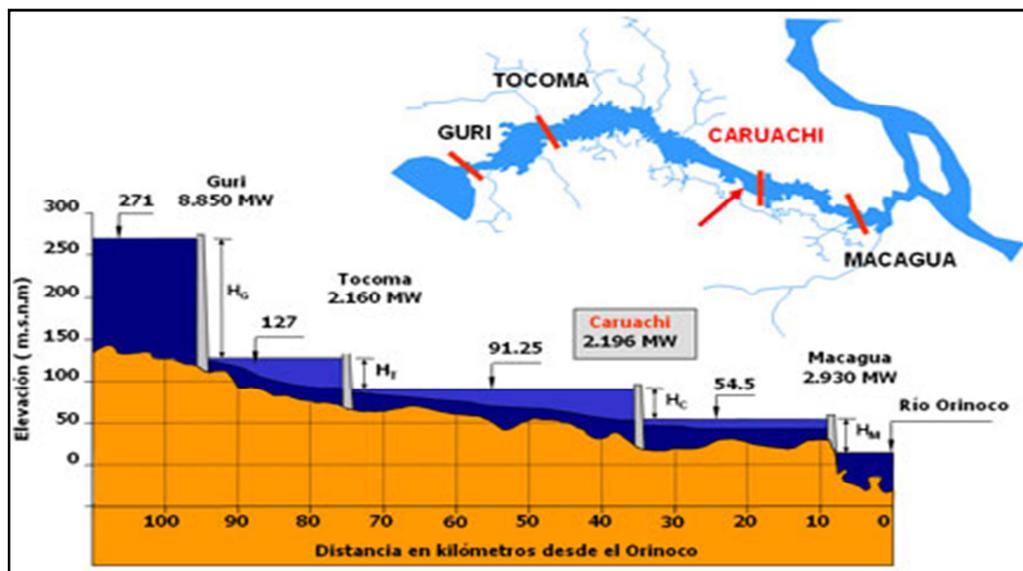


Figura 2.5 Desarrollo Hidroeléctrico del Bajo Caroní (Intranet, EDELCA, 2009).

## **2.3. Matriz estratégica de la empresa**

### **2.3.1. Misión**

Generar, transmitir y distribuir energía eléctrica, de manera confiable, segura y en armonía con el ambiente; a través del esfuerzo de mujeres y hombres motivados, capacitados, comprometidos y con el más alto nivel ético y humano; enmarcado todo en los planes estratégicos de la Nación, para contribuir con el desarrollo social, económico, endógeno y sustentable del País.

### **2.3.2. Visión**

Empresa estratégica del Estado, líder del sector eléctrico, pilar del desarrollo y bienestar social, modelo de ética y referencia en estándares de calidad, excelencia, desarrollo tecnológico y uso de nuevas fuentes de generación, promoviendo la integración Latinoamericana y del Caribe.

### **2.3.3. Valores**

2.3.3.1 Respeto: trato justo, digno y tolerante, valorando las ideas y acciones de las personas, en armonía con la comunidad, el ambiente y el cumplimiento de las normas, lineamientos y políticas de la Organización.

2.3.3.2 Honestidad: gestionar de manera transparente y sincera los recursos de la empresa, con sentido de equidad y justicia, conforme al ordenamiento jurídico, normas, lineamientos y políticas para generar confianza dentro y fuera de la organización.

2.3.3.3 Responsabilidad: cumplir en forma oportuna, eficiente y con calidad los deberes y obligaciones, basados en las leyes, normas y procedimientos establecido, con lealtad, mística, ética y profesionalismo para el logro de los objetivos y metas planteadas.

2.3.3.4 Humanismo: valoración de la condición humana, en la convivencia solidaria, sensibilidad ante las dificultades, necesidades y carencias de los demás, manifestada en acciones orientadas al desarrollo integral y al bienestar individual y colectivo.

2.3.3.5 Compromiso: disposición de los trabajadores y la organización para cumplir los acuerdos, metas, objetivos y lineamientos establecidos con constancia y convicción, apoyando el desarrollo integral de la Nación.

2.3.3.6 Solidaridad: actitud permanente y espontánea de apoyo y colaboración para contribuir a la solución de situaciones que afectan a los trabajadores y comunidades, para mejorar su calidad de vida.

2.3.3.7 Humildad: capacidad de reconocer y aceptar las fortalezas y debilidades, expresadas en la sencillez de los trabajadores, que permita la apertura al crecimiento humano y Organizacional.

## **2.4. Objetivos estratégicos de la empresa**

1. Ampliar la cobertura de los servicios de EDELCA a un creciente número de clientes y sectores de la economía.
2. Lograr la satisfacción de los clientes

3. Mantener precios competitivos.
4. Desarrollar y construir Proyectos necesarios para atender el crecimiento de la demanda eléctrica no solo de la Región Guayana y el país, sino también de países vecinos como Brasil y Colombia.
5. Procurar la satisfacción de los clientes con un servicio de excelente calidad, garantizando la confiabilidad del sistema eléctrico siendo eficientes y rentables.
6. Velar por la conservación y protección de las cuencas y áreas de interés para la empresa, preservando el medio ambiente.

## **2.5. Estructura organizativa de EDELCA**

La empresa Electrificación de Caroní C.A (EDELCA), está dividida en tres niveles, ubicados en diferentes zonas del país y cada una con diferentes funciones específicas. (Nivel Central, Nivel Regional, Nivel Local).

### **2.5.1. Nivel central**

Tiene su sede en Caracas, está constituido por la Asamblea de Accionista, la Junta Directiva, la Presidencia, la Vicepresidencia, la Dirección de Finanzas y Administración, la Dirección de Planificación, la Dirección Ejecutiva de Transmisión, la Dirección de Expansión de Generación, la Gerencia de Recursos Humanos y la Gerencia de Asuntos Públicos. Este nivel tiene a su cargo los más amplios poderes administrativos, de planificación general y la negociación de contratos de energía eléctrica.

### **2.5.2. Nivel regional**

Se encuentra ubicado en la región de Puerto Ordaz, la constituye la División de Administración Regional, la División de ingeniería de Campo y la dirección de operaciones de Generación, la cual a su vez tiene a su cargo varios servicios complementarios, sus funciones vienen a ser las de administrar y supervisar las operaciones de las centrales Macagua y Guri.

### **2.5.3. Nivel local**

Este se encuentra ubicado en la central hidroeléctrica Simón Bolívar, situada en Guri, gran parte de su estructura organizativa recibe líneas de mando del nivel central y regional. La relación de responsabilidad y jerarquía organizacional, conformada por un nivel estratégico que está integrado por la Junta Directiva, la Presidencia, la Vicepresidencia y seis (06) direcciones, un nivel táctico compuesto por una Gerencia de División y cuatro (04) Gerencia de Asesoría.

En función del logro de sus objetivos, EDELCA posee una estructura organizativa lineal y la misma está conformada por tres niveles estratégicamente ordenados.

## **2.6. Dirección de Expansión de Generación**

### **2.6.1 Objetivo de la Dirección**

Desarrollar la expansión del sistema de Generación de EDELCA, a través de la ingeniería de los proyectos y la ejecución de las obras de expansión o de mejoras tecnológicas, a fin de disponer de la capacidad de generación planificada para

participar competitivamente en el mercado eléctrico, cumpliendo con los parámetros de seguridad, calidad, costo y oportunidad. (Figura 2.6).



Figura 2.6 Estructura organizativa de EDELCA. (Intranet, EDELCA, 2009).

### 2.6.2. Elementos de la misión de EDELCA en los cuales interviene la Dirección

La Dirección de Expansión de Generación cumple con los objetivos que le han sido asignados a través del desarrollo de la ingeniería de los proyectos y la ejecución de las obras de expansión o de mejoras tecnológicas, contribuyendo de esta manera

con la misión de producir energía eléctrica en forma confiable y en condiciones de eficiencia y rentabilidad. En la figura 2.7 se observa el organigrama de esta Dirección.



Figura 2.7 Organigrama de la dirección de expansión de generación  
(Intranet, EDELCA 2009).

## 2.7. División de Consolidación y Mantenimiento de Obras Civiles

### 2.7.1. Objetivo de esta División

Asegurar la operatividad de las estructuras civiles a través de la detección, programación, contratación y ejecución de todos los mantenimientos y mejoras en las estructuras de las Plantas Hidroeléctricas construidas y operadas por EDELCA a fin de garantizar su seguridad y confiabilidad como integrante del proceso de producción de electricidad.

Por otra parte interviene en el proceso de producción de energía eléctrica al efectuar mantenimiento mayores y mejorando las estructuras civiles de las centrales hidroeléctricas para garantizar la confiabilidad de la generación. A continuación se presenta el organigrama de la División de Consolidación y Mantenimiento de Obras Civiles (Figura 2.8).

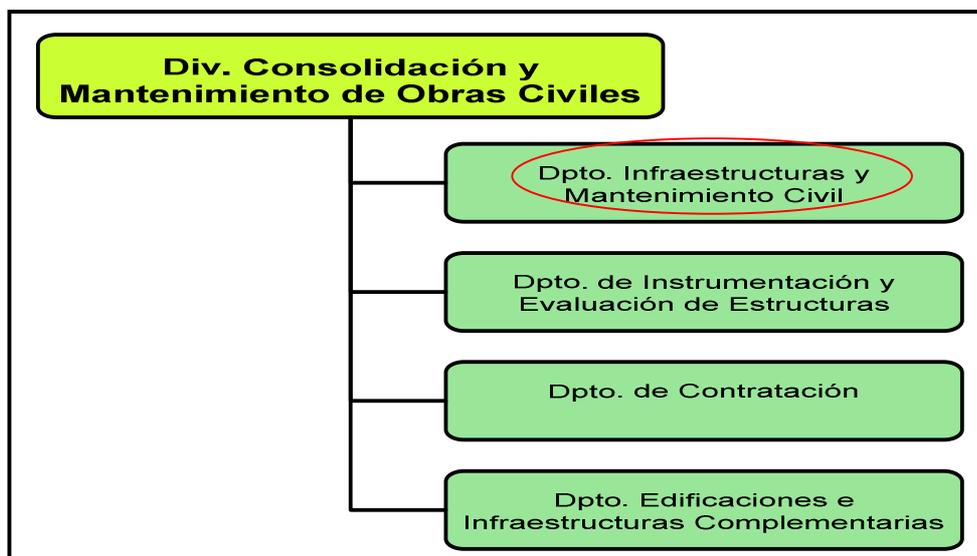


Figura. 2.8. Organigrama de la División de Consolidación y Mantenimiento de Obras Civiles (Intranet, EDELCA, 2009).

### **2.7.2. Funciones**

1. Coordinar, ejecutar e inspeccionar obras y servicios para el mantenimiento e inspección de las obras civiles y la construcción de las obras de infraestructura.
2. Manejar el presupuesto de inversión de las obras a cargo de la División.
3. Evaluar las estructuras civiles de las centrales hidroeléctricas de EDELCA para asegurar su óptimo funcionamiento.
4. Llevar a cabo los procesos de contratación de obras y servicios que permitan asegurar la atención oportuna de las actividades planificadas bajo la responsabilidad de la División.
5. Velar que los contratistas de las obras a cargo de la División, den fiel cumplimiento a las especificaciones, normas y procedimientos, bajo los estándares de calidad.
6. Entregar las obras de infraestructuras planificadas a la Dirección de operaciones o unidad que corresponda, con base en las necesidades y prioridades establecidas.
7. Inspeccionar las actividades de construcción de Obras Civiles, eléctricas y mecánicas de infraestructuras requeridas por las obras principales de los proyecto de expansión de generación.

8. Mantener contacto permanente con la División de Control de Proyectos a efectos de evaluar la ejecución de los contratos de obras principales de concreto y realizar las acciones pertinentes en función del avance de los mismos.

## **2.8 Marco normativo de la División**

### **2.8.1 Interno**

1. Documentos contractuales y Especificaciones Técnicas de los Contratos.
2. Memoranda de Diseño.
3. Planos de Proyecto.

### **2.8.2 Externo**

1. Normas A.S.T.M.
2. Normas del Bureau of Reclamation
3. Normas MOP-MTC
4. Normas COVENIN
5. Norma Del Department of the Army-Corps of Engineers
6. Normas ACI
7. Normas ANSI

8. Normas NFPA
9. Normas AWS
10. Documentos y Especificaciones de Fabricantes
11. Normas sanitarias de bomberos y de edificaciones.

## **2.9. Departamento de Infraestructuras y Mantenimiento Civiles**

### **2.9.1. Objetivos**

Satisfacer los requerimientos asociados al Plan de Consolidación de las diferentes estructuras civiles mediante la consolidación, mantenimiento adecuación y supervisión de las obras asociadas a los proyecto de generación Hidroeléctricas a fin de garantizar el buen funcionamiento de las estructuras.

### **2.9.2. Funciones del Departamento**

1. Supervisar, coordinar y dirigir los trabajos de reparación, mantenimiento mayor, construcción de obras de infraestructuras, ampliaciones y mejoras a las estructuras civiles y equipos electromecánicos de los proyectos hidroeléctricos de la empresa a fin de optimizar la calidad y confiabilidad de las instalaciones, además de prolongar su periodo de vida útil.

2. Hacer cumplir las normas de higiene y seguridad industrial para asegurar al personal de condiciones seguras, salud y bienestar.

3. Determinar las necesidades de reubicación de las torres toma y/o equipos instalados afectados por la subida del embalse.

4. Verificar la confiabilidad de las estructuras y materiales sobre las especificaciones y requerimiento exigidos por EDELCA.

5. Dirigir los trabajos de reparación y mantenimiento mayor de las estructuras civiles y equipos electromecánicos de las obras concluidas o ejecutadas.

6. Verificar el buen estado y correcta operación de las estructuras e instrumentos instalados en las obras principales y tomar las acciones que sean necesarias para garantizar condiciones optimas de operación.

7. Entregar las obras de infraestructuras planificadas a la dirección de operaciones o unidad que corresponda, con base en las necesidades y prioridades establecidas.

8. Inspeccionar las actividades de construcción de obras civiles, eléctricas y mecánicas de infraestructuras requeridas por las obras principales de los proyecto de expansión de generación.

9. Mantener contacto permanente con la División de Control de Proyectos a efectos de evaluar la ejecución de los contratos de obras principales de concreto y realizar las acciones pertinentes en función del avance de los mismos.

## **2.10. Ubicación geográfica del área en estudio**

Al Sur oriente del país en el estado Bolívar se encuentra el Complejo Hidroeléctrico del Bajo Caroní, siendo la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en

“Guri” el área de estudio, ubicada en el Cañón de Nequima, 100 kilómetros aguas arriba de la desembocadura del río Caroní en el Orinoco, localizada en la población de Guri. (Figuras 2.9 y 2.10).

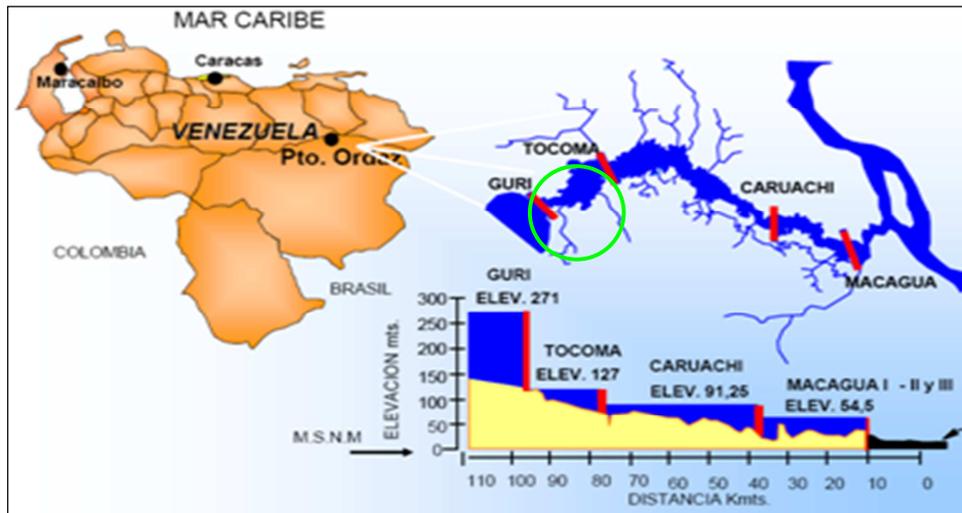


Figura 2.9 Ubicación relativa de los sitios de presa del Bajo Caroní. (Intranet, EDELCA, 2009).



Figura 2.10 Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”. (Intranet, EDELCA, 2009).

### **2.11 Acceso al área de estudio**

El acceso por vía terrestre al sitio del Complejo Hidroeléctrico Simón Bolívar (Guri) se realiza desde la carretera nacional de acceso a Guri, a 45 minutos de Ciudad Bolívar y 40 minutos de Puerto Ordaz. (Figura 2.11).

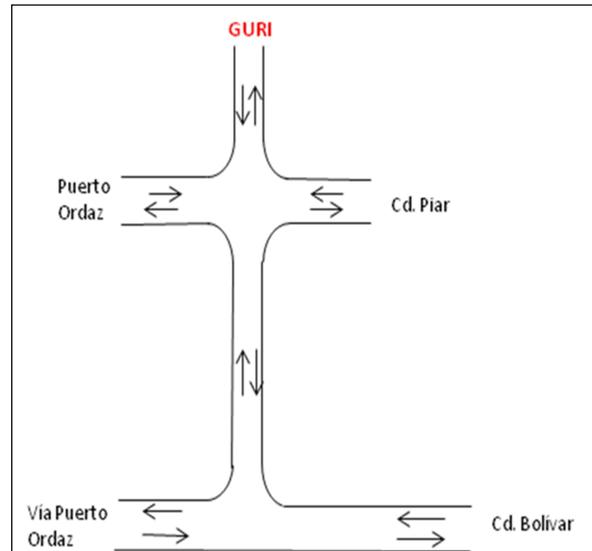


Figura 2.11 Acceso al área de estudio.

## 2.12. Características físicas y naturales

### 2.12.1 Descripción del sitio

En Guri, el río Caroní se amplía y fluye sobre los gneises graníticos, característicos del Complejo Imataca del Precámbrico Inferior del Escudo de Guyana. Sus masas rocosas están cortadas por un sistema de fallas que divide el área en grandes bloques con dimensiones variables entre 500 y 1.000 m. (CVG-EDELCA, 2004) (p. 18).

### 2.12.2 Estructura geológica

Su estructura geológica principal es la falla Guri, ubicada en el embalse de Guri. La extensión de esta falla es de aproximadamente 200 Km., que cruza de extremo a extremo a el embalse y su sentido es sur-oeste nor-este. . (CVG-EDELCA, 2004) (p. 72).

### **2.12.3 Sismicidad**

La sismicidad en el área ha sido registrada desde 11 de noviembre de 1974. Para efectos de diseño se ha adoptado un sismo con intensidad máxima de 6 en la escala de Richter, de 5 y 10 Km del sitio de la presa. De acuerdo con los criterios establecidos en el diseño, Guri puede quedar afectado por la sismicidad inducida por su embalse. La mayor actividad registrada hasta la presente fecha se ubica al sur-este y al sur-oeste del embalse de Guri con magnitud de 4,4 en la escala de Richter, donde hasta la fecha han sido registrados 2 de estos eventos en el año 1992. . (CVG-EDELCA, 2004) (p. 76).

### **2.12.4 Hidrología**

La cuenca del río Caroní está situada en el estado Bolívar, al sureste de Venezuela. Esta cuenca hidrográfica cubre aproximadamente 95.000 Km. (10,5% del territorio venezolano), de las cuales, 47.000 Km<sup>2</sup> corresponde al alto Caroní, desde su nacimiento en la frontera con Brasil hasta la confluencia con el río Paragua; 33.000 Km<sup>2</sup> forman la cuenca del río Paragua y los 15.000 Km<sup>2</sup> restantes corresponden al Bajo Caroní, desde su unión hasta su desembocadura en el río Orinoco. La cuenca del río Caroní posee el mayor potencial hidroeléctrico de Venezuela y una de las mayores del mundo. Se estima este potencial en 26.000 MW en toda la cuenca, de los cuales, aproximadamente 17.000 MW corresponde al Bajo Caroní. . (CVG-EDELCA, 2004) (p. 54).

El río Caroní aporta caudales anuales promedio de 4.800 m<sup>3</sup>/seg., habiéndose registrado una creciente máxima de 17.576 m<sup>3</sup>/seg. Y un gasto mínimo de 188 m<sup>3</sup>/seg.

### **2.12.5 Basamento geológico de la cuenca**

El basamento de la cuenca está compuesto principalmente por rocas Precámbricas del Escudo de Guayana, cuyas edades radiométricas oscilan entre 3.500 y 900 millones de años. Tres de las cuatro unidades litoestratigráficas del Escudo de Guayana son cruzadas por los ríos Caroní y Paragua; El Complejo de Imataca (facies de granulita-anfibolita) en la cuenca baja; la provincia de Pastora (rocas verdes) en la parte norte de la cuenca media y la provincia de Roraima (cuarcitas y conglomerados) en las cuencas media y alta. (CVG-EDELCA, 2004) (p. 84).

### **2.12.6 Vegetación**

La vegetación de la cuenca es muy variada como corresponde a la multitud de paisajes fisiográficos y a la variedad de tipos de sustratos que incluye desde rocas desnudas hasta suelos arcillosos profundos, pasando por una gama de suelos arenosos, franco-arenosos y limosos. No obstante, la formación vegetal predominante está constituida por grandes bosques que cubren aproximadamente el 60% de la superficie total de la cuenca. . (CVG-EDELCA, 2004) (p. 98).

### **2.13 Datos significativos de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”**

Las Tablas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 muestran los datos significativos que conforman la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar.

Tabla 2.1 Principales volúmenes de la obra  
(EDELCA ,2009).

<b>Principales volúmenes de obra</b>	
Volumen de concreto	8.030.940 m <sup>3</sup>
Cantidad de cemento utilizado	1.498.589 ton
Excavación total de tierra y roca	35.517.078 m <sup>3</sup>
Relleno total de tierra y roca	77.787.303 m <sup>3</sup>
Armadura de refuerzo “cabilla”	109.649.70 5 Kg

Tabla 2.2 Cuenca y embalse (EDELCA, 2009).

<b>Cuenca y Embalse</b>	
Longitud Total del río Caroní	700 Km
Caudal promedio del río	4800 m <sup>3</sup> /seg
Área de la cuenca	95.000 Km <sup>2</sup>
Volumen de agua embalsada	135.000x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Nivel de operación del embalse	Máximo 271,60 m.s.n.m
	Normal 271,00

	m.s.n.m
	Mínimo 240,00 m.s.n.m

Tabla 2.3 Presas de concreto (EDELCA, 2009).

<b>Presa de concreto</b>	
Elevación de la cresta	272 m.s.n.m
Altura máxima desde la fundación	162 m
Ancho de los monolitos	23 y 28 m
Longitud total	1.304 m

Tabla 2.4 Casas de máquinas (EDELCA, 2009).

<b>Casas de Maquinas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Número de unidades generadoras	10	10
Ancho de cada módulo	23 m	28 m
Longitud total	263,5 m	398, 3 m
Potencia máxima instalada	3.006 MW	7.30 0 MW
Velocidad de operación de unidades	120-128,6 rpm	112, 5 rpm

Capacidad de los generadores	185-230-360 MVA	700 MVA
Factor de sobre carga	1,15	1,15
Factor de potencia	0,95	0,95

Tabla 2.5 Aliviadero (EDELCA, 2009).

<b>Aliviadero</b>	
Número de canales	3
Ancho	183,76 m
Elevación de la cresta de ojiva	250,20 m.s.n.m
Compuertas	9 compuertas 15,42 m de ancho 22,26 m de alto
Capacidad normal embalse a 271 m.s.n.m	27.800 m <sup>3</sup> /seg
Capacidad sobre carga máxima embalse a 271,60 m.s.n.m	29.000 m <sup>3</sup> /seg

Tabla 2.6 Canales de descarga (EDELCA, 2009).

<b>Canales de descarga</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ancho de cada módulo	70 m	150 m
Longitud total	1.497,5 m	2.800 m

Tabla 2.7 Presas y Diques (EDELCA, 2009).

<b>Presas y Diques de tierra</b>	Presa de tierra y enrocamiento derecha	Presa de tierra y enrocamiento izquierda	Diques marginales derechos	Diques marginales izquierdos
Elevación de la cresta	276 msnm	276 msnm	275 msnm	275 msnm
Altura desde la fundación	111 mts.	98 mts.	21 mts.	37 mts.
Longitud total	3.950 mts.	1.960 mts.	16.200 mts.	9.475 mts.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la investigación**

El aliviadero de Guri comenzó a funcionar a mediados del año de 1969, a finales de ese año inspecciones realizadas en el aliviadero evidencian la presencia de daños de erosión en los labios de los deflectores y el fin de los muros de encauzamiento.

Siguiendo las recomendaciones de la empresa consultora proyectista de la obra, se procedió a reparar las zonas erosionadas con concreto epóxico. Una vez realizadas estas reparaciones, entra en operación nuevamente el aliviadero, nuevas inspecciones realizadas a finales del año de 1970 determinan la presencia de erosión en el concreto de la losa y de los lanzadores o deflectores causando grandes daños, especialmente en el Canal 2, donde su lanzador desapareció. Las reparaciones en el canal 2 se realizaron con concreto de alta resistencia y fue especialmente complicada porque parte del trabajo tuvo que ser hecho bajo agua.

Luego y producto de investigaciones realizadas se determinó que los daños fueron ocasionados por cavitación, debido al diseño y geometría del aliviadero, especialmente la de los lanzadores, las cuales tenían sus bordes de salida sumergidos, es decir por debajo del nivel del agua del canal de descarga. (Figura 3.1).



Figura 3.1. Deflectores de los canales del Aliviadero sumergidos en el agua.  
Año 1967. (Intranet EDELCA 2009).

Después de varias reparaciones en los Canales del Aliviadero, modificaciones, estudios y ensayos realizados durante la construcción de la etapa final de la Central y con el realzamiento del aliviadero, se ubicaron los bordes de los lanzadores por encima del nivel del agua del canal de descarga (Figura 3.2 y 3.3), además se aplicaron las técnicas existentes para introducir aire bajo el flujo de agua del aliviadero y así minimizar los efectos de la cavitación, construyéndose así dos (2) rampas de aireación en cada canal, lo que hasta la fecha ha disminuido significativamente la erosión y los daños por cavitación en la superficie de concreto de la losa, muros de encauzamiento, rampas de aireación y lanzadores, permitiendo realizar actividades de mantenimiento o reparaciones del concreto a largo plazo.



Figura 3.2. Realzamiento de los bordes del lanzador, trabajos de sobrelevación y rampas de aireación. Año 1981 (Intranet – EDELCA 2009).

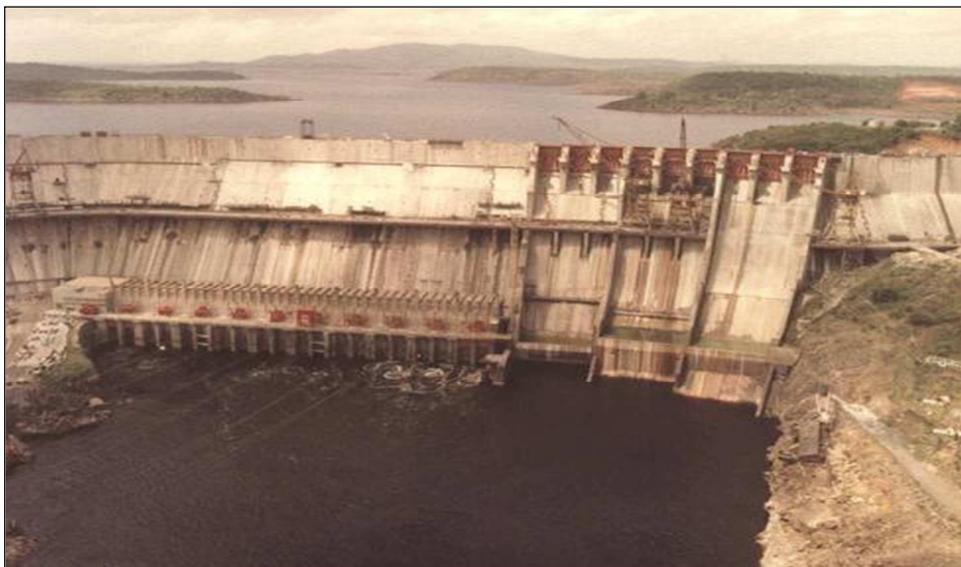


Figura 3.3. Culminación de sobrelevación de la presa. Año 1985. (Intranet – EDELCA 2009).

El Canal 2 del Aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar, fue reparado por última vez en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2001, sin embargo el Canal 1 fue reparado por última vez en el año 1997 y el Canal 3 durante los años 1992 y 1993.

Entre las referencias bibliográficas encontradas, se pueden citar las siguientes:

Hernández, M.(2002). **“Diagnostico, evaluación y Solución de los daños al concreto derivados del funcionamiento del aliviadero en la Central Hidroeléctrica Raúl Leoni (Guri) Edo. Bolívar.** Este proyecto consistió principalmente en determinar las causas de erosión de las superficies cuando éstas están expuestas a flujos de altas velocidades. En el mismo se puede observar a demás los métodos constructivos, materiales y la maquinaria empleada a fin de evitar que aparezcan nuevos daños en la estructura hidráulica, lo que contribuirá por consiguiente en el funcionamiento no óptimo del aliviadero que forma parte de la represa.

Lanz, C. (2001). **“Inspección en la construcción de la plataforma de concreto para lanzamiento de compuerta flotante y mejoras a la superficie del concreto de los canales del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Raúl Leoni”.** Este informe de pasantías se basó básicamente en la inspección y observación de los diferentes métodos y procesos constructivos de los trabajos que se realizaron. Así como también revisar las especificaciones del contrato y pruebas del concreto usado.

Vitetta, F. (2000). **“Diseño de una técnica de adherencia entre los concretos utilizados para reparaciones del aliviadero de la presa Raúl Leoni Guri – Estado Bolívar”.** Este estudio se basó fundamentalmente en describir las técnicas utilizadas

en reparaciones de erosiones superficiales. Además de determinarse el diseño de mezcla que más se adapta a las necesidades del problema.

Cabe destacar que estas investigaciones se llevaron a cabo cuando aún se mantenía el nombre de la presa y que hoy en día es llamada Central Hidroeléctrica Simón Bolívar según Decreto Presidencial N° 4.412 firmado el 31 de marzo del año 2006.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Central hidroeléctrica**

Una central hidroeléctrica es aquella que genera electricidad a partir del uso del agua como fuerza motriz. Para ello, utiliza cuatro elementos fundamentales: agua, caída, turbina y generador. Primero se reúnen las aguas disponibles (lagunas, ríos, lagos), se conducen a un embalse y se ubica la altura que proporciona la caída. Las aguas son conducidas por una tubería de presión, de acero muy resistente y de un diámetro adecuado, por toda la presa. Luego, el agua es inyectada a las turbinas que son del tipo Pelton o Francis. Con la fuerza que provee la caída del agua, las turbinas empiezan a girar y hacen girar, a través de ejes, a los generadores. En los generadores es donde se produce la electricidad, (es.wikipedia.org, 2009).

La electricidad generada pasa por los transformadores y se conduce al exterior de la central hacia una estación de salida donde se hallan los interruptores que se conectan a las líneas de transmisión. Estas son las encargadas de llevar la electricidad a las ciudades a través de los cables y las torres de alta tensión. (Figura 3.4).

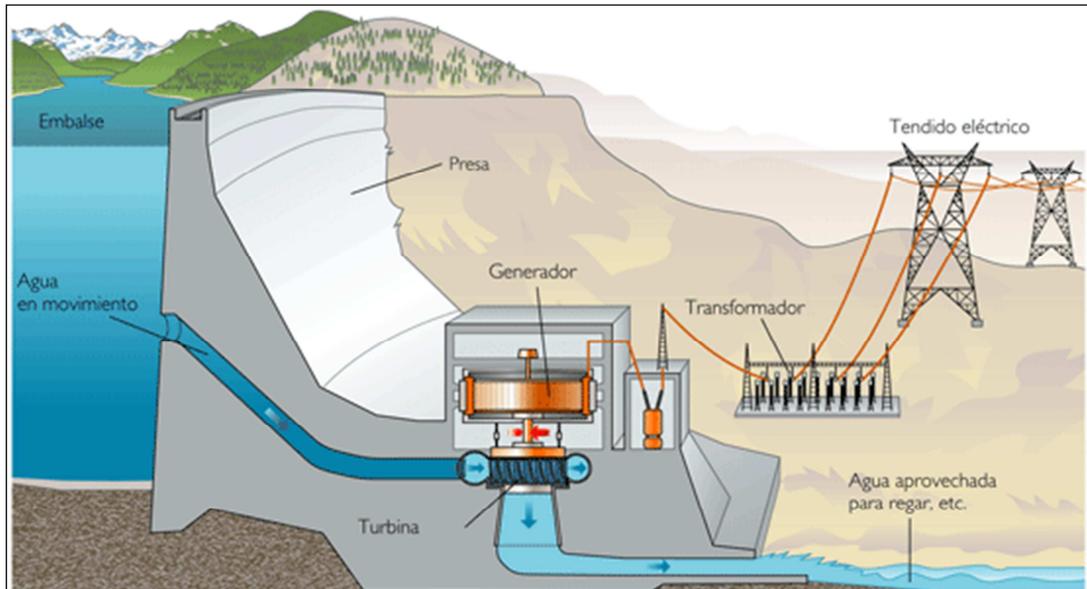


Figura. 3.4. Esquema general de una central hidroeléctrica. (es.wikipedia.org, 2009).

### 3.2.2 Partes de una central hidroeléctrica

3.2.2.1 Presas: son estructuras hidráulicas construidas a través de una corriente para facilitar el almacenamiento de agua y/o desviarla, para su posterior aprovechamiento o para proteger una zona de sus efectos dañinos. Usualmente, las presas se construyen a través de los valles por donde corren los ríos y el área por ellas ocupada recibe el nombre de sitio de presa. (Bolinaga, 1999, p. 145).

Aunque habitualmente se las relaciona con la generación de energía hidroeléctrica, las presas permiten controlar y disponer de agua para variedad de fines como: consumo humano, consumo industrial, riego, control de crecidas, navegación, protección de márgenes, generación eléctrica, piscicultura, contención de aluviones, turismo, esparcimiento y recreación. La razón de ser de las presas está fundada en la condición de que el agua que retienen se utilice con dos finalidades alternativas o simultáneas: 1) Elevar su nivel para poder conducirla; 2) Formar un depósito que

retenga los excedentes hídricos, para poder compensar luego los períodos de escasez, o para amortiguar las crecidas.

Las presas pueden clasificarse de acuerdo al tipo de material utilizado en su construcción en: presas de concreto (en estas están: de gravedad, de arco y de contrafuerte), presas de enrocado, presas de tierra y presas mixtas. Existe otra clasificación según su altura, catalogándolas como bajas, medianas y altas. Las presas bajas son aquellas cuya altura sobre la fundación no supera los 30 metros, las medianas son las que están comprendidas entre 30 y 100 metros y las altas, las que superan los 100 metros. Esta clasificación tiene una finalidad estadística a nivel mundial. Aquí se muestra la siguiente clasificación:

- Presas de gravedad: son estructuras de hormigón de sección triangular; la base es ancha y se va estrechando hacia la parte superior; la cara que da al embalse es prácticamente vertical. Vistas desde arriba son rectas o de curva suave. La estabilidad de estas presas radica en su propio peso. Es el tipo de construcción más duradero y el que requiere menor mantenimiento. (Bolinaga, 1999, p. 145). (Figura 3.5).

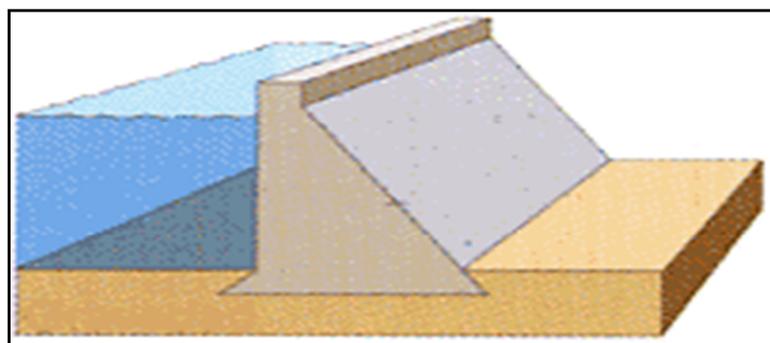


Figura 3.5 Presa de gravedad. (es.wikipedia.org, 2009).

- Presa de arco: son presas construidas de concreto que muestran en planta o en perfil un alineamiento curvo, cóncavo hacia aguas arriba visto desde aguas abajo. En

ellas, la mayor parte de las fuerzas actuantes son transmitidas mediante el efecto de arco a las paredes del sitio de presa (estribos), siendo el resto de ellas soportadas, en forma similar a las de gravedad. Las presas en arco poseen diferentes formas dependiendo de las variantes introducidas, tanto en planta como en perfil, en los elementos geométricos que las conforman. (Bolinaga, 1999, p. 145) (Figura 3.6).

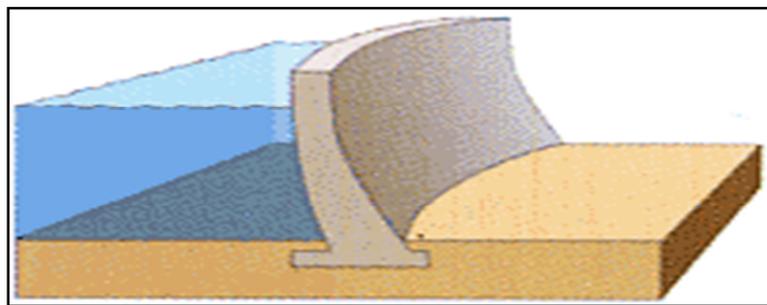


Figura. 3.6 Presa de arco. (es.wikipedia.org, 2009).

- Presa de contrafuerte: las presas de contrafuertes tienen una pared que soporta el agua y una serie de contrafuertes o pilares, de forma triangular, que sujetan la pared y transmiten la carga del agua a la base. Estas presas precisan de un 35 a un 50% del hormigón que necesitaría una de gravedad de tamaño similar. Hay varios tipos de presa de contrafuertes, como se muestra en la figura 3.7; y los más comunes son de planchas uniformes y de bóvedas múltiples. (Bolinaga, 1999, p. 145).

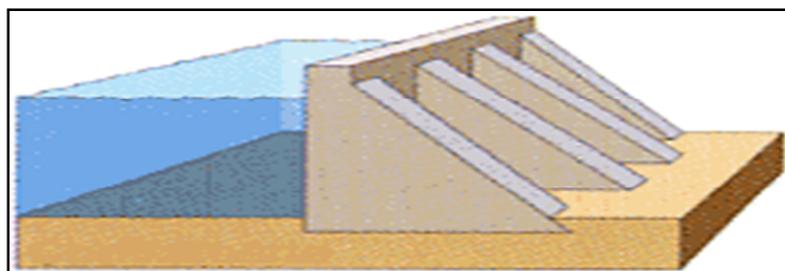


Figura 3.7 Presa de contrafuerte. (es.wikipedia.org, 2009).

- Presas de enrocado: están constituidas básicamente por fragmentos de roca. El elemento impermeabilizante está conformado, generalmente, por una membrana apoyada sobre el talud aguas arriba, la cual puede estar construida de diferentes materiales, o también, por una pantalla vertical ubicada en el centro de la presa; existe también la variante con un núcleo impermeable. Las fuerzas actuantes son soportadas por gravedad. Estas presas se construyen con ejes rectos, aunque algunas veces se introducen curvaturas a fin de adaptarse mejor a la topografía del sitio. (Bolinaga, 1999, p. 145). (Figura 3.8).

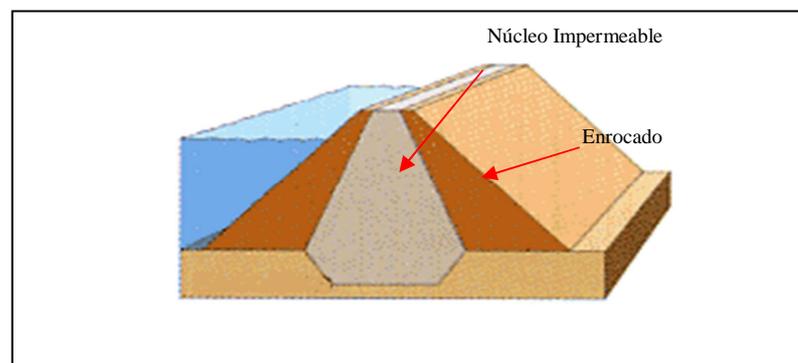


Figura. 3.8 Presa de enrocado. (es.wikipedia.org, 2009).

- Presas de tierra: son aquellas en cuya sección predominan los siguientes materiales: arcillas, limos, arenas y gravas, colocados y compactados mediante equipos convencionales de movimiento de tierra o bien como rellenos hidráulicos. Las presas de tierra se adaptan bien a cualquier tipo de alineamiento. Dentro de este tipo de presa se han incluido aquellas en cuya sección predominan zonas de enrocado compactado, pero cuyo elemento impermeabilizante está conformado por un núcleo construido a base de suelos impermeables. Esta clasificación obedece a la similitud que desde el punto de vista de diseño y comportamiento tienen estas presas con las presas de tierra que poseen espaldones de gravas. (Bolinaga, 1999, p. 145). (Figura 3.9).

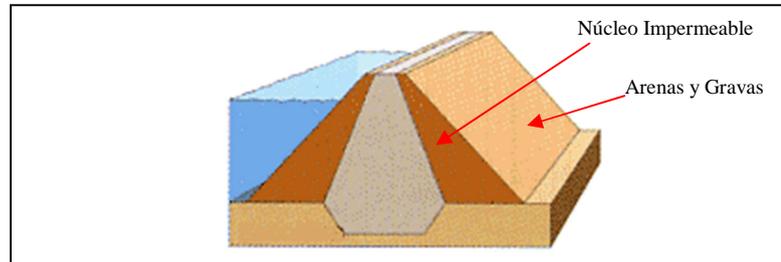


Figura 3.9 Presa de tierra. (es.wikipedia.org, 2009).

- Presas mixtas: existen presas de tipo mixto, es decir, que en toda su longitud tienen, por ejemplo, un tramo de tierra y otro de concreto por gravedad. En estos casos, cada tramo se diseña de acuerdo con el tipo correspondiente, prestando especial cuidado a las superficies de contacto. Un ejemplo es la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. (Bolinaga, 1999, p. 145). (Figura 3.10).



Figura 3.10. Presa de Guri. (Intranet - EDELCA 2009).

3.2.2.2 Casa de máquinas: es la construcción en donde se ubican las máquinas (turbinas, alternadores, etc.) y los elementos de regulación y comando. Es decir, es la edificación donde están ubicados las unidades generadoras y sus equipos auxiliares. La central hidroeléctrica de Guri consta de dos casa de maquinas cada una con 10 unidades generadoras.

3.2.2.3 Tomas de agua: son construcciones adecuadas que permiten recoger el líquido para llevarlo hasta las máquinas por medios de canales o tuberías. Las tomas de agua de las que parten varios conductos hacia las tuberías, se hallan en la pared anterior de la presa que entra en contacto con el agua embalsada. Estas tomas además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a los alabes y producir desperfectos.

3.2.2.4 Embalse: el embalse no es más que el lago artificial donde se almacena agua. El embalse de Guri cubre una longitud de 3919 km<sup>2</sup> y el volumen de agua embalsada es de 111.104x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> y tiene en sus niveles de operación en máximo de 271,60 msnm, normal de 271,00 msnm y en mínimo de 240,00 msnm. (Figura 3.11).



Figura 3.11. Embalse de Guri vista desde aguas arriba (Guri 2009).

3.2.2.5 Aliviadero: son elementos vitales de la presa que tienen como función liberar parte del agua destinada sin que esta pase por la sala de máquinas. Se encuentran en la pared principal de la presa y pueden ser de fondo o de superficie. Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra a pie de presa, llamada de amortiguación.

Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas, de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación.

### **3.2.3 Tipos de aliviaderos**

No existe una clasificación estricta para determinar el tipo de aliviadero sino que depende del criterio que se escoja. La clasificación más utilizada es según el tipo de estructura de control, obteniendo los siguientes tipos de aliviaderos:

3.2.3.1 Tipo lámina vertiente: la estructura de control tiene la forma de la lámina inferior del chorro proveniente de un vertedero de pared delgada; este tipo de control con o sin compuertas es el más utilizado por sus beneficios tanto del tipo hidráulico como estructural. La cresta es recta o con una curvatura muy pequeña, es el tipo más utilizado por lo que existe un alto grado de seguridad en el diseño, por su acumulada experiencia; se ajusta muy bien sin depender del tipo de conducción bien sea abierta o cerrada. (Figuras. 3.12 y 3.13).

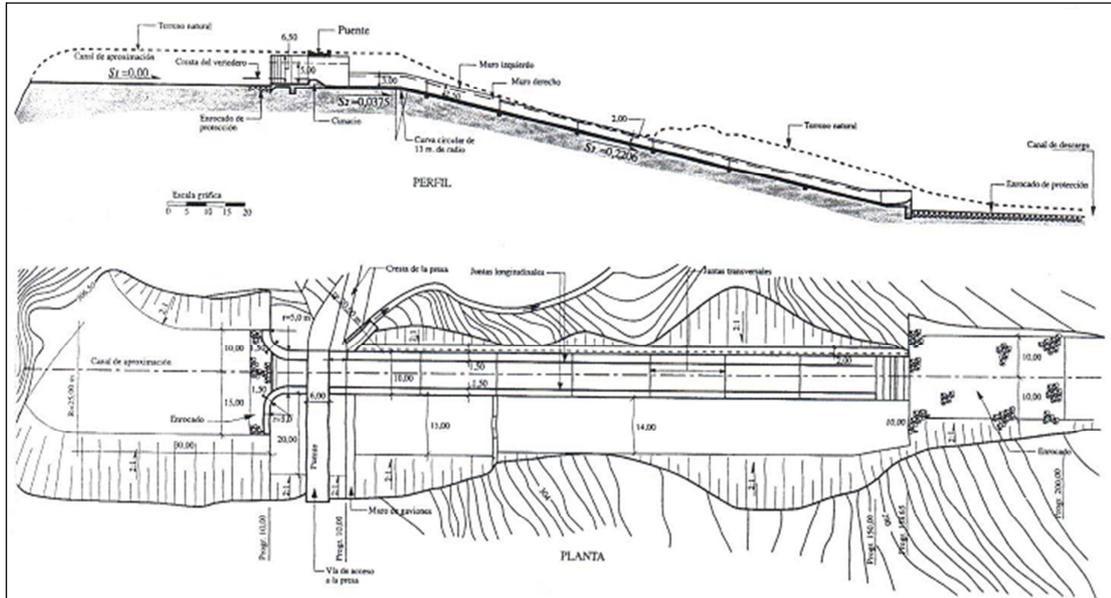


Figura. 3.12. Aliviadero de lámina vertiente – Embalse El Pedregal, Estado Falcón.(Bolinaga, 1999).

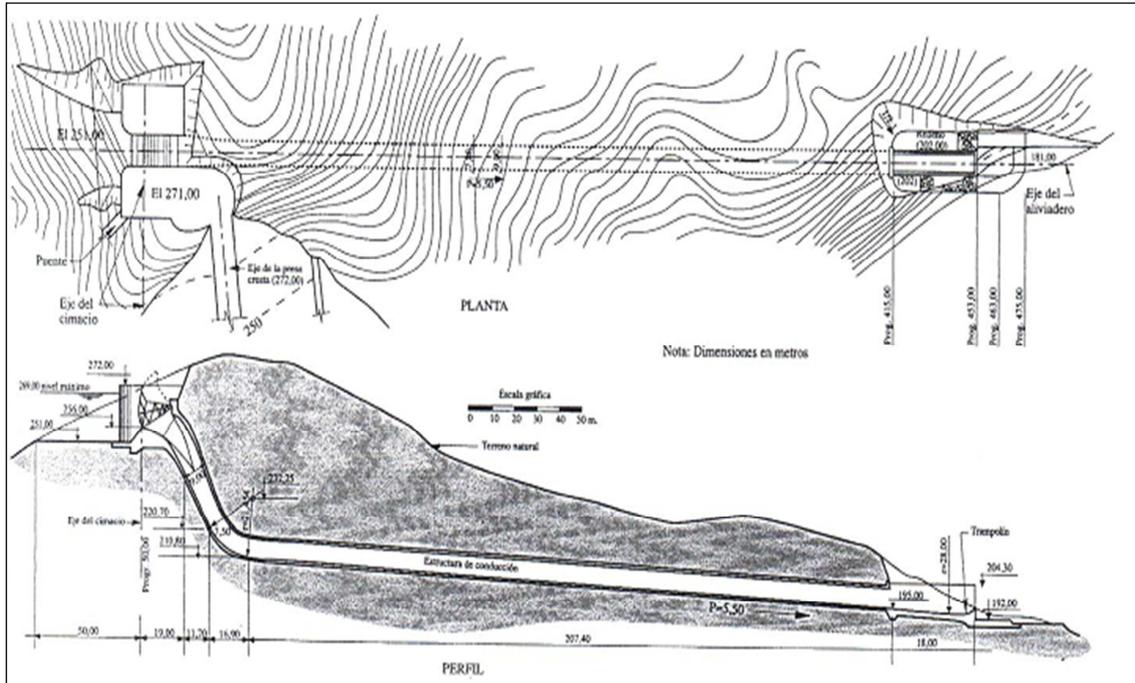


Figura 3.13. Aliviadero de lámina vertiente con compuertas y conducto cerrado – Proyecto del Embalse Boconó- Estados Portuguesa y Barinas. (Bolinaga, 1999).

3.2.3.2 Tipo caída libre: la estructura de control es un vertedero de pared angosta o ancha. El agua luego de pasar por la cresta cae hasta el río, sin pasar previamente por una estructura de conducción. Este tipo de aliviadero se emplea para pocas alturas de agua y en los casos donde el río receptor este constituido por roca sana.

3.2.3.3 Tipo alcantarilla: como su nombre lo indica, consiste en un conducto cerrado que cruza el cuerpo o un estribo de la presa; puede utilizarse con compuertas. Se utiliza en presas pequeñas o en aquellas algo mayores cuya finalidad es el control de crecidas.

3.2.3.4 Tipo abanico: es una modificación del tipo lámina vertiente; muy ventajoso cuando no hay disponible mucho espacio ya que este tipo de aliviadero tiene mayor longitud de cresta. En planta tiene forma de abanico. (Figura 3.14).

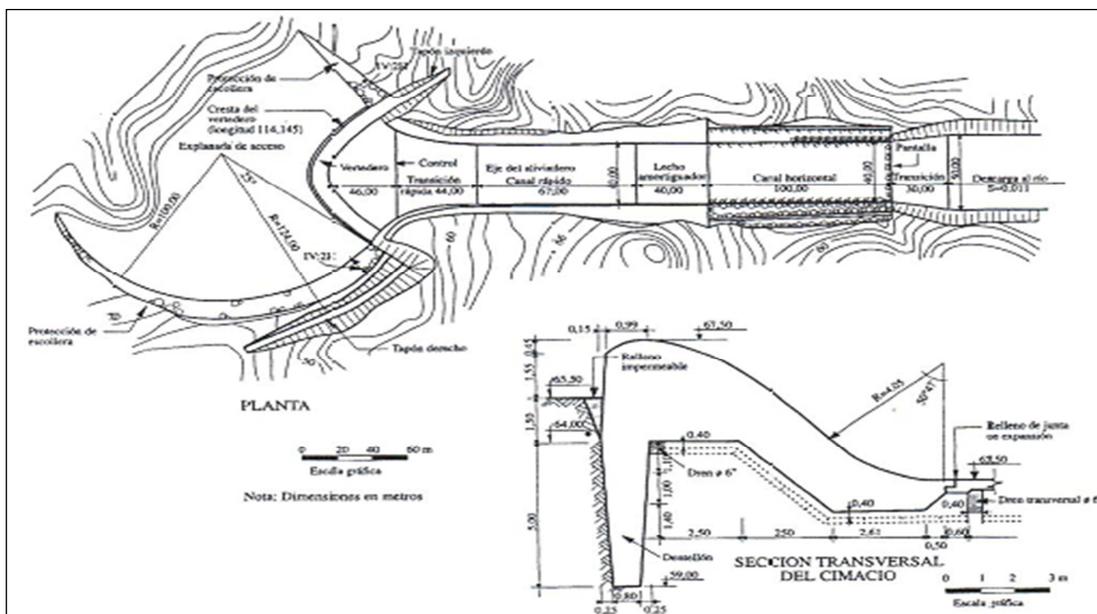


Figura 3.14. Aliviadero de abanico. Presa Pueblo Viejo, Estado Zulia, Venezuela. (Bolinaga, 1999).

3.2.3.5 Tipo canal lateral: el agua del embalse penetra al aliviadero a través de un vertedero de lámina vertical, cayendo a un canal situado aproximadamente paralelo a su cresta y el agua cruza a un ángulo de  $90^\circ$ , lo que lo hace ineficiente hidráulicamente. Pueden utilizarse compuertas sin problemas. Este tipo de aliviaderos se adapta muy bien a cualquier estructura de conducción y su mayor utilidad está en aquellas situaciones donde no hay espacio para colocar un aliviadero frontal. (Figura 3.15).

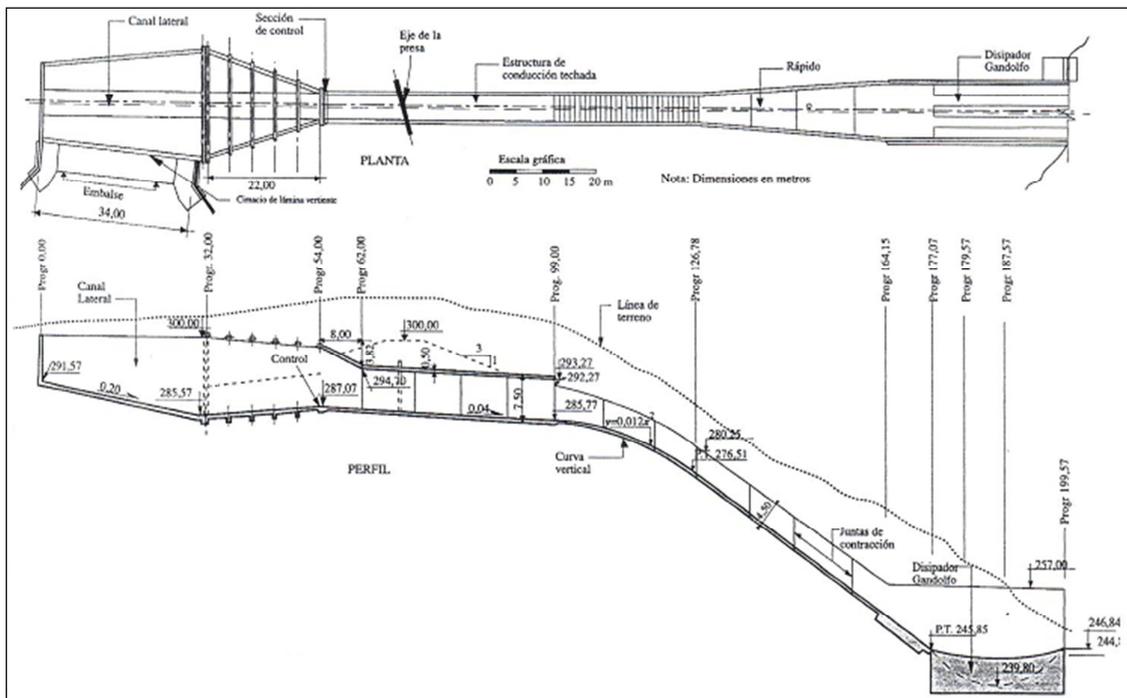


Figura 3.15. Aliviadero con canal lateral. Presa Rafael Vegas, río Clavellinos Estado Sucre, Venezuela. (Bolinaga, 1999).

3.2.3.6 Tipo orificio: este tipo se encuentra generalmente ubicado en el fondo de la presa y por ello, son también conocidos como descargas de fondo; su capacidad de descarga representa toda o una proporción sustancial de la capacidad de carga total.

3.2.3.7 Tipo embudo: Llamados también "Morning Glory", en estos aliviaderos el agua se aproxima de forma radial y aproximadamente horizontal, se utiliza cuando por problemas de espacio no se puede colocar otro aliviadero ya que hidráulicamente no es muy eficiente. En la figura 3.16 se observa la planta y el perfil de este tipo de aliviadero.

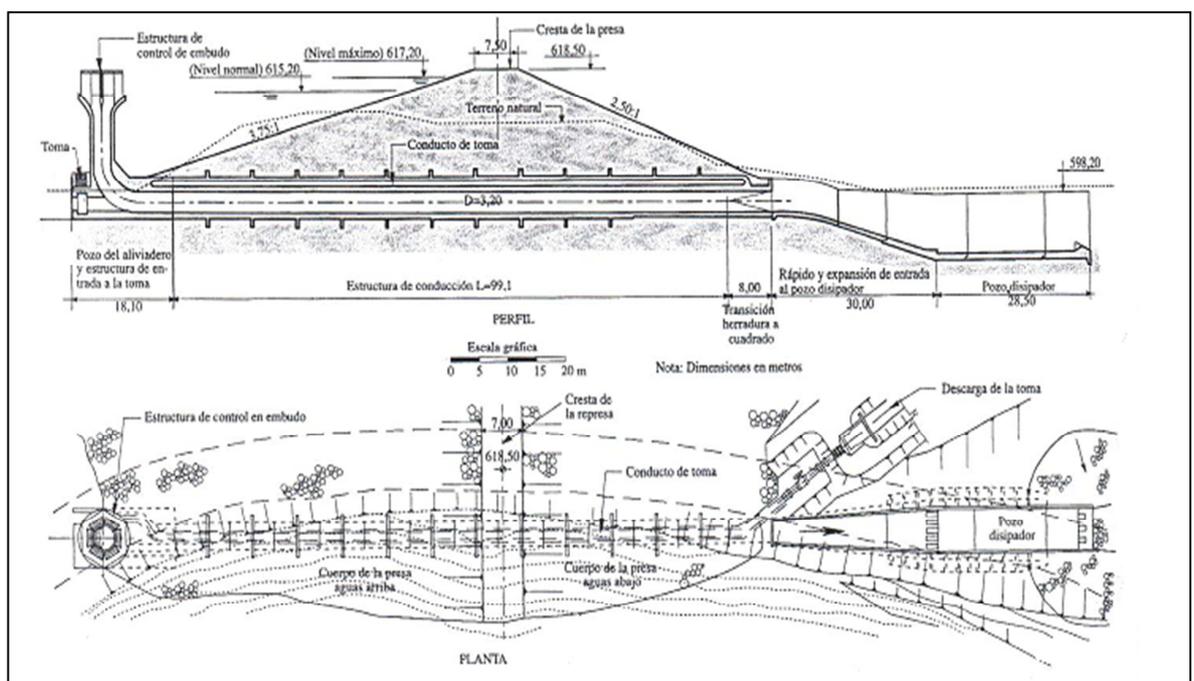


Figura 3.16. Aliviadero de embudo con toma adosada. Presa Cabayu, Estado Yaracuy, Venezuela. (Bolinaga, 1999).

3.2.3.8 Tipo sifón: este tipo hace uso del llamado efecto sifón, es decir, el agua no supera el punto alto del conducto sino cuando adquiere una carga suficiente (gastos). Este punto alto, denominado garganta, es el control y se coloca de manera que su elevación coincida con el nivel normal. Para cargas bajas el aliviadero funciona como uno de lámina vertiente. Tiene problemas con el almacenamiento de basura y la acumulación de aire en el conducto, necesitando una ventilación apropiada. Este tipo de aliviadero no se ha utilizado hasta los momentos en Venezuela, siendo recomendado solo para gastos muy pequeño.

3.2.3.9 Tipo rápido disipador: esta es otra modificación del tipo lámina vertiente, consistiendo en tener el rápido y el disipador juntos, esto se logra colocando unos tacos de impacto en el rápido. El agua al chocar con los tacos disipa la energía. Se usa generalmente en presas bajas.

### **3.2.4 Componentes de un aliviadero**

Dependiendo del tipo de aliviadero los componentes del mismo varían, siendo los de un aliviadero típico los siguientes: canal de aproximación, estructura de control, estructura de conducción, estructura de disipación y el canal de descarga (Figura 3.17).

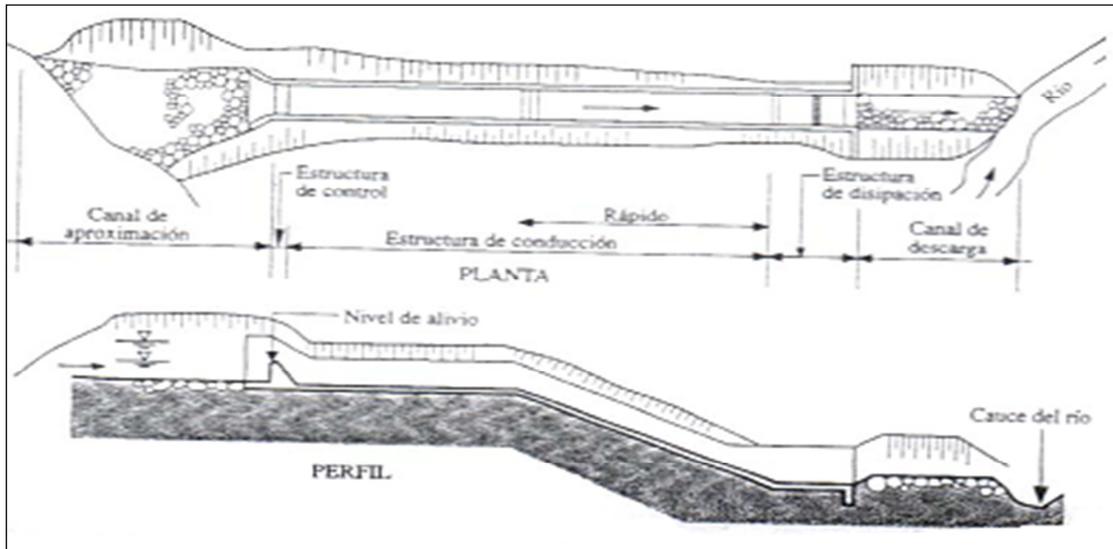


Fig. 3.17. Componentes de un aliviadero típico. (Bolinaga, 1999).

3.2.4.1 Canal de aproximación: se encuentra principalmente en los aliviaderos que son independientes a la presa y que no están al borde del embalse, para comunicar el aliviadero con el embalse mediante un canal. Su longitud varía dependiendo de diferentes factores, entre los que se encuentra el económico siendo el primordial.

3.2.4.2 Estructura de control: la función fundamental es definir la curva de gastos, que es la relación entre las alturas de agua en el embalse y los gastos del aliviadero, es decir controla las aguas. Normalmente existen con alivio libre o con alivio regulado por compuertas como es el caso de las centrales del bajo Caroní (Guri, Tocoma, Caruachi, Macagua).

3.2.4.3 Estructura de conducción: tiene como finalidad conducir el agua que se encuentra en los niveles superiores del embalse desde la estructura de control hasta el río donde llegarán las aguas aliviadas del embalse. Esta conducción puede ser a través de conductos cerrados o en canales a cielo abierto formado generalmente de dos canales, uno de poca inclinación y otro de mucha pendiente llamado rápido.

3.2.4.4 Canal de descarga: cuando la estructura de disipación se encuentra alejada del receptor final es necesario colocar un canal de conexión, es importante señalar que las velocidades del agua no causen erosión en el canal ni socavación indeseable en el río receptor.

3.2.4.5 Estructura de disipación: existen varias formas de disipar la energía cinética generada por el agua; esto se hace para evitar la destrucción de las obras, debido a la erosión y socavación que ejecuta el agua al chocar con el material de fondo. El dissipador además de controlar la erosión y socavación debe evitar la cavitación, vibraciones y abrasión. Entre los dissipadores más utilizados se encuentran:

- Trampolines: también denominados dissipadores de lanzamiento, de choro o de salto en ski. Su principio fundamental es lanzar, mediante un trampolín, el agua que proviene del rápido o de un conducto cerrado, de forma tal, que el chorro caiga en una zona resistente (roca), o lo suficientemente alejado de las obras para no ponerlas en peligro. El diseño de este tipo de dissipadores requiere la determinación de la geometría del chorro.

- Pozos amortiguadores: son dissipadores diseñados de forma que induzcan la creación del resalto hidráulico. Generalmente son de concreto y de sección rectangular; cualquier otra sección genera inestabilidad en el resalto.

- Disipadores de impacto: son aquellos donde la disipación de energía ocurre por el choque del agua con un obstáculo, generalmente tacos

- Disipación mediante válvulas: para aliviaderos a presión pequeños que no es un caso usual, pueden utilizarse disipadores del tipo válvulas de cono fijo o cualquiera similar.

### **3.2.5 Fenómenos que afectan el concreto y el funcionamiento de los aliviaderos**

3.2.5.1 Vibraciones: las vibraciones de las estructuras pueden estar asociadas con alguna inestabilidad del flujo y fluctuaciones en la presión. Mediante el estudio de las vibraciones de estructuras hidráulicas, se puede observar la interacción entre el fluido y el comportamiento de la estructura. Las razones por las cuales el conocimiento del comportamiento dinámico de las estructuras hidráulicas es importante son:

1° Las vibraciones pueden dañar la construcción, el medio ambiente adyacente a la obra y causar ruidos inaceptables. Un amplio conocimiento de las causas que originan la vibración puede prevenir un error en el diseño o al menos indicar cuales aspectos necesitan especial atención en el diseño.

2° Algunas estructuras son difíciles de modificar cuando la vibración acontece. En extremas condiciones no es segura que la vibración pueda ser detectada a tiempo.

3.2.5.2 Sedimentos: un problema que puede presentarse en la hidráulica de los aliviaderos es la distribución de sedimentos, ya que el sedimento no necesariamente se deposita en el fondo del embalse, sino que se distribuye a todos los niveles comprendidos dentro del vaso de almacenamiento, de acuerdo al proceso de sedimentación

En el canal de aproximación al aliviadero, el caudal está caracterizado por velocidades bajas y por la ausencia de turbulencia, por las dimensiones y perímetros del canal. De esta manera las partículas caen al fondo de la estructura de aproximación y se consideran sedimentadas, ocasionando aumento en los niveles aguas arriba, afectando el diseño de la cresta del aliviadero, y alterando la curva de descarga. Este problema debe ser reducido al mínimo, tomando en cuenta la sedimentación, en el diseño de la cresta y del canal de aproximación del flujo o mediante un apropiado método de limpieza.

3.2.5.3 Abrasión: el riesgo de abrasión debido al rozamiento de los sedimentos suspendidos en el agua, es inevitable e implica un mantenimiento en cuanto a la reparación periódica de la superficie del aliviadero. La suspensión de sedimentos en el flujo es peligrosa en la medida que según la naturaleza del sedimento, exista una proporción significativa de partículas duras de finos. La turbulencia del flujo tiende a agravar la abrasión. El uso de concretos y recubrimientos especiales desarrollados actualmente disminuyen un poco el efecto abrasivo, pero no exime completamente al aliviadero de esta situación.

3.2.5.4 Socavación: la socavación al pie del vertedero por altas velocidades aguas abajo del mismo, como consecuencia de la caída debe ser llevada a su valor mínimo mediante la disipación de energía de carga cinética.

3.2.5.5 Cavitación: este fenómeno consiste en la creación de burbujas de vapor de agua en aquellos puntos del cuerpo del flujo donde la presión es igual o menor que la de vaporización. Una vez creadas las burbujas son arrastradas por la corriente del fluido, ingresando posteriormente a zonas de mayor presión donde sufren una implosión (se aplastan). Si la burbuja está en contacto con la superficie de concreto genera una fuerte presión puntual en la misma, y como consecuencia de esta repetida presión puntual queda una picadura en la pared o contorno. Miles de burbujas siguen el mismo proceso, creando picaduras que terminan por destruir el material de contorno.

Los experimentos indican que la velocidad de flujo y las concentraciones de aire tienen singular importancia en el efecto de la cavitación. La experiencia mundial ha demostrado que la superficie de los aliviaderos que presentan un mal acabado o cualquier deformación local o una geometría impropia, frecuentemente han sufrido daños por cavitación. Los causantes básicos del fenómeno de cavitación en aliviaderos son: curvatura o deflexión del flujo, ocurrencia de flujos cortantes o vórtices, rugosidad de la superficie.

### **3.2.6 Método de reparación**

3.2.6.1 Proceso de Shotcrete (Concreto Proyectado): se denomina concreto proyectado, lanzado, shotcrete, gunita o torcreto, a un concreto que se dispara a través de una boquilla por medio de aire a presión; al chocar sobre una superficie, la cubre y se adhiere a ella. Es un material muy versátil, puede ser aplicado en protección de taludes y paredes de túneles, fabricación de tubos, tanques y elementos estructurales de formas complejas, reparaciones y otras.

En la mayoría de los casos, el shotcrete puede ser utilizado en lugar del concreto convencional, la selección se basará en la conveniencia y en el costo. Este método ofrece ventajas sobre el concreto convencional en una variedad de nueva construcción y trabajos de reparación. Si es aplicado correctamente, es un material estructural versátil, que posee gran durabilidad y una excelente adhesión con el concreto, mampostería, acero y otros materiales. Estas propiedades favorables dependen de una correcta planeación y supervisión y de la habilidad y atención continua del equipo de concreto proyectado.

Este concreto puede ser colocado por un proceso húmedo o seco; la selección varía según los costos de equipos, disponibilidad de agregados, los aspectos de operación, la extensión de la obra, entre otros.

- Proceso en seco: se preparan los materiales en una mezcladora, incluido el aditivo en polvo, si es que se usa; una vez mezclados en seco, se trasladan a un recipiente especial donde, al aplicar aire a presión se movilizan a gran velocidad a través de una manguera hasta el lugar de la proyección. Al llegar a la boquilla, el agua, con los aditivos líquidos si fuese el caso, se incorporan a la mezcla en forma de aerosol. Con esta técnica el Shotcrete puede ser transportado por manguera a grandes distancias y alcanza elevadas resistencias mecánicas y permite un uso casi inmediato.

- Proceso húmedo: el procedimiento es similar al de la vía seca, pero el agua se añade en la mezcladora; en la boquilla sólo se añaden los aditivos líquidos. Este proceso asegura una buena repartición del agua y produce menos polvo y menos rebote del material.

### **3.2.7 Preparación de superficie del concreto para su reparación**

La mayor parte de las reparaciones comprenden la eliminación del concreto que pueda estar deteriorado o dañado; la selección de los diversos métodos para quitarlo queda determinada por la extensión y lugar de la reparación, los aspectos económicos, la seguridad, el efecto sobre el concreto que va a permanecer y el retraso o efecto sobre el uso actual de la estructura.

A la hora de afrontar una rehabilitación, los ingenieros y especialistas en estructuras han de tener en cuenta un factor de vital importancia, que es obtener un elevado grado de cohesión entre el concreto nuevo y el antiguo para que la reparación sea duradera.

En el caso de optar por reparar el hormigón existen varias alternativas. La mas convencional es picarlo manualmente con martillos hidráulicos o neumáticos o bien con martillos sobre maquinaria portadora y este método de reparación, aunque es el mas habitual, también es el menos recomendado ya que los martillos al picar el hormigón causan microfisuras (pequeñas grietas no visibles por el ojo humano) que se propagan a toda la estructura. (Figura 3.18). Así lo que inicialmente iba a ser una reparación, se convierte en un daño mayor, puesto que el hormigón reparado corre el riesgo de desprenderse junto con otra parte de la estructura.

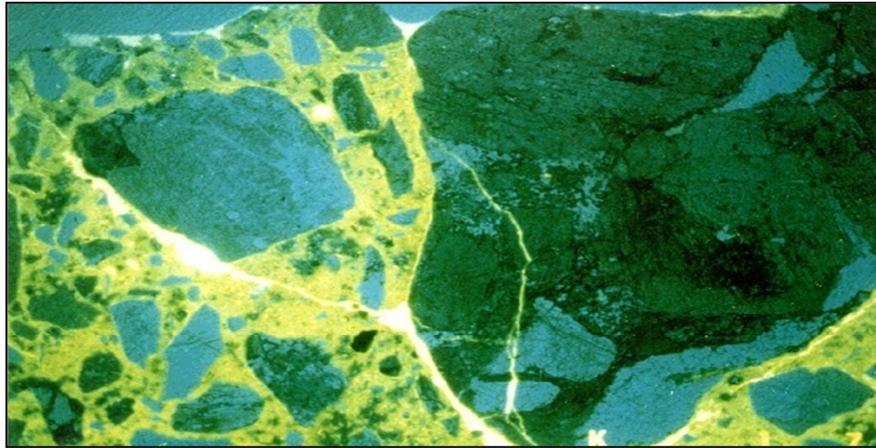


Figura 3.18 Muestra de hormigón con microfisuras  
(www.anzeve.com, 2010).

Otro método de preparación de superficie muy habitual es el uso de fresadoras y escarificadoras; aunque en algunos casos estas máquinas son muy adecuadas (sobre todo cuando se trata de retirar una capa fina de hormigón) hay muchas situaciones en las que su uso no es posible, un ejemplo de ello es cuando hay que dejar la armadura vista o retirar hormigón que esta detrás de la armadura.

Cuando es posible retirar una parte voluminosa o muy definida de hormigón de la estructura, pueden emplearse herramientas de corte y perforación con útiles diamantados. Así se corta y retira el bloque deseado de material que luego se reemplaza por otro. Estos útiles diamantados no producen ningún tipo de daño a la estructura, realizan un trabajo muy preciso, sin vibraciones y tienen un coste razonable. Sin embargo su limitación es que para obtener cohesión con el resto de la estructura es preciso mantener la armadura antigua.

Usando agua a alta presión se puede demoler cualquier tipo de material, incluso hormigón, combinando el caudal de agua adecuado con la presión a la que se proyecta. La gran ventaja de este método llamado hidrodemolición es que permite realizar una demolición selectiva, es decir, retirar el hormigón manteniendo la

armadura sin dañar la estructura ni transmitir vibraciones. Actualmente es muy utilizado este método en gran parte del mundo para preparación de superficies de hormigón.

### 3.2.8 Método de hidrodemolición

La hidrodemolición se basa en la fuerza del agua como medio de extracción. Para ellos se necesitan grandes caudales de agua a presión disparados contra el hormigón. El proceso de extracción comienza con la penetración del agua en la superficie, utilizando como medio de entrada los poros existentes en la estructura; esto genera una presión interna en el material que acaba sobrepasando la resistencia a tracción del hormigón. En este momento se arranca esta capa de hormigón que al encontrarse dañada, tiene una resistencia inferior a la del hormigón en buen estado. Este es básicamente el concepto de extracción selectiva, ya que sólo se extrae el hormigón con menor resistencia.

En la figura 3.19 se puede apreciar con mayor facilidad el proceso. El agua penetra en la superficie y arranca sólo la capa dañada de hormigón, manteniendo el resto de la estructura y el refuerzo intactos.



Figura 3.19 Penetración del agua en el hormigón deteriorado.  
(www.anzeve.com, 2010).

Una vez retirado el hormigón, aparece una superficie rugosa de hormigón en buen estado, esta superficie debe ser limpiada y preparada antes de verter el nuevo hormigón, que tendrá una muy buena adherencia con el que permanece. Debe retirarse la capa de escombros, que consiste en pequeños trozos de hormigón desprendido (pueden utilizarse aspiradores de sólidos o incluso se puede retirar manualmente), y después debe limpiarse con agua sin alta presión para asegurar que el hormigón que queda está bien adherido y preparado para la adición del nuevo.

La hidrodemolición, puede dividirse en dos métodos basados en el mismo concepto. La hidrodemolición manual, utiliza lanzas conectadas a máquinas de alta presión (2500bar), para extraer el hormigón; y el Robotizado, que utiliza máquinas robotizadas con sistema de control permanente

3.2.8.1 Método manual: este método está especialmente indicado para volúmenes reducidos de trabajo o para aplicaciones específicas o puntuales, como puede ser la limpieza de tubos, etc.

En la figura 3.20 se puede observar los componentes básicos para la demolición manual. En primer lugar aparece el operario realizando la extracción con lanza, equipado con traje de seguridad, y en la otra imagen se puede contemplar la máquina empleada para realizar el trabajo. Se trata de una bomba de 2500 bar de presión con todo el conjunto de mangueras necesario.



Figura 3.20. Hidrodemolición manual ([www.hidrofrein.com](http://www.hidrofrein.com), 2010).

Los equipos actuales de hidrodemolición manual abarcan un amplio rango de posibilidades. Existen modelos con presiones que parten desde los 100 bar hasta los 1000 bar que se emplean para tareas de limpieza, y hay otros equipos de mayor presión (2500 bar), con los que es posible realizar ya tareas de hidrodemolición con extracción importante de material. Son máquinas eléctricas o con motor diesel dotadas de lanzas manuales con boquillas de diferentes diámetros para modificar la presión de salida y por tanto el nivel de extracción. Los flujos de agua son también variables, aunque en las máquinas manuales se buscan principalmente altas presiones con flujos bajos para evitar grandes fuerzas de reacción. La hidrodemolición manual permite extracción de material, y aunque el proceso es más lento que con robots, existen aplicaciones en las que resulta más conveniente utilizar ésta, bien sea por la imposibilidad de acceder con una máquina o simplemente porque el volumen de hormigón a extraer es pequeña.

3.2.8.2 Método robotizado: es mucho más rápido y cómodo para el operario, ya que todos los robots actuales cuentan con un sistema de control permanente y manejo a través de control remoto, lo que mejora enormemente la seguridad. En la figura 3.21 se puede observar como con la presencia de un sólo operario se puede realizar el trabajo sin problemas, aunque en ocasiones es mejor disponer de dos personas para posicionar la máquina y controlar las mangueras.



Figura 3.21. Hidrodemolición robotizada (www.hidrofrein.com, 2010).

- Equipos robotizados: la hidrodemolición robotizada es probablemente uno de los métodos más avanzados para la extracción selectiva de hormigón. Los rendimientos son altísimos y el resultado final es ideal para poder reparar las estructuras con el sólo vertido de una nueva capa de hormigón. Normalmente constan de una bomba de alta presión (de hasta 750 Kw), acompañada de un robot con diversas formas y especificaciones, para poder adaptarse a cualquier trabajo. Con estos robots es posible trabajar en cualquier superficie, ya bien sea vertical, horizontal o incluso bajo los tableros de los puentes. (Figura 3.22).



Figura 3.22. Conjunto bomba – robot para hidrodemolición (www.anzeve.com, 2010).

Todos los grupos de potencia están dotados de motor diesel de alta cilindrada (muchos de ellos poseen turbos a la entrada y salida del aire) y constan de sistemas de control electrónico para regular todos los parámetros como son el flujo de agua, las revoluciones, etc. Y de filtros dobles para asegurar que todo el suministro de agua es limpio. Además suelen venir equipados con sistemas de seguridad que van conectados al robot y que detienen la bomba cuando detectan que el robot sufre algún problema. Las potencias y los caudales son variables y su elección dependen del trabajo que se vaya a realizar y de las necesidades del robot.

En la figura 3.23 se representan los puntos de entrada y salida de agua del robot y la máquina.

La toma inicial de agua necesita un caudal importante de entrada, cosa que muchas veces se puede resolver con cubas de agua para asegurar el flujo constante. Además, muchos grupos de potencia vienen equipados con tanques de agua que aseguran el suministro. El agua sale a alta presión de la bomba y desemboca en la cabeza del robot, que conecta con la lanza a través de la que se impulsa contra la superficie.

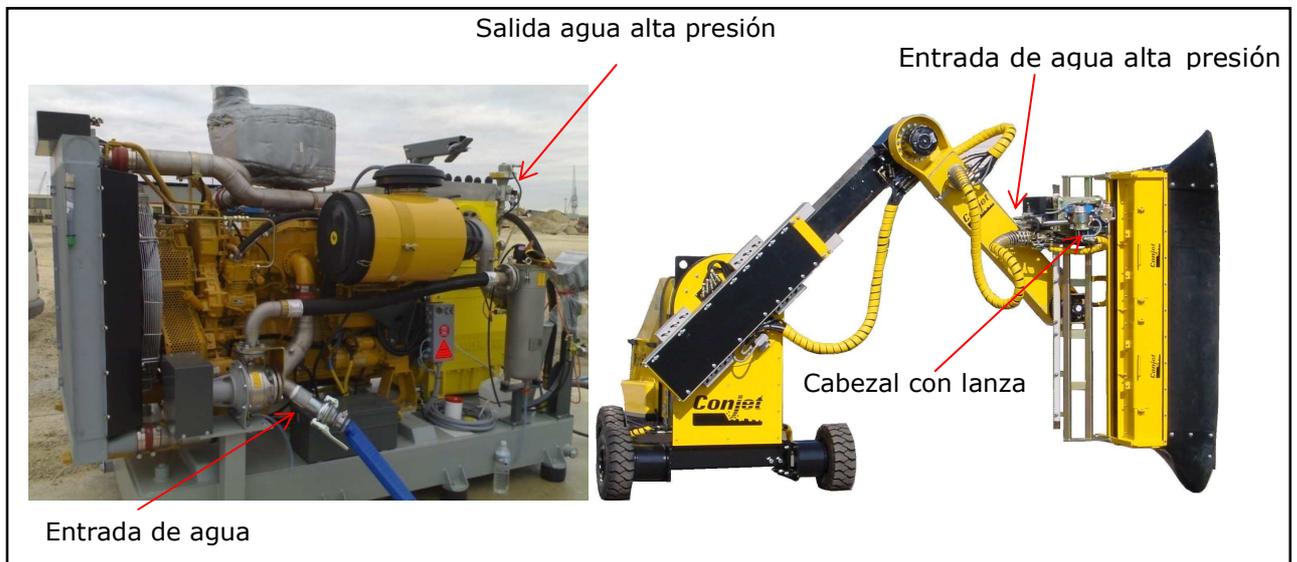


Figura 3.23. Puntos de entrada y salida de agua en bomba y robot.  
([www.hidrofrein.com](http://www.hidrofrein.com), 2010).

En los grupos de potencia de 750 Kw, está destinado al trabajo con robots de alta eficiencia. Se encuentra dentro de un contenedor que reduce de manera importante los niveles de ruido emitidos, y que al mismo tiempo protege a la bomba de las inclemencias meteorológicas. La parte izquierda del contenedor está reservada para la bomba en sí, mientras que a la derecha se encuentra el tanque de agua. (Figura 3.24).

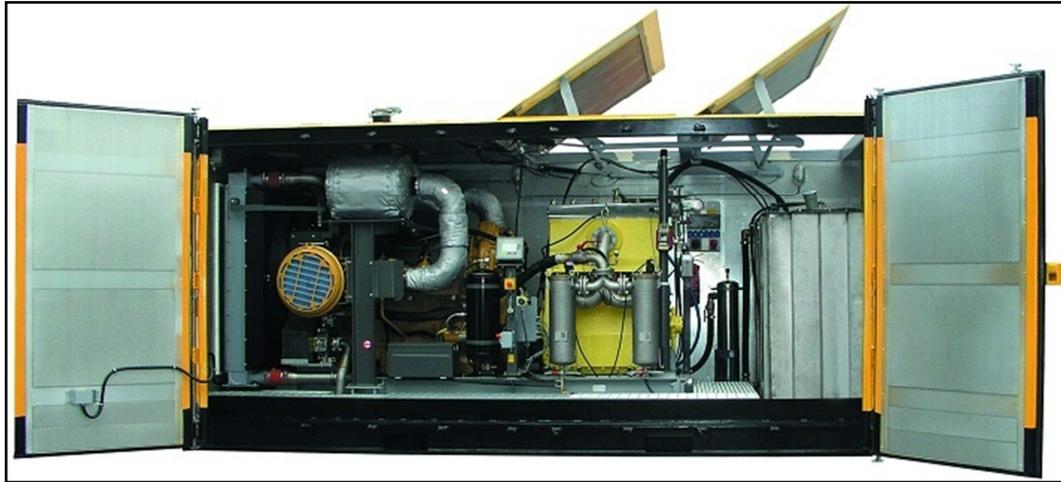


Figura 3.24 Bomba de 750 Kw (www.hidrofrein.com, 2010).

Los sistemas de monitorización están equipados en todas las bombas, y aunque varían de unas a otras siempre permiten cambiar todos los parámetros tanto del motor como del flujo de agua. Los robots de hidrodemolición poseen diversas formas y tamaños, específicas para cada aplicación. Así mismo sus brazos articulados (los que tengan) varían en longitud y grados de libertad para acceder a los diferentes puntos de trabajo.

Las herramientas pueden intercambiarse, y aunque la mayoría de los robots van equipados con lanzas para la extracción, se pueden pedir rotores y otros implementos para escarificación. La profundidad de extracción depende enormemente de las condiciones del hormigón (dureza, vibrado, antigüedad). Mediante el sistema de control del robot podemos modificar una gran cantidad de parámetros: velocidad de avance, número de pasada, pero la profundidad final sólo se podrá saber realizando pruebas en el hormigón previas al inicio del trabajo. Obviamente cuanto más blando sea el hormigón más fácil será su extracción y por tanto el rendimiento será más alto, pero se calcula que para una dureza media y unas condiciones estándar se pueden alcanzar rendimientos de 1,5m<sup>3</sup>/h.

Mediante el panel de control y el mando a distancia se programan y controlan todos los movimientos de la máquina, que permitan adecuar el corte a las características requeridas. Los principales parámetros a modificar son: ángulo de corte, velocidad lineal y de oscilación de la lanza, anchura de corte, velocidad del robot en su desplazamiento. Además de estos parámetros, algunos robots modernos permiten otras posibilidades, como son el corte en dos niveles o alturas.

3.2.8.3 Ventajas del proceso de hidrodemolición: ante el resto de métodos de demolición, la hidrodemolición presenta una gran cantidad de ventajas tanto económicas como de acabado y seguridad para el operario.

- A diferencia de los métodos tradicionales, la hidrodemolición no genera microfisuras en el hormigón ni el despegue de las armaduras del interior de la estructura, proporcionando, además, una superficie rugosa de inmejorable adherencia ante cualquier revestimiento posterior.

- La hidrodemolición puede extraer todo tipo de hormigón, ya sea defectuoso o sano; mediante una configuración de parámetros, puede ser selectiva, eliminando solo el hormigón defectuoso o, también, el hormigón sano.

- Además, el agua no afecta al resto de la estructura, y sólo elimina la capa debilitada sin crear nuevas microfisuras en el hormigón.

- La hidrodemolición es menos agresiva con el medio ambiente y más segura para el operario. Con la hidrodemolición no se genera polvo y el nivel de ruido es mucho menor que con otros métodos.

- Como dato aproximado puede considerarse que un robot extrae la misma cantidad de hormigón que unos 20 operarios con martillos.

- Esta es quizás, la mayor ventaja de este método desde el punto de vista humano, ya que el operario no corre ningún peligro en el caso de hidrodemolición robotizada (en la manual es diferente porque el operario soporta la lanza, pero éstos son siempre trabajos de pequeñas dimensiones). El operario sólo se encarga de posicionar el robot inicialmente y asegurarse de que no hay ningún problema durante el proceso automático. Además se puede situar fuera de la zona de peligro al disponer de un control remoto. Si comparan estas condiciones con las habituales en las que los operarios se encuentran subidos a una máquina soportando las vibraciones o al menos dentro de la zona de peligro, se pueden hacer idea de la ventaja que supone este método.

- Mayor rapidez y nivel de calidad final del trabajo, lo que desemboca en estructuras más duraderas, con el consiguiente beneficio económico.

3.2.8.4 Inconvenientes del proceso de hidrodemolición: si bien es cierto que la hidrodemolición presenta grandes ventajas, no es menos cierto que también aparecen ciertas limitaciones como son la necesidad de un suministro continuo de agua, lo que puede resultar un problema en algunas zonas, y que además esta agua sea limpia, sin residuos ni salinidad (no se puede utilizar agua de mar), porque sino la bomba y la propia máquina sufrirán daños de importancia.

Otro inconveniente es la necesidad de situar la bomba en lugares cercanos al robot (obviamente si hablamos de hidrodemolición robotizada), ya que en ocasiones es necesario disponer de largas mangueras para permitir que el agua llegue de uno a

otro. Este problema se agrava en túneles y lugares semejantes donde no se puede introducir la bomba.

3.2.8.5 Hidrodemolición frente a métodos tradicionales de reparación: la hidrodemolición es uno de los métodos de reparación más avanzados y con mejores resultados finales de cohesión. Frente a otros métodos, presenta importantes ventajas en cuanto a rapidez, limpieza, coste y seguridad

En la figura 3.25 se representan las diferencias claras que existen entre la extracción con agua y con martillo (la más extendida actualmente). En ella se resumen gráficamente todas las ventajas que hemos comentado con anterioridad.

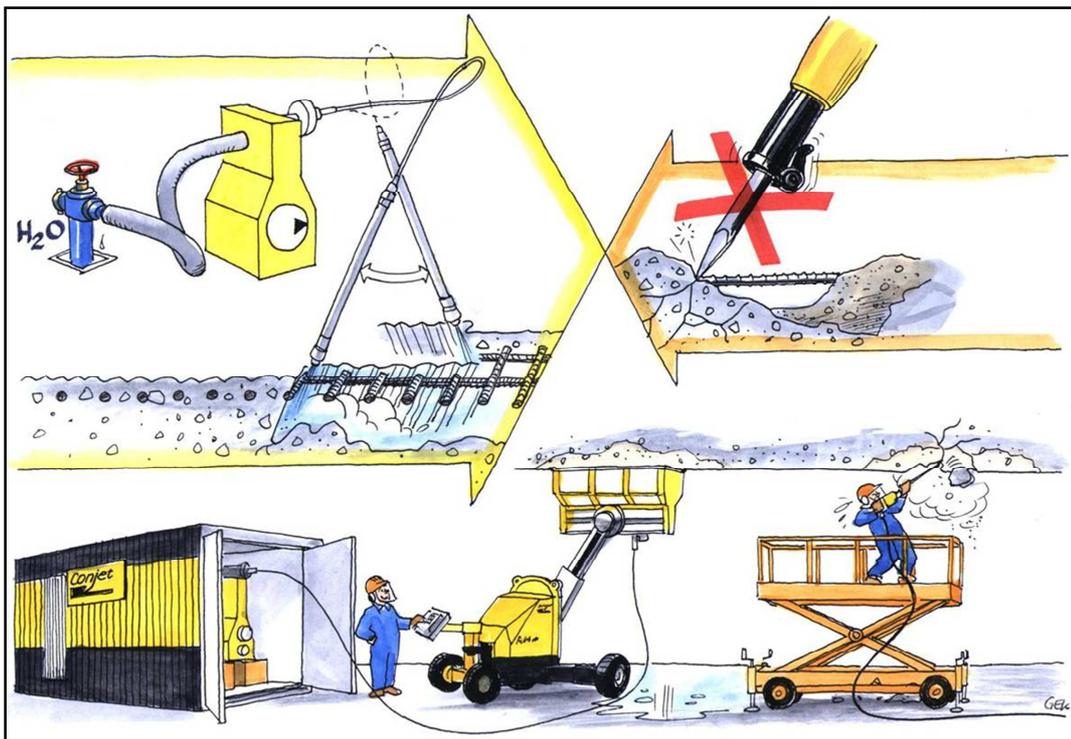


Figura 3.25. Hidrodemolición Vs. Martillo (www.anzeve.com, 2010).

La utilización de martillos es el método más frecuente de trabajo en hormigón (manuales o sobre maquinaria). Estos dañan la armadura dejándola inservible en muchas ocasiones, además de transmitir vibraciones (porque la extracción no es selectiva) que pueden desembocar en nuevas fisuras estructurales en el hormigón colindante. Es un trabajo muy sucio y lento que puede resultar peligroso para el operario. Además, pese a que a primera vista parece un método menos costoso económicamente, posee un elevado coste de mano de obra.

Mala cohesión entre hormigón nuevo y antiguo y por tanto menor resistencia al desgaste. Por último, es muy importante resaltar que el resultado final es bastante malo en ocasiones, provocando que las estructuras reparadas tengan menor durabilidad. Frente a escarificadores y fresadoras, presenta la ventaja de poder profundizar por debajo de la armadura, cosa imposible con estos métodos. El empleo de útiles diamantados es igual de limpio y respetuoso con la estructura, sin embargo presentan limitaciones, ya que para mantener la cohesión se debe mantener la armadura.

3.2.8.6 Prevención de riesgos laborales: este es un factor muy importante a tener en cuenta con cualquier método de demolición. La hidrodemolición necesita de medidas diferentes en función de que sea manual o robotizada. En ambos casos y como premisa fundamental, es necesario que el operario este cualificado e instruido para realizar las operaciones requeridas.

El agua, a diferencia de lo que puede parecer, puede resultar un elemento peligroso cuando la presión es tan alta como en este caso, por lo que es fundamental que el chorro nunca se dirija ni entre en contacto con ninguna parte del cuerpo, ya que presiones tan altas pueden provocar daños graves en la persona.

Las fugas en las mangueras de alta presión representan otro factor peligroso, por lo que se debe tener el mismo cuidado que con el agua expulsada por la lanza. Los sistemas de seguridad en las mangueras de alta presión y en los acoplamientos entre ellas son fundamentales y obligatorios por pequeños que sean los trabajos a realizar, ya que la rotura de un acoplamiento en estas mangueras puede suponer una situación de alto riesgo, pues la manguera puede realizar movimientos extraños y apuntar a una persona.

3.2.8.7 Protección corporal: tanto el operario de la máquina como las personas que trabajen en las proximidades deben equiparse con las prendas de protección necesarias en cada caso:

- Mono impermeable contra proyecciones de agua y partículas, adecuada a la capacidad de la máquina
  
- Casco con pantalla protectora.
  
- Gafas de seguridad.
  
- Auriculares y tapones para ruido superior a 90dB.
  
- Guantes adecuados a la presión utilizada.
  
- Botas de seguridad; con protección central.

3.2.8.8 Aplicaciones y casos prácticos: la hidrodemolición puede aplicarse a infinidad de trabajos. Para trabajos de gran envergadura es preferible el uso de hidrodemolición robotizada. La elección del robot o jetframe debe ser consecuente con las condiciones de trabajo. Realizar pruebas previas al comienzo de la aplicación para conocer las condiciones del hormigón o superficie a reparar.

Es necesario recordar que a pesar de que existan dos métodos (manual y robotizado), el primero está destinado principalmente a trabajos de menor envergadura y a aplicaciones específicas.

Dentro del campo de la hidrodemolición robotizada, existe una gran variedad de robots destinados a cubrir las diferentes necesidades del mercado.

Es importante remarcar que, antes de comenzar un trabajo es muy conveniente realizar varias pruebas sobre el terreno para comprobar las condiciones y adecuar los parámetros del robot para conseguir la profundidad y la anchura requeridas.

Los robots de Conjet aplican los beneficios de la hidrodemolición en multitud de trabajos como puentes, diques y muelles, presas y centrales hidroeléctricas, túneles, estacionamientos, cimentaciones, entre otros. (Figura 3.26).



Figura 3.26. Aplicaciones de la hidrodemolición robotizada. (www.anzeve.com, 2010).

### 3.3 Definición de términos básicos

**Abras:** entrada de agua en la tierra formando seno.

**Aditivo:** agregado que cambia las propiedades de la mezcla, entre estos se encuentran: Sika aer, Sikament400, Batec F-500, etc.

**Agua:** líquido transparente, inodoro e incoloro compuesto por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno

**Aliviadero:** vertedero, conducto, túnel, canal u otra estructura diseñada para permitir descargar con seguridad los caudales de las crecientes cuando el embalse esta lleno.

**Caudal:** cantidad de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo especifica, cuantificado generalmente en litros por segundo (lt/seg) y su símbolo es Q.

**Cavitación:** fenómeno producido cuando un líquido fluye por una región donde la presión es menor que su presión de vapor, haciendo que el líquido hierva y forme burbujas de vapor.

**Cresta del aliviadero:** la parte más alta de la sección de derrame.

**Cresta de la presa:** cima o parte más alta de la presa.

**Densidad:** la densidad de un fluido, se define como su masa por unidad de volumen.

**Epoxi:** resina sintética de alta resistencia y baja contracción.

**Fluido:** se les denomina a los cuerpos cuyas moléculas tienen poca coherencia y siempre adoptan la forma del recipiente que los contiene, y se dividen en: líquidos y gases.

**Gasto:** volumen de agua que pasa por un conducto en determinada unidad de tiempo.

**Golpe de ariete:** cambio brusco en el movimiento de un fluido dentro de un conducto cerrado que produce variaciones de presión y vibraciones.

**Hidráulica:** parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.

**Micro sílice:** la micro sílice se conoce como una súper puzolana y se produce durante el proceso de fabricación de ferrosilíceo, las cuales se producen en hornos de acero eléctricos en los cuales los ingredientes principales son cuarzo, carbón, madera picada y hierro; liberando monóxido de silíceo (SiO). Este aditivo mineral aumenta significativamente la calidad del concreto para prevenir el ingreso de los iones cloruro a la profundidad del acero de refuerzo, mientras simultáneamente incrementa la resistividad del concreto a las corrientes de corrosión, aumenta la impermeabilidad y la densidad de la pasta de cemento, disminuye la porosidad y la exudación, le da al concreto buena trabajabilidad e incrementa las resistencias mecánicas.

**Nivel normal:** nivel del agua cuando el embalse está lleno.

**Peso específico:** es el peso por unidad de volumen.

**Presa:** barrera construida con el fin de almacenar, controlar y derivar agua.

**Presión:** se define como la fuerza de compresión normal por unidad de área (esfuerzo normal) que actúa sobre la superficie sumergida en el fluido.

**Presión de vapor:** son las moléculas de un líquido que en un momento dado poseen suficiente energía cinética para así ser proyectadas fuera de la masa líquida a través de su superficie libre convirtiéndose en vapor.

**Sikament:** aditivo reductor de agua para el concreto de color café súper plastificante, reductor de agua de alto rango y economizador de cemento.

**Sika Aer:** es un aditivo líquido incorporador de aire para concreto, no tóxico y libre de cloruros.

**Sobreflujo:** niveles de flujos superiores a los estimados.

**Tixotropico:** se dice que una mezcla es tixotropica cuando esta cambia de consistencia en estado de reposo.

**Turbulencia:** agitación desordenada de un fluido en movimiento.

**Volumen:** espacio que ocupa un cuerpo, expresado en una medida cúbica.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El marco metodológico de la investigación recoge fundamentalmente los pasos desde el inicio del estudio hasta su culminación, sobre la base de la sistematización racional del fenómeno estudiado, en cuanto a los conocimientos obtenidos, en función de la demostración de los objetivos específicos y la temática abordada sobre el análisis de la reposición de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. Estado Bolívar.

Balestrini, (2001) define el marco metodológico como:

La instancia referida a los métodos, las diversas reglas, registros técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calculan las magnitudes de lo real. De allí se deberá plantear el conjunto de operaciones técnicas que se incorporan en el despliegue de la investigación en el proceso de la obtención de los datos. El fin esencial del marco metodológico es el de situar en el lenguaje de investigación los métodos e instrumentos que emplearan en el trabajo planteado, desde la ubicación acerca del tipo de estudio y el diseño de investigación, su universo o población, su muestra, los instrumento y técnicas de recolección de datos, la medición, hasta la codificación, análisis y presentación de los datos. De esta manera, se proporcionará al lector una información detallada sobre como se realizará la investigación (p. 114).

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación. En primer lugar, se expone el nivel de investigación utilizado, en segundo lugar, el diseño de investigación implementado en el desarrollo del proyecto, población y muestra de estudio y una descripción de los instrumentos y los procedimientos utilizados para la recolección y análisis de los datos.

#### **4.1 Nivel de investigación**

De acuerdo a la naturaleza y características del problema objeto de estudio, esta investigación se enmarcó como investigación del tipo aplicada y se encuentra dentro de la modalidad de investigación proyectiva o “proyectos factibles”, por cuanto a través de ella se propone un plan de mantenimiento para los canales del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. Y evaluativo, porque se pretende analizar el Reacondicionamiento de la superficie del concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.

Según el Manual de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2003) el proyecto Factible

“Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades”. (p. 16).

#### **4.2 Diseño de la investigación**

La estrategia en que se apoya la investigación para responder satisfactoriamente al problema planteado es documental y de campo.

La investigación es Documental porque se requiere de diversos compendios bibliográficos para consignar la información referente al Reacondicionamiento del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.

Los datos básicos se encontraron en documentos tales como: libros, tesis relacionadas con el tema de estudio, Informes Técnicos, revistas, Especificaciones Técnicas, leyes, documentos audiovisuales e Internet.

También se considera que es una Investigación de Campo ya que los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; hecho que alude a que son datos de primera mano. Este trabajo se realizó con las inspecciones regulares al sitio de estudio.

### **4.3 Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

En el caso objeto de estudio pertinente a la investigación sobre el Reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri, el universo de estudio está constituido por una población que es el aliviadero el cual consta de tres canales de descarga.

#### **4.3.2 Muestra**

La muestra escogida para la investigación esta representada por el canal 1 y los muros de encauzamiento del mismo ya que este es el que presenta mayor daño y donde primeramente se realizarán los trabajos de reparación.

### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

A continuación se presentan una serie de fases dentro de las cuales se establecen los pasos realizados para el desarrollo de los objetivos del trabajo de

estudio:

#### **4.4.1 Recopilación de información bibliográfica**

Esta fase permitió obtener la información pertinente para analizar y estudiar el proyecto, es decir, la documentación necesaria para saber las características del aliviadero, tipos, así como las partes que lo conforman. También fue necesario hacer una revisión de las especificaciones técnicas para poder llevar a cabo todos los procedimientos de reparación en el canal 1 y muros del aliviadero y los planos respectivos del mismo. Cabe destacar que toda esta revisión se realizó en el Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil en la Coordinación Guri.

#### **4.4.2 Entrevista no estructuradas**

Esta técnica se efectuó manteniendo el contacto y comunicación directa con el personal especializado de la empresa en especial el personal competente del Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil específicamente en la Coordinación de Guri entre los cuales están el Ingeniero Inspector encargado de la obra del aliviadero, Jefe de Coordinación y demás compañeros, todo ello con el fin de recolectar información acerca del reacondicionamiento del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.

#### **4.4.3 Trabajo de campo**

Esta fase de la investigación se realizó con la finalidad de inspeccionar los daños que presenta actualmente el canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. Dicha inspección esta a cargo del Departamento de Infraestructuras y Mantenimiento Civil de EDELCA específicamente en la Coordinación de Guri, con el propósito de que la empresa

encargada del reacondicionamiento del canal 1 cumplieran con las especificaciones técnicas en la colocación de todas las estructuras, así como también, la normas de higiene y seguridad industrial que rigen en la empresa.

4.4.3.1 Procedimiento para inspección en el canal 1: la inspección se realizó una vez instalada la caminería acondicionada con tubos de andamios y escaleras sobre el brazo de la compuerta radial, y la pared divisoria de los canales (escalera marinera), tal y como se muestra en la figura 4.1.

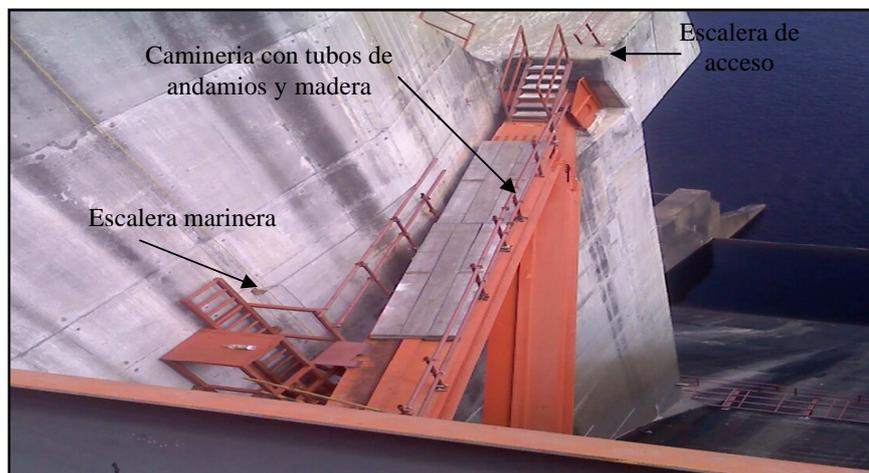


Figura 4.1 Escaleras de acceso al canal 1. (Autor, 2009).

También se realizó el montaje de la pasarela y de las plataformas de acceso como se muestran en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

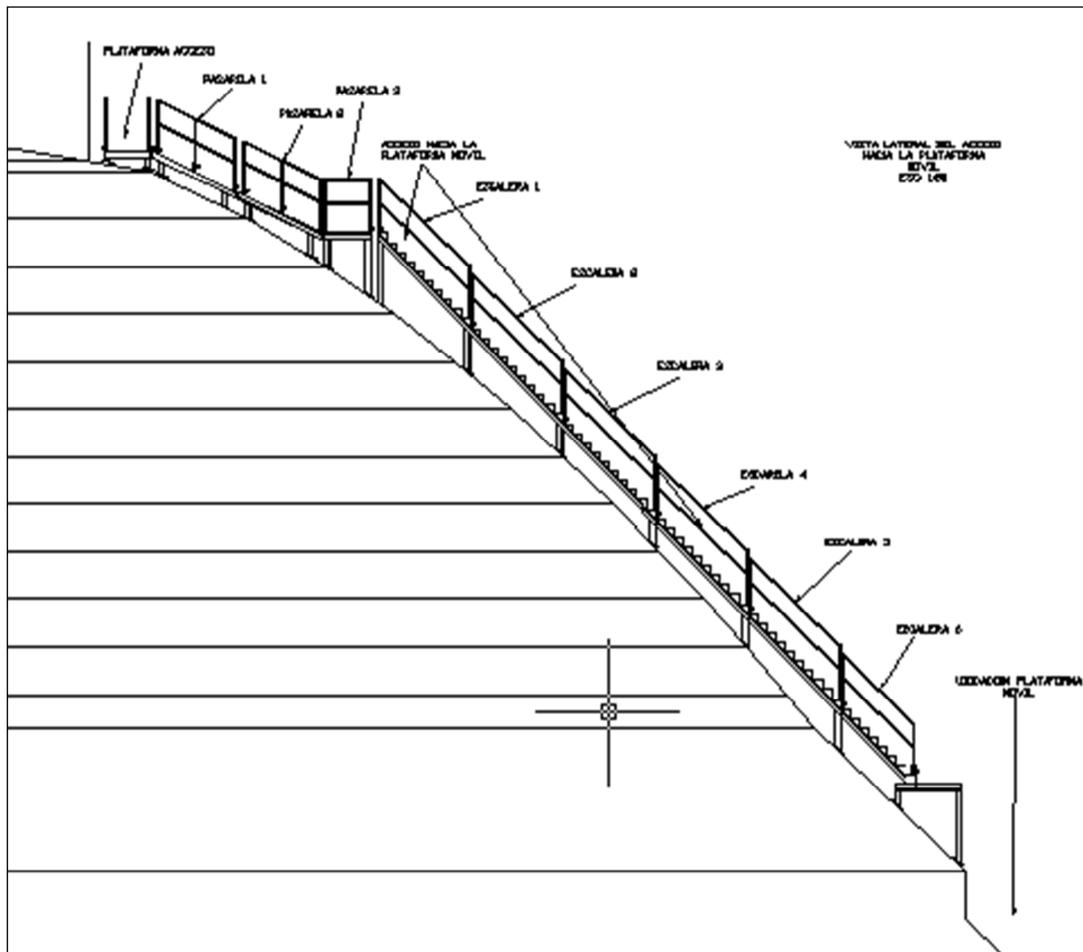


Figura 4.2. Disposición del acceso a la plataforma fija. (FAPCO C.A, 2009).



Figura 4.3. Pasarela para acceso a la plataforma fija. (Autor, 2009).



Figura 4.4. Plataformas fija y móvil instaladas en el canal 1. (Autor, 2009).

#### **4.4.4 Instrumentos de recolección de datos**

1. Vehículo rústico marca TOYOTA.
2. Cámara fotográfica digital.
3. Computadora portátil y de escritorio, calculadora.
4. Casco, botas y lentes de seguridad, eslinga y arnés.
5. Libreta de campo, lápices de colores y de grafito.

#### **4.5 Análisis de datos**

Se realizó el procesamiento y análisis de los datos producto de la revisión documental, entrevistas y de las inspecciones regulares realizadas en el cana 1 y en los muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica en Guri. Con datos tomados de las especificaciones técnicas, se evaluaron cada unos de los materiales a utilizar para la reparación, los equipos a utilizar en la preparación de superficie de concreto, equipos y normas de seguridad, personal, entre otros puntos para así verificar el cumplimiento de las Normas emitidas por EDELCA. Verificar las zonas con mayor daño. Luego de esto y con el respectivo levantamiento topográfico verificar los espesores a reparar y establecer un plan de mantenimiento para los canales del aliviadero de la central.

#### **4.6 Flujograma de trabajo**

A continuación se muestran todas las etapas para el desarrollo del trabajo de investigación.

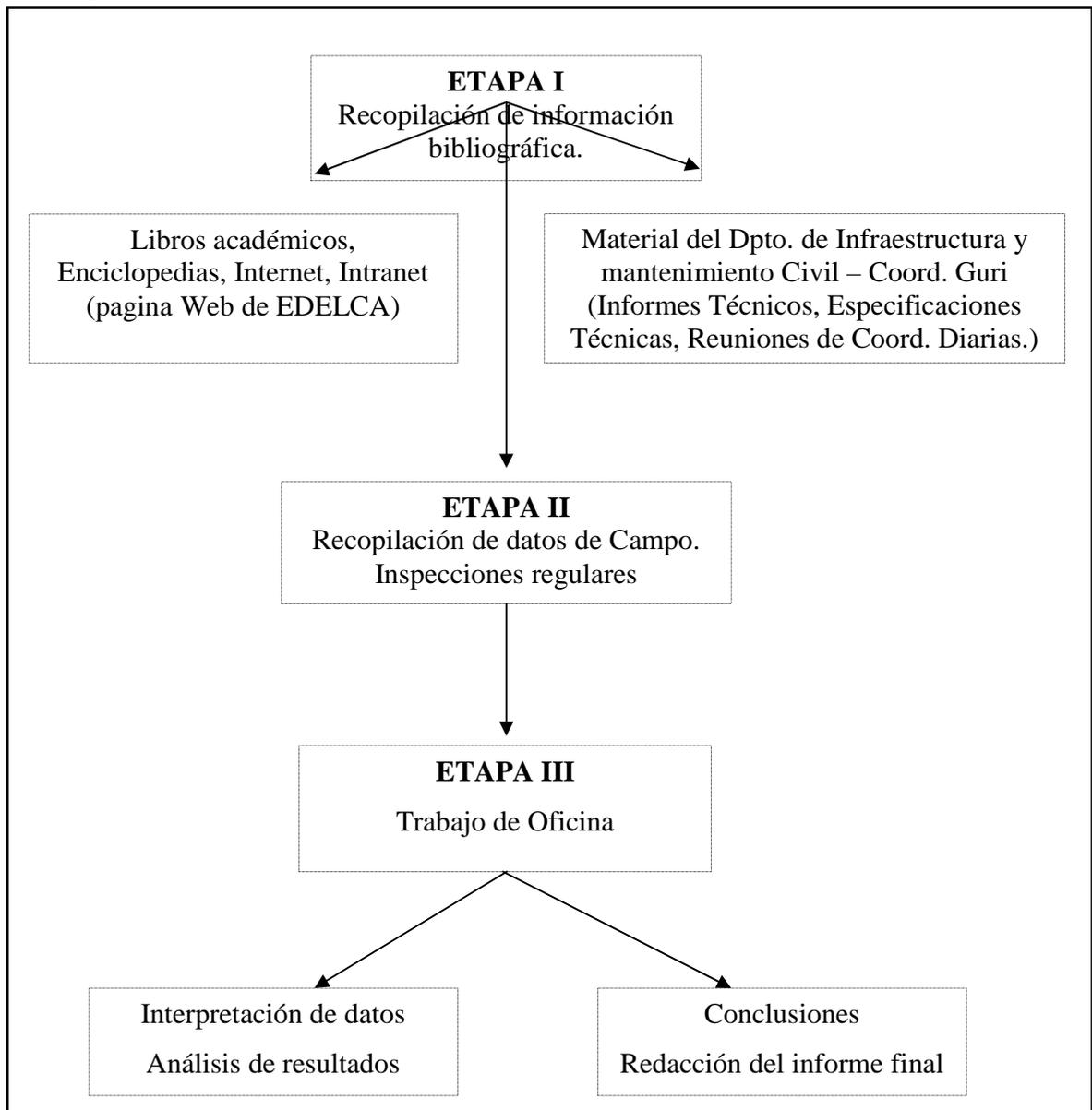


Figura 4.5. Flujograma de trabajo.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 Características del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar**

El aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en su primera etapa, fue construido del tipo canal abierto de sección rectangular y de caudal regulable; consta de tres canales independientes, situados en el contacto de la presa con el estribo izquierdo y a su vez cada uno de ellos esta formado por otros tres canales o también llamados vanos con sus correspondientes compuertas del tipo radial ubicadas entre las pilas del aliviadero como se muestran en las figuras 5.1 y 5.2. Los canales están separados por muros o también llamados pilas, lo que permitió en la segunda etapa su realzamiento por partes, pudiendo operar dos canales durante el proceso de sobre elevación. Los disipadores de energía como ya se ha visto, fueron construidos del tipo deflector o tobogán sumergido, presentando inconvenientes para su mantenimiento y reparación; por ello, en la segunda etapa fueron construidos del mismo tipo pero sobre el nivel del río aguas abajo.

La descarga del aliviadero es regulada actualmente por nueve compuertas radiales con unas dimensiones de 22,26 m de alto por 15.24 m de ancho, consta de brazos de apoyo sobre unos pines lo que le permite rotar sobre los mismos, accionados por transmisión de cadenas En los anexos 1, 2,3 y 4 se muestra con más detalle la geometría del canal 1. (Figura 5.3).

Posee una capacidad máxima de alivio de 30000 m<sup>3</sup>/s, cuando sus compuertas se abren completamente. De acuerdo a los libros de registro, la máxima descarga registrada se encuentra en el orden de los 15000 m<sup>3</sup>/s.

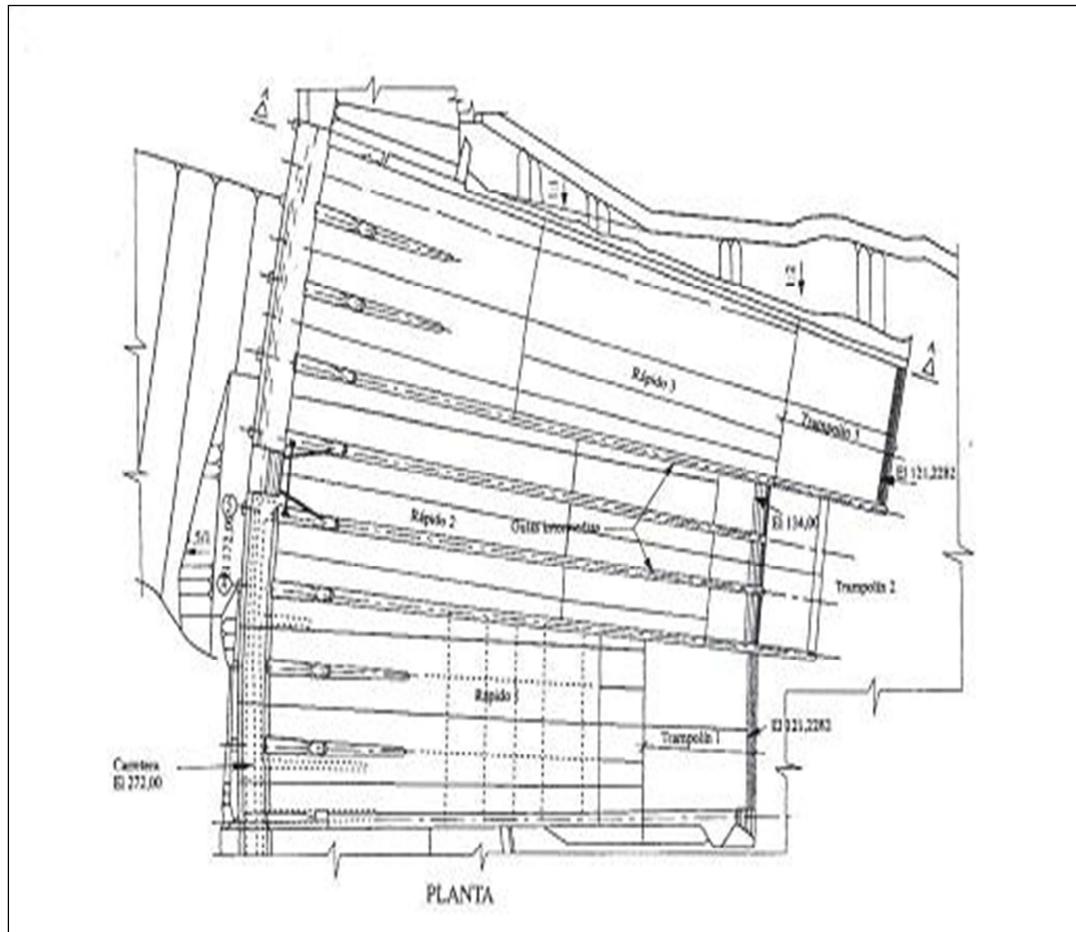


Figura 5.1. Planta del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri. (Bolinaga, 1999).

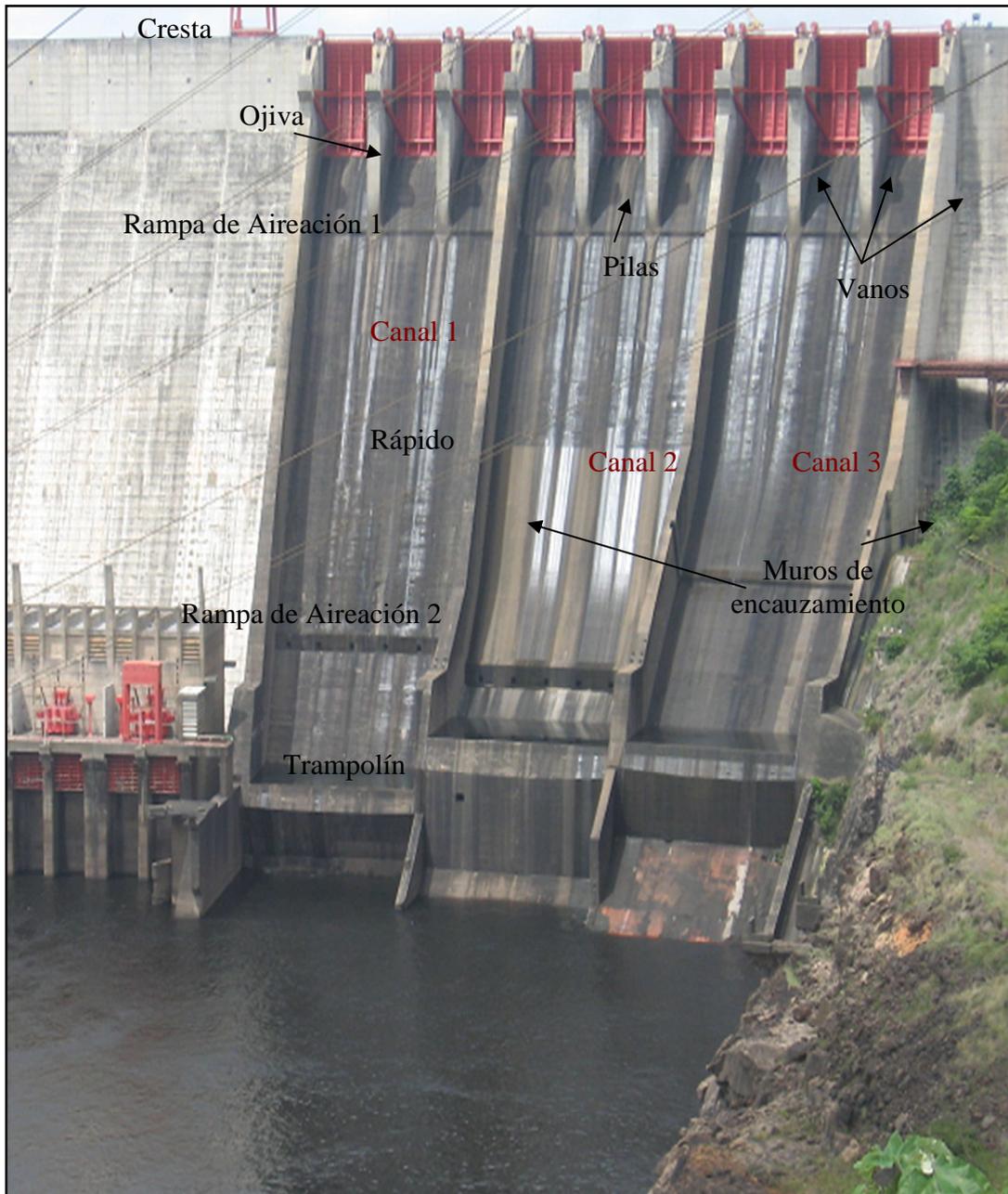


Figura 5.2. Partes del aliviadero de la central de Guri. (Autora, 2009).



Figura. 5.3. Compuertas radiales del aliviadero de la central de Guri. (Autor, 2009).

## 5.2 Daños que actualmente presenta el canal 1 del aliviadero

En la inspección realizada en el Canal 1 con personal de Inspección de EDELCA, se observaron daños por la erosión que producen las descargas realizadas, como exposición de los agregados del concreto en la mayor parte de la superficie del canal, las cuales se encontraban más acentuadas en las siguientes áreas:

### 5.2.1 Aguas arriba y cercanas a la segunda rampa de aireación

Se pudo apreciar en dos zonas específicas la exposición del acero de refuerzo (Figura 5.4), también se observó la pérdida de una parte de la segunda rampa de aireación y oquedades en algunos sectores de la superficie cercana a la rampa antes indicada pero en zonas muy puntuales. (Figura 5.5).



Figura 5.4 Daños en la segunda rampa de aireación del canal 1 del aliviadero de la presa de Guri. (Silva, 2009).



Figura 5.5. Oquedades en algunos sectores del canal 1. (Autor, 2009).

### **5.2.2 Concreto en el borde izquierdo y derecho del lanzador**

El concreto en esa zona presenta grietas de 1 a 2 centímetros aproximadamente de profundidad y erosión superficial (Figura 5.6). En el borde izquierdo, el concreto

presenta desgaste por erosión superficial y desprendimiento de una capa de mortero de aproximadamente 1,5 centímetros de espesor. (Figura 5.7).



Fig. 5.6. Grietas en el borde derecho del lanzador. (Autor, 2009).



Figura 5.7. Borde izquierdo del lanzador con erosión. (Autor, 2009).

### 5.2.3 Superficie del concreto aguas abajo del lanzador

Se observaron dos (2) superficies separadas por una junta y con diferentes niveles de rugosidad y en lado derecho se observaron grietas conectas de aproximadamente 3 milímetros de profundidad, cambios de rugosidad en la superficie, oquedades de 2 a 4 centímetros de profundidad y presencia en zonas puntuales de pedazos de un recubrimiento de mortero que se ha perdido en la zona

donde se encuentra el agregado expuesto, durante las descargas realizadas. (Figura 5.8).

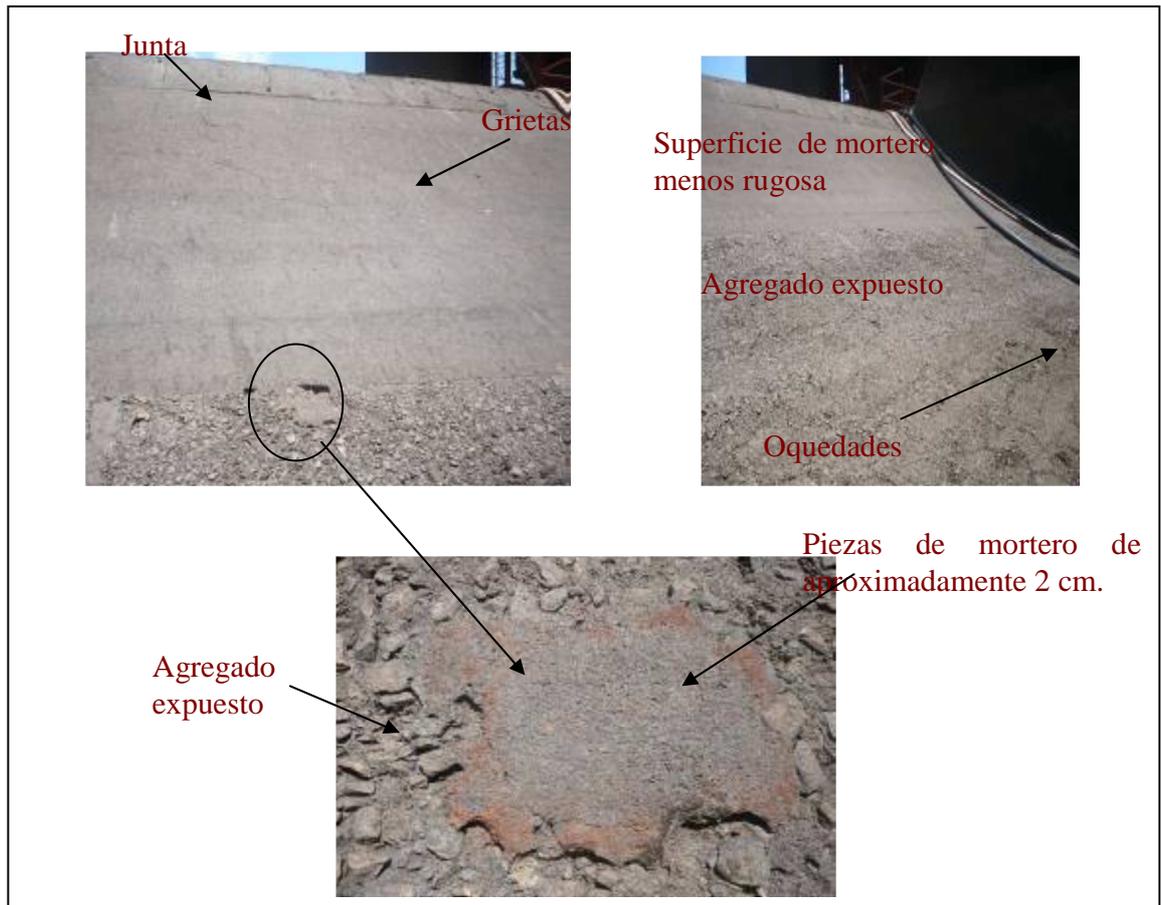


Figura 5.8. Daños en la superficie de concreto del lanzador. (Autor, 2009).

### 3.2.4 Muros de encauzamiento

En cuanto a los muros de encauzamiento se puede apreciar en el muro N° 1, grietas en la capa de mortero y pérdida del mismo en zonas puntuales, quedando la superficie con el agregado expuesto. En el Muro de encauzamiento N° 2, se observaron grietas en la capa de mortero y pérdida del mismo en zonas puntuales,

quedando la superficie expuesta con la membrana producida por el producto adhesivo utilizado para mejorar la adherencia entre el mortero y el concreto, apreciándose además el agregado expuesto. (Figura 5.9).

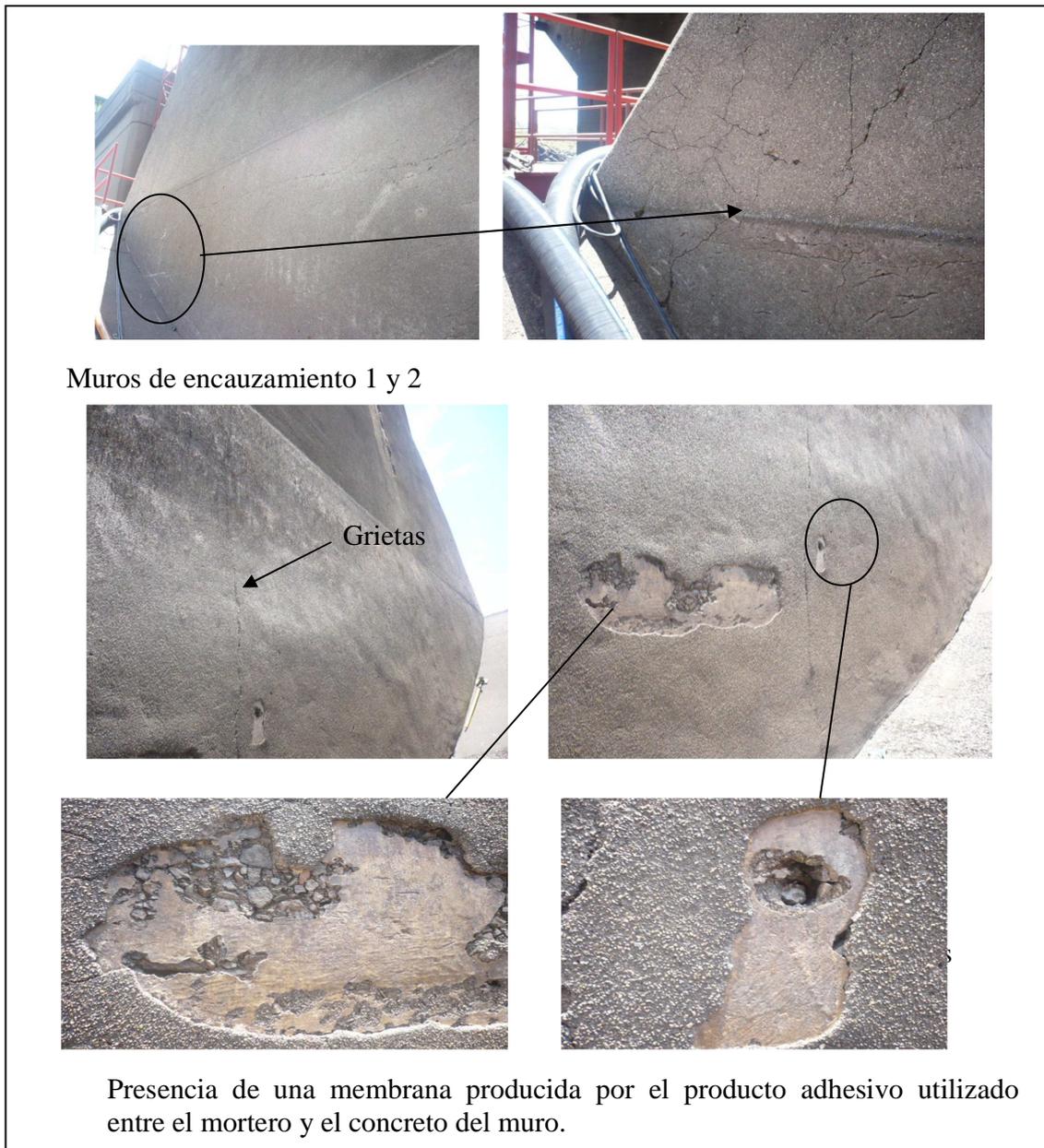


Fig. 5.9. Daños en los muros de encauzamiento 1 y 2 del canal 1 (Autor, 2009).

En los anexos 5 y 6 se muestran en detalle los perfiles donde se observa como ha cambiado la geometría del canal con respecto a los planos como construidos realizados por el Departamento de Servicios Técnicos de EDELCA, mientras que en los anexos 7 y 8 se muestra las zonas más dañadas en una escala de colores y las zonas que requieren del procedimiento para la preparación de superficie, ya que hay zonas que solo requieren limpieza y otras demoler concreto y exponer el agregado, razón por la cual se está usando el Conjet 364

En el apéndice B, C y D, se visualizan todos los sitios inspeccionados por mi persona junto con personal de EDELCA para analizar la obra de reacondicionamiento del canal 1 del aliviadero.

### **5.3 Análisis de las especificaciones para el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Simón Bolívar en Guri**

Entre los puntos más relevantes de las especificaciones técnicas que se pueden detallar en el anexo 9 del presente trabajo de investigación, tenemos los siguientes:

1. Todas las pruebas que se ejecutaron durante el avance de la obra se llevaron a cabo en el taller de la empresa contratista FAPCO porque el antiguo viaducto fue considerado por la inspección de EDELCA arriesgado para las mismas ya que dicho viaducto fue construido para la sobreelevación de la presa en su segunda etapa y el paso de los años ha deteriorado su estructura.

2. Debido a las características geométricas que presenta el canal 1 del aliviadero se exige al contratista el diseño, pruebas e instalación de sistemas de accesos para realizar los trabajos de topografía y de reparación en el canal.

3. En cuanto a los trabajos de topografía estos se llevaron a cabo con personal del contratista en conjunto con personal de EDELCA para la verificación de los resultados de la geometría existente con la del proyecto original y definir el volumen de concreto a proyectar.

4. En cuanto a la preparación de la superficie EDELCA define los equipos a utilizar, en este caso fue aprobado por la Inspección de EDELCA el uso del proceso de hidrodemolición robotizada ya que este demostró resultados satisfactorios en cuanto a avance de obra y costo. En el apéndice A se detalla el robot Conjet 364 usado en el reacondicionamiento del canal 1.

5. Una vez realizado la demolición del concreto en mal estado y preparado la superficie, se colocará un concreto de alta resistencia y posteriormente mortero hasta alcanzar la cota de proyecto utilizando un equipo para proyectar mortero.

6. En cuanto a los trabajos de reparación a ejecutar se detallan tres casos primordiales que son los siguientes: demolición hasta 2,5 cm., superficie erosionada desde 2,5 cm. hasta 10 cm., superficie erosionada mas de 10 cm. Dichos casos se detallan en el aparte 9.2.1.3 de las especificaciones técnicas. En estos tres casos no se han utilizado muchos de esos procedimientos sino que se ha llevado a cabo la utilización de la hidrodemolición robotizada.

7. En cuanto al concreto todo queda establecido de forma clara lo exigido por EDELCA al contratista en el aparte 9.2.1.4 relacionado a lo trabajos de concreto de las especificaciones técnicas particulares.

8. En cuanto al diseño de mezcla de mortero y concreto a proyectar en el canal EDELCA suministra al contratista su propio diseño; quedando claro que con esto no se releva al contratista de la responsabilidad de que sus diseños cumplan por lo exigido en las especificaciones.

9. El contratista deberá cumplir todas las normas exigidas por EDELCA en las especificaciones en cuanto ha mezclado, tiempo de mezclado, suministro de muestras, temperatura media para el vaciado, ensayos de trabajabilidad de las mezclas, calidad del concreto y mortero, entre otras.

10. En cuanto a los trabajos de encofrado las exigencias por parte de EDELCA quedan detalladas en el aparte 9.2.1.1.1 de las especificaciones técnicas.

## **CAPÍTULO VI**

### **PLAN DE MANTENIMIENTO**

Una vez culminada la reparación de la superficie del concreto en los canales del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri, se deberá aplicar un plan de mantenimiento sostenido que permita pulir detalles, prolongar el periodo de vida útil de los canales y crear un registro base que permita solventar problemas futuros de reparación en las otras centrales que administra EDELCA como MACAGUA, TOCOMA, CARAUACHI, entre otras.

Con el fin de asegurar que la presa, estructuras accesorias y equipos requeridos para la descarga de la crecida se mantengan en condición segura y de total operación, se debe desarrollar e implementar políticas de mantenimiento, procedimientos, registros y responsabilidades. La ejecución de estas políticas, deben estar a cargo de la División de Consolidación en coordinación con el personal de Seguridad de Presa

Todo el equipo relacionado con la Seguridad de Presa debe ser inspeccionado y probado a intervalos regulares para asegurar una operación segura y confiable.

Los requerimientos de mantenimiento también deben ser documentados para todas las estructuras.

#### **6.1 Estrategias que deben seguir un plan de conservación**

Sin duda que la capacidad para establecer objetivamente las prioridades y de formular estrategias adecuadas para atenderlas, depende de que se logren programas eficaces que permitan, en primer término, preservar la inversión en las estructuras existentes y proporcionar niveles continuos y adecuados de seguridad.

En nuestro país hay pocos programas establecidos para la conservación de los canales de aliviaderos de las diferentes centrales hidroeléctricas que se encuentran en todo el territorio nacional, para un programa de mantenimiento se debe contar con información, basado en: inspecciones especiales, diseño de reparaciones de vertederos, inspecciones de compuertas, entre otros aspectos.

Cabe destacar que para que los planes de mantenimiento implementados para la conservación de aliviaderos en presas, funcionen deben cumplir por lo menos con lo siguientes puntos:

1. Uniformizar los criterios de inspección de todos los entes involucrados en la conservación de la presa, esto va de la mano con la Seguridad de Presa.
2. Actualizar sistemáticamente la base de datos del estado de los canales de aliviaderos, por lo menos una vez al año.
3. Corregir detalles de diseño, conforme a las experiencias nacionales e internacionales, incluyendo ajustes a las normas de diseño existentes.
4. Una buena planeación de los programas de conservación de canales de aliviaderos tomando en cuenta inspecciones antes y después de cada descarga según sea el caso.

## **6.2 Conservación de los canales de aliviaderos**

La conservación no es mas que el conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra se mantenga con las características funcionales, resistencia e incluso estéticas con las que fue proyectada y construida.

En tal sentido la estructura del plan de mantenimiento deberá incluir:

1. Inspecciones programadas y controladas ejecutadas por personal calificado.
2. Evaluar: crear un registro de inspección que permita hacer el seguimiento y diagnóstico continuo y periódico del estado de los canales del aliviadero.
3. Mantenimiento: aplicar las medidas necesarias para la conservación de la obra. Estas medidas incluyen: implementación de mantenimiento preventivo, implementación de mantenimiento correctivo e incluso la creación de un reporte periódico del plan de mantenimiento bajo el control de un supervisor.

El mantenimiento de presas responde al trinomio clásico en esta materia, que está compuesto por la actuación simultánea de los tres tipos de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo.

1. El mantenimiento *preventivo* incluye el conjunto de operaciones que se realizan de forma sistemática y con determinada periodicidad, y todas aquellas operaciones que no tienen un carácter urgente, y que son susceptibles de incorporarse a los trabajos programados permanentes. Se pretende con él asegurar el funcionamiento correcto de los elementos y minimizar las averías y los funcionamientos así como garantizar la fiabilidad de la información. Estos trabajos son continuos y se llevan a cabo con independencia de que se produzca, o no, una avería en cualquiera de los elementos del conjunto.

2. El mantenimiento *correctivo* es el conjunto de operaciones que son necesarias para mantener la operatividad del sistema frente a situaciones de

cronología impredecible o circunstancias imprevistas que, por su naturaleza, no es posible una programación previa y que, al menos, incluyen los trabajos de diagnóstico y reparación de determinadas averías, reposiciones y actualizaciones de equipos e infraestructura.

3. El mantenimiento *predictivo* persigue, con la medida de determinados parámetros, prever con antelación suficiente, la presentación de una posible avería, poniendo los medios adecuados para evitarla. No tiene porqué suponer necesariamente intervención correctora o de sustitución de algún componente, sino que puede limitarse a intensificar ciertos trabajos de mantenimiento preventivo o la toma de datos de los equipos medida de temperaturas, alineación de ejes, y otros.

Completan estos programas las labores de **inspección, auscultación y control**, que son necesarias para garantizar la seguridad de las presas. De acuerdo a la experiencia acumulada en muchos países con un gran número de centrales hidroeléctricas, cabe considerar tres tipos de inspecciones que son, por su naturaleza, de distinta envergadura:

a) *Ordinarias*, son las que deben realizarse de forma habitual y periódica sobre diversos elementos de la presa, obras anejas y el embalse, b) *Especiales*, son las inspecciones específicas que deben realizarse sobre elementos concretos que, ante un funcionamiento inadecuado o por otras causas, conviene efectuar de forma independiente, y, c) *Extraordinarias*, se realizan tras un suceso fuera de lo ordinario, como puede ser una gran avenida, un sismo, o cualquier otro fenómeno que haya podido someter a una situación extrema a la presa, obras anejas y embalse.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Con el estudio se pudo determinar que el aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar, ha mantenido el diseño original siendo un canal abierto de sección rectangular y los disipadores de energía son del tipo tobogán.

2. El aliviadero fue elevado en la segunda etapa de construcción de la central de Guri donde sus disipadores de energía se rediseñaron según ensayos realizados a escala, siendo actualmente del mismo tipo pero sobre el nivel del río aguas abajo.

3. Luego de realizadas las inspecciones en el canal 1 del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri, se determinó que los daños fueron causados por descargas en años anteriores y en especial por el proceso de cavitación, por lo que se está llevando a cabo actualmente la reparación en la superficie de concreto de dicho canal ya que cuando existen irregularidades de tal magnitud en la superficie del aliviadero, el flujo de agua también se comporta de forma irregular incrementando los daños.

4. Con la realización de este trabajo queda establecido de forma resumida los trabajos y procedimientos llevados a cabo para el reacondicionamiento de los canales del aliviadero., lo cual servirá para estudios posteriores y para documentar.

5. Con la evaluación se pudo desarrollar y estudiar todo lo referente a la nueva tecnología de hidrodemolición robotizada usada en el reacondicionamiento de la superficie del concreto en aliviaderos la cual ha resultado muy satisfactoria para EDELCA en cuanto a tiempo de ejecución de obra y costo.

6. Según la inspección formal y el levantamiento topográfico realizados por el personal de EDELCA en el canal 1 se pudo determinar las zonas a reparar y los espesores de concreto a demoler y a limpiar según sea el caso.

7. Con la evaluación realizada se pudo determinar los estrictos controles de calidad que se emplean en reparaciones de estructuras de concreto indispensables para la central como son los canales de alivio pues deben soportar las fuertes descargas.

8. Todas las plataformas instaladas en el canal fueron evaluadas, supervisadas y aprobadas por la inspección de EDELCA para los trabajos de reparación en el aliviadero.

9. Desde los inicios de los trabajos en el canal 1 del aliviadero fueron cuidadosamente inspeccionados por el Departamento de seguridad integral para cualquier accidente laboral y obligar a la empresa contratista FAPCO a cumplir con todas las normas de seguridad exigidas por EDELCA.

10. Queda establecido un plan de mantenimiento que EDELCA puede estudiar mas a fondo y a futuro poder implementarlo junto con el cuerpo formado actualmente de Seguridad de Presa.

### **Recomendaciones**

1. Es posible que con la construcción de un aireador intermedio entre los existentes en cada canal del aliviadero, se eliminaría totalmente los daños por cavitación.

2. Se recomienda al Departamento de Ingeniería, diseñar un sistema de acceso a los canales del aliviadero de Guri, que le permita al personal del Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil, realizar inspecciones con mayor frecuencia, con la finalidad de evaluar de manera oportuna cualquier mantenimiento preventivo que se requiera en estas importantes estructuras.

3. Se sugiere que los intervalos de tiempo para las inspecciones en el canal sean después de culminada cada descarga de alivio.

4. Para posteriores trabajos de reacondicionamiento debe exigirse a las empresas contratistas hacer los debidos aterramientos de las estructuras con suficiente antelación.

5. Después de culminada las reparaciones en el canal 1, se sugiere a los departamentos competentes realizar un mantenimiento preventivo a la Compuerta Radial N° 1 y a la Compuerta Radial N° 2, en todas las áreas afectadas; mecánicas y civiles.

6. Se sugiere a la División de Consolidación, llevar un registro de forma organizada sobre todas las reparaciones, estudios, ensayos e inspecciones realizadas al aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar para un mejor manejo de la información.

7. Se recomienda al Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil Coordinación Guri, actualizar y digitalizar todos los planos del aliviadero desde su construcción hasta la última reparación realizada en él.

## REFERENCIAS

Anceve, C.A. (2010) **CONJET 364**. 17 de enero 2010, [<http://www.anzeve.com/es/conjet/robot364.php>]

Belestrni, Mirian (2001) **¿CÓMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN?**. Consultores Asociados Servicio Editorial. Caracas, Venezuela. (p. 114)

Bolinaga, Juan José (1999) **PROYECTOS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA VOL. 1y 2**. Fundación Polar. Caracas-Venezuela, (pp. 5-10)

Carico, Edgar (2009) **INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI- ESTADO BOLÍVAR**. Instituto Universitario de Tecnología Caripito, Departamento Construcción Civil, Caripito-Venezuela, trabajo final de grado no publicado, (p.75)

Comisión Académica (2008) **MANUAL DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR**. Caracas-Venezuela, (p. 16)

Corporación Venezolana de Guayana, Electrificación del Caroní (2004) **LA CUENCA DEL RÍO CARONI**. Gerencia de Gestión Ambiental. Caracas-Venezuela, (pp. 25,26)

Electrificación del Caroní, C.A. (2007) **REACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO DE LOS CANALES 1 Y 3, Y MUROS**

**DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA SIMON BOLIVAR, EN GURI.** Especificaciones técnicas. Guri-Venezuela, (pp.58-80)

González, Gustavo (2009) **ANÁLISIS DEL SISTEMA GEODÉSICO UTILIZADO PARA EL MONITOREO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI-ESTADO BOLÍVAR.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Departamento de Ingeniería Civil, Núcleo Bolívar, Venezuela, trabajo final de grado no publicado., (pp. 7-43)

Hernández, M. (2002) **DIAGNOSTICO, EVALUACIÓN Y SOLUCIÓN DE LOS DAÑOS AL CONCRETO DERIVADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALIVIADERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA RAÚL LEONI EN GURI-ESTADO BOLÍVAR.** Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño Extensión Puerto Ordaz, Coordinación de la Escuela de Ingeniería Civil, Puerto Ordaz-Venezuela, trabajo final de grado no publicado, (P 208)

Lanz, Carlos. (2001) **INSPECCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE CONCRETO PARA LANZAMIENTO DE LA COMPUERTA FLOTANTE Y MEJORAS A LA SUPERFICIE DEL CONCRETO DE LOS CANALES DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA RAÚL LEONI GURI-ESTADO BOLÍVAR.** Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño Extensión Puerto Ordaz, Coordinación de la Escuela de Ingeniería Civil, Puerto Ordaz-Venezuela, trabajo final de grado no publicado, (P 130)

Porreros, Joaquin (2003). **MANUAL DEL CONCRETO ESTRUCTURAL.** SIDETUR. Caracas-Venezuela, (pp. 295,296)

Universidad de Oriente (UDO) (2003). **MANUAL PARA ELABORAR TESIS DE GRADO**. Venezuela, P.57

Véliz, Arnoldo Claret (2004) **¿CÓMO HACER Y DEFENDER UNA TESIS?** Editorial Texto c.a. Primera Edición. Caracas-Venezuela, (pp.4,5,6,7,8,9)

Vitetta, Francisco (2000). **DISEÑO DE UNA TÉCNICA DE ADHERENCIA ENTRE LOS CONCRETOS UTILIZADOS PARA REPARACIONES DEL ALIVIADERO DE LA PRESA RAÚL LEONI GURI-ESTADO BOLÍVAR**. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Extensión Puerto Ordaz, Coordinación de la Escuela de Ingeniería Civil, Puerto Ordaz-Venezuela, trabajo final de grado no publicado, (P 199)

Wandell, Joseph y Dobrowolski, Joseph (1997). **MANUAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON CONCRETO. TOMO II**. Editorial McGraw-Hill. Tercera Edición. México, D.F., (pp. 36.14, 36.15, 44.8, 44.9)

[www.anzeve.com/data/metodo\\_de\\_hidrodemolicion\\_es.pdf](http://www.anzeve.com/data/metodo_de_hidrodemolicion_es.pdf) . 08 de marzo de 2010

[www.edelca.com.ve](http://www.edelca.com.ve). Intranet de EDELCA. 06 de octubre de 2009

[es.wikipedia.org/wiki/Centrales\\_hidroelectricas](http://es.wikipedia.org/wiki/Centrales_hidroelectricas). 08 de marzo de 2010

[www.google.com](http://www.google.com) (Febrero 2010). **METODO DE HIDRODEMOLICIÓN**.

[www.hidrofrein.com](http://www.hidrofrein.com) (2010) **ROBOT CONJET 364**. 09 de marzo de 2010

[www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net) (2010) **GRANDES PRESAS**. 11 de octubre de 2009

## **APÉNDICES**

### **APÉNDICE A**

**Detalles de robot Conjet 364 utilizado en la reparación del canal 1 del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri.**

#### **APÉNDICE A.1**

**Datos técnicos del Conjet 364**

APÉNDICE A.2  
Memoria fotográfica del Conjet 364

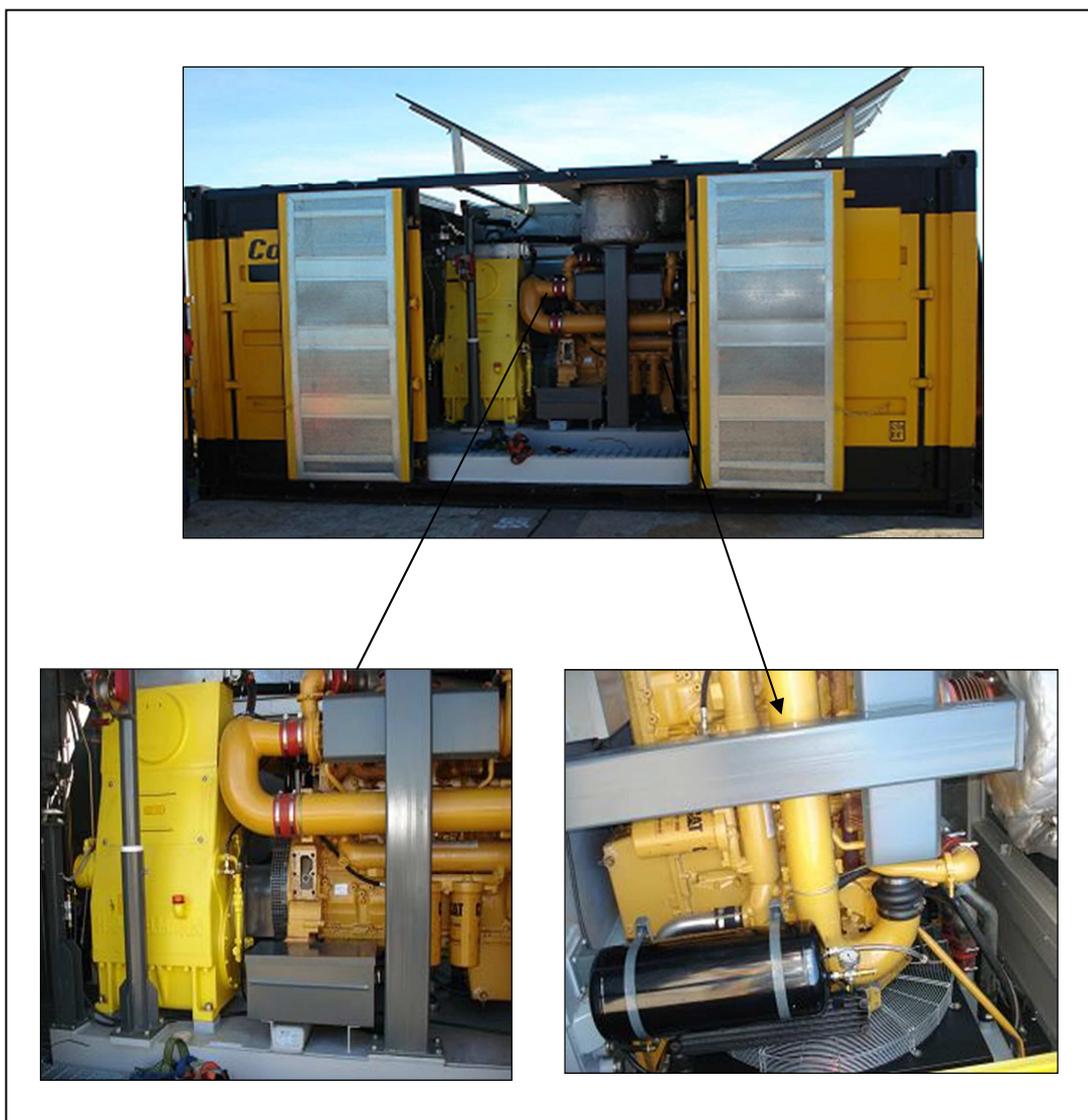


Figura A.2.1. Trailer de Control con Bomba de 480kW.

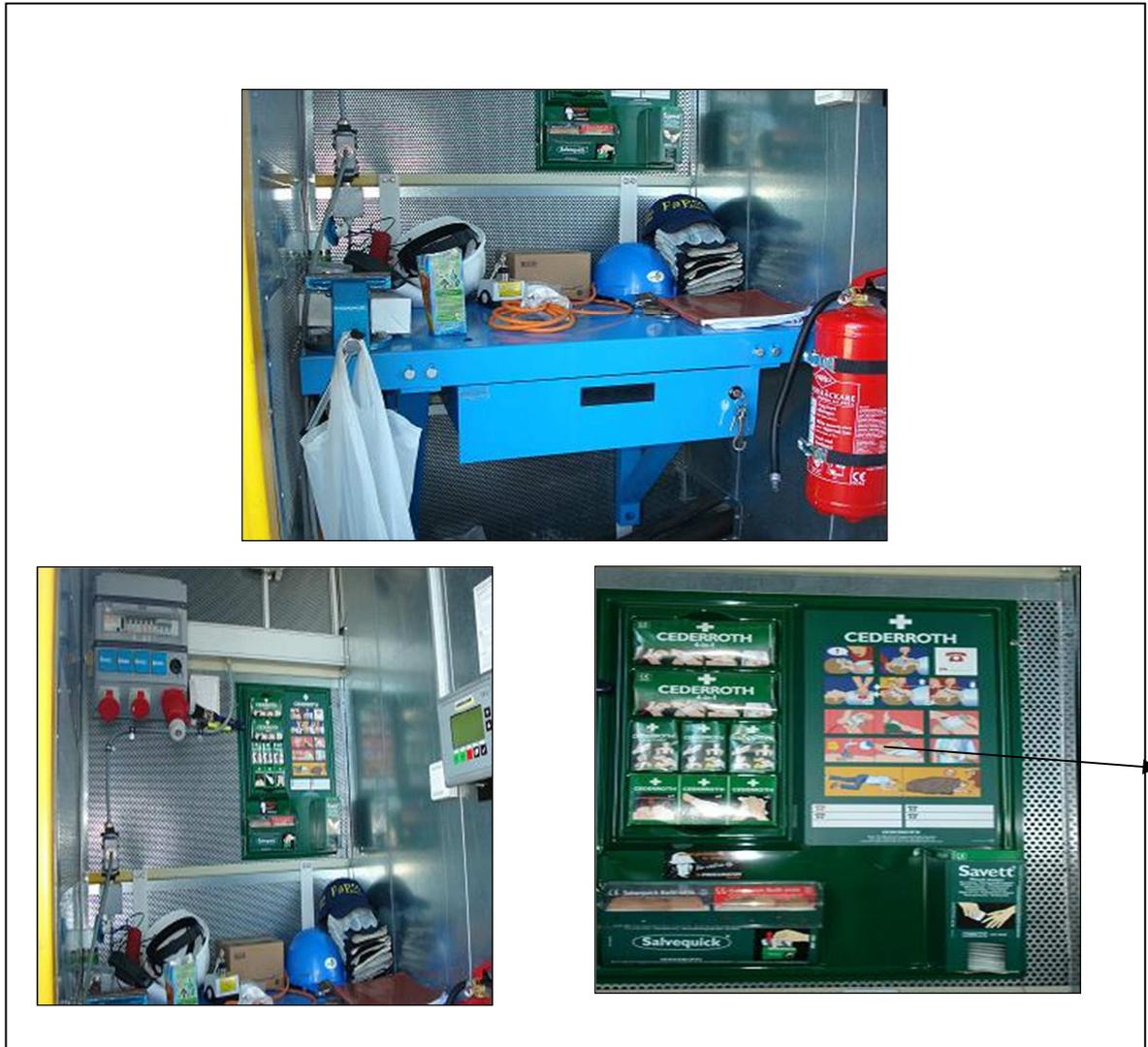


Figura A.2.2 Interior del trailer, lado izquierdo. Equipos de seguridad y primeros auxilios.

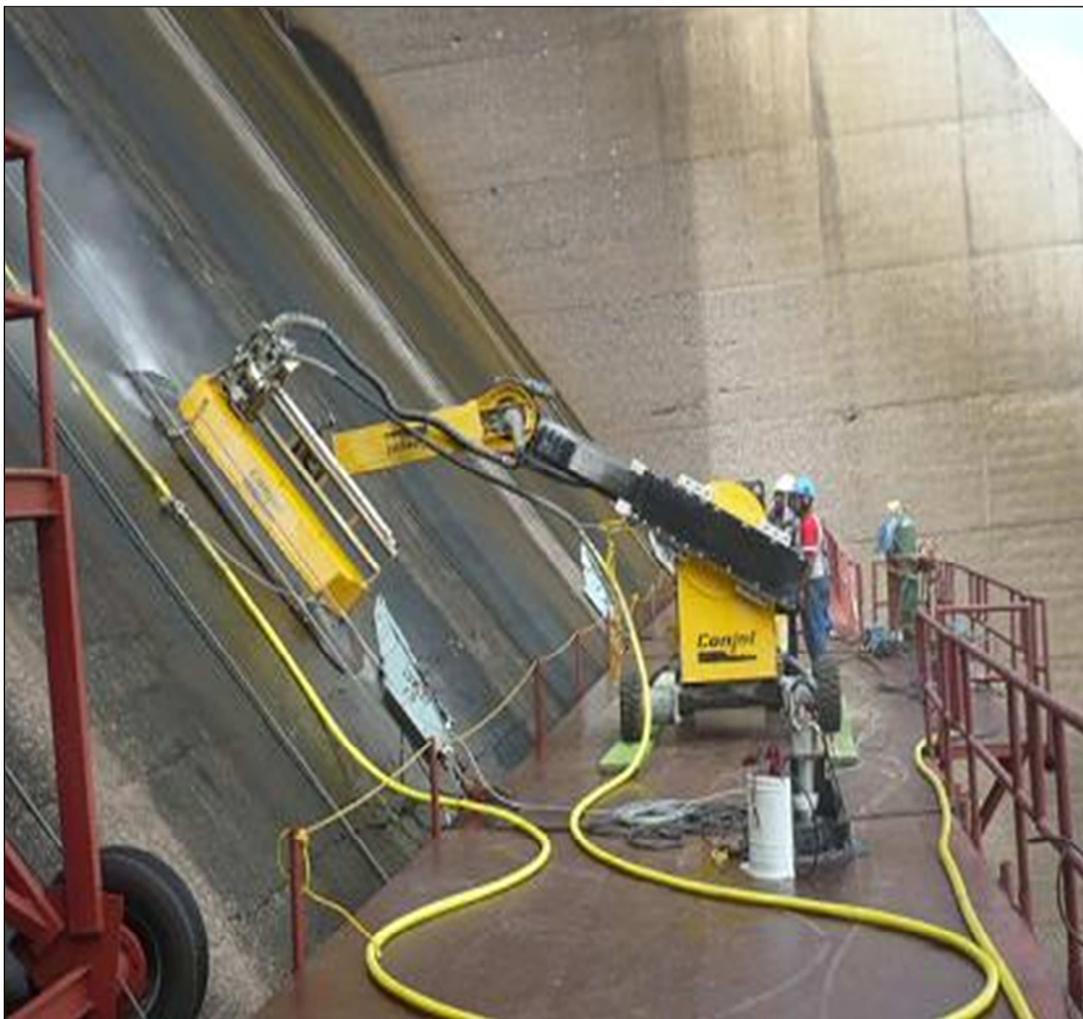


Figura A.2.3 Conjet 364 operando en el canal 1 del aliviadero.

## APÉNDICE B

Fotografías de colocación de plataformas y estructuras de acceso en el canal 1 del aliviadero.



Figura B.1. Colocación de plataformas en el canal 1 del aliviadero.

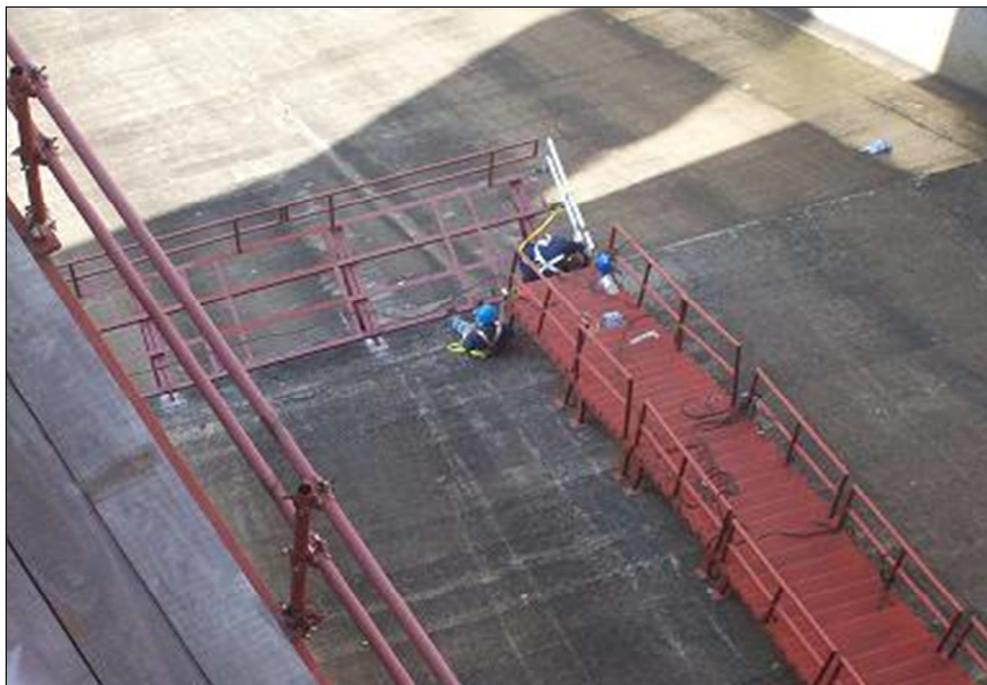


Figura B.2. Colocación de estructuras de acceso al canal 1 del aliviadero.

## APÉNDICE C

Fotografías de inspecciones en el canal 1 del aliviadero por personal de EDELCA



Figura C.1. Paso por pasarelas para bajar al canal 1 del aliviadero.



Figura C.2. Inspección de EDELCA en la plataforma móvil.



Figura C.3. Personal de seguridad industrial bajando para dar charla a personal.

## APÉNDICE D

### Fotografías de inspección a materiales y equipos.



Figura D.1. Inspección al agregado fino.



Figura D.2. Trompo para mezcla de concreto y mortero.



Figura D.3. Equipo para proyectar concreto en el canal 1 del aliviadero.



Figura D.4. Peso para dosificación de ingredientes a la mezcla de concreto y mortero.

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ORIENTE</b>          NUCLEO DE BOLÍVAR          ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA          PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO</p> 				
PROYECTO: REACONDICIONAMIENTO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI.		<p><b>Plano de la geometría del canal 1 del aliviadero. Sección por eje de los tramos 1, 2 y 3. Etapa IV.</b></p>		
ELABORADO POR: BACHILLER MARÍA AUXILIADORA TORRES CH.				
REVISADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO				
APROBADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO		FECHA: MAYO 2010	REFERENCIAS: S/R	ANEXO XO 1/9
		ESCALA: 1:50		

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ORIENTE</b>          NUCLEO DE BOLÍVAR          ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA          PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO</p> 			
PROYECTO: REACONDICIONAMIENTO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI.		<p><b>Plano de la geometría del canal 1 del aliviadero. Etapa VII.</b></p>	
ELABORADO POR: BACHILLER MARÍA AUXILIADORA TORRES CH.			
REVISADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO			

APROBADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO	FECHA: MAYO 2010	REFERE NCIAS	ANE
	ESCALA: 1:500	EC-1515, 1501,1503,1505	XO 2/9

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ORIENTE</b>          NUCLEO DE BOLÍVAR          ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA          PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO</p> 			
PROYECTO: REACONDICIONAMIENTO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI.	<p><b>Plano de la geometría del dissipador de energía del canal 1 del aliviadero. Vaciados definitivos.</b></p>		
ELABORADO POR: BACHILLER                      MARÍA AUXILIADORA TORRES CH.			
REVISADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO			
APROBADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO	FECHA: MAYO 2010	REFERE NCIAS: S/R	ANE XO 3/9

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ORIENTE</b>          NUCLEO DE BOLÍVAR          ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA          PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO</p> 			
PROYECTO: REACONDICIONAMIENTO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI.	<p><b>Plano general de las pilas del aliviadero.</b></p>		

ELABORADO POR: BACHILLER MARÍA AUXILIADORA TORRES CH.			
REVISADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO			
APROBADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO	FECHA: MAYO 2010	REFERE NCIAS: EC1521, EC1522	ANE XO 4/9
	ESCALA: S/E		

 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ORIENTE</b>          NUCLEO DE BOLÍVAR          ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA          PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO</p> 			
PROYECTO: REACONDICIONAMIENTO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI.	<b>Levantamiento topográfico. Perfil eje central de los tramos del canal 1 del aliviadero.</b>		
ELABORADO POR: BACHILLER MARÍA AUXILIADORA TORRES CH.			
REVISADO POR: MARIO CASTRO			
 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD DE ORIENTE</b>          NUCLEO DE BOLÍVAR          ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA          PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO</p> 			
APROBADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO	FECHA: MAYO 2010	REFE NCIAS: S/R	ANE XO 5/9
ESCALA: 1:200			
PROYECTO: REACONDICIONAMIENTO DEL CANAL 1 Y MUROS DEL ALIVIADERO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SIMÓN BOLÍVAR EN GURI.	<b>Levantamiento topográfico. Ubicación de zonas erosionadas.</b>		

ELABORADO POR: BACHILLER MARÍA AUXILIADORA TORRES CH.			
REVISADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO			
APROBADO POR: PROFESOR MARIO CASTRO	FECHA: MAYO 2010	REFERE NCIAS S/R	ANE XO N° 6/9
	ESCALA: 1:200		

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

<b>Título</b>	Análisis sobre el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri-Estado Bolívar
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Torres Ch. María A.	<b>CVLAC</b>	15.246.491
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:auxiliadora_t@hotmail.com">auxiliadora_t@hotmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mtorresch10@gmail.com">mtorresch10@gmail.com</a>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

Aliviaderos
Reparación de superficie de concreto
Central Hidroeléctrica Simón Bolívar
Reparación de aliviaderos

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Ing. Civil	Ingeniería Civil

### Resumen (abstract):

Al sur oriente del país en el Estado Bolívar se encuentra el Complejo Hidroeléctrico Simón Bolívar en Guri, ubicada en el cañón de Necuima a 100 km aguas arriba de la desembocadura del río Caroní en el Orinoco. Esta es la primera planta de mayor potencia instalada en el país y la tercera central construida sobre el río Caroní, que hay hoy en día, está en capacidad de producir 10.000 MW, la cual está constituida por dos casas de maquinas contando cada una con 10 unidades turbogeneradores. En las Centrales Hidroeléctricas, uno de los mayores problemas que se presenta es el desgaste de los canales del aliviadero ocasionada por los alivios en las épocas de inviernos. Actualmente es responsabilidad del Departamento de Infraestructura y Mantenimiento Civil de EDELCA realizar las inspecciones formales para evaluar las estructuras de concreto de la presa, para ello se contrató a la empresa FAPCO, que es la encargada de realizar el trabajo de reparación de los canales del aliviadero de la central de Guri. Por tales motivos el trabajo de investigación tiene como objetivo general “Analizar el reacondicionamiento de la superficie de concreto del canal 1 y muros del aliviadero de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar en Guri-Estado. Bolívar” La investigación desarrollada adopta un diseño de campo de tipo documental, por cuanto se requirieron realizar inspecciones regulares al canal 1 y evaluar los daños que presenta actualmente, así como también conocer las características del aliviadero. Además con este trabajo se elabora un plan de mantenimiento que garantice el buen funcionamiento de las estructuras hidráulicas (en este caso el aliviadero) de la presa. Se tiene como resultados de la investigación que es necesaria la reparación en el canal para evitar daños mayores en la superficie del concreto en los años siguientes de descarga, y de esta forma, garantizar el buen funcionamiento hidráulico del aliviadero.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Castro Mario	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	3.018.952
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
Grieco S. Giovanni	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	8.868.256
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
Pérez S. Rogelio M.	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	5.553.168
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
Dieguez D. Marisol	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	13.658.188
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Fecha de discusión y aprobación:

**Año      Mes      Día**

2010	06	09
------	----	----

**Lenguaje:** spa

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-Análisis sobre el reacondicionamiento de la superficie.Pdf	Application/Pdf

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:** EDELCA, GURI (Opcional)

**Temporal:** \_\_\_\_\_ (Opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:** Ing. Civil

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pregrado

**Área de Estudio:** Departamento de Ingeniería Civil

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



---

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

### 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”



**TUTOR**



**AUTOR 1**



**JURADO 1**



**JURADO 2**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:**



