

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EMBALSE DOS CERRITOS- EDO LARA

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por la Br:

Liñeira Pettinari, Luisa Elena.

Para optar al título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2008.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EMBALSE DOS CERRITOS- EDO LARA

TUTOR ÁCADEMICO: Prof. José de Jesús Gaspar.

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por la Br:

Liñeira Pettinari, Luisa Elena

Para optar al título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2008.

ACTA

El día 18 de Junio de 2008 se reunió el jurado formado por los profesores

Gaspar, José De Jesús

Martínez, Eduardo

Medina, Yuri

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **"COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA"**.

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de **INGENIERO CIVIL**.

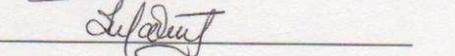
Una vez oída la defensa oral que la Bachiller hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Número	Letras
Br. Luisa E. Liñeira P.	20	Veinte

RECOMENDACIONES:

FIRMAS DEL JURADO





Caracas, 18 de Junio de 2008

DEDICATORIA

A mi madre, por tu incansable dedicación, por tu amor incondicional...
No sería quien soy sin ti...

A mi padre, por tu presencia en todos los momentos de mi vida. Por
todo lo que he aprendido al tenerte como padre....

A mi preciada Universidad Central de Venezuela, casa mis estudios,
en la que no solo me he formado como profesional sino como un ser humano
sensible ante muchos aspectos de la vida...

A la vida, la que ha llevado a ser perseverante y a nunca decaer, la
que me enseña día a día lo maravilloso de vivir...

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por todo tu apoyo una cada una de las etapas de mi vida,
por todo tu amor... Te amo..

A mi padre, por lo mucho que he aprendido... Te adoro..

A mi hermana Vanessa, mi compañera de vida, con quien comparto
todo y porque los lazos que nos unen son para siempre...

A mi nonna, por todo tu cariño y tu colaboración...

A mi Tía Irma, a mi prima Yosmar y a mi prima comadre Yoli, por todo
su apoyo, por sus palabras de aliento y por su confianza en mi...

A Vicky y José Miguel, por todas las alegrías que han traído a nuestra
familia... Los amo...

A mis amigas, Romina, Emelys, Marcela, Mari y Sylvie, ustedes son
parte de mi familia y les agradezco cada palabra y todo su apoyo...

A Karina y a José, mis compañeros desde el principio, mis amigos a
los que agradezco todo su cariño, su apoyo y su enorme paciencia...

A Jesús, mi compañero...♡ Gracias por todo tu apoyo, por tu ayuda
en mi trabajo. Este trabajo no sería lo que es sino fuese por ti... Te amo...

A Agustín y Verónica, gracias por todo su apoyo y su ayuda en estos
últimos meses...

A Melissa y Luisa C., muchas gracias por todo su apoyo y por todos
los momentos lindos que hemos compartido juntas...

Al Sr.Pablo, por toda su dedicación, su trabajo... Este trabajo no
hubiese sido posible sin su ayuda... Muchas Gracias...

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

A la Profesora Jimena Arcaya, Muchísimas gracias por toda su ayuda desinteresada, fue un apoyo insuperable y agradezco cada uno de sus gestos... Muchas Gracias...

A la Profesora María Eugenia Korody, que ha sido durante toda mi carrera un punto de apoyo, agradezco cada uno de sus consejos y todas las veces que confió en mí y me ayudo... Muchas gracias...

A la Profesora Yuri Medina, agradezco toda su fuerza, sus palabras de aliento, muchas gracias... mucho de esto también es gracias a usted..

Al Profesor José de Jesús Gaspar, agradezco todo su apoyo, su tiempo y su confianza. Este trabajo sin duda, es lo que es por su gran apoyo...

Luisa Elena Liñeira

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
I CAPÍTULO I: GENERALIDADES	2
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.2 ANTECEDENTES.....	5
I.3 APORTES	9
I.4 OBJETIVOS	11
I.4.1 <i>Objetivo General:</i>	11
I.4.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	11
I.5 MARCO METODOLÓGICO	12
II CAPÍTULO II: ALIVIADEROS EN LABERINTOS.	16
II.1 ALIVIADEROS EN LABERINTOS	17
II.1.1 <i>PARÁMETROS DE DISEÑO</i>	22
II.1.1.1 RELACIÓN LONGITUD EFECTIVA DEL VERTEDERO ENTRE ANCHO DEL VERTEDERO (MAGNIFICACIÓN) <i>LeW</i>	26
II.1.1.2 RELACIÓN CARGA HIDRÁULICA ENTRE ALTURA DE LA CRESTA <i>HP</i>	27
II.1.1.3 RELACIÓN <i>wP</i>	28
II.1.1.4 FORMA DE CRESTA.....	28
II.1.1.5 ÁNGULO DE LAS PAREDES α	30
II.1.1.6 CONDICIONES DEL FLUJO EN LA CANALETA DE APROXIMACIÓN.....	30
II.1.1.7 CONDICIONES DEL FLUJO EN LA CANALETA DE DESCARGA.....	32
II.2 MODELOS FÍSICOS EN LA INVESTIGACIÓN HIDRÁULICA.....	34
II.2.1 <i>ANÁLISIS DIMENSIONAL</i>	35
II.2.1.1 NÚMERO DE FROUDE	37
II.2.1.2 NUMERO DE WEBER	39
III CAPÍTULO III: CURVAS DE DESCARGA.....	43
III.1 CURVAS DE DESCARGA.....	44
III.2 COEFICIENTE DE DESCARGA.....	54
III.2.1 <i>ALTURA DE LA CRESTA</i>	54
III.2.2 <i>ESPELOR DE LAS PAREDES</i>	54
III.2.3 <i>FORMA DE LA CRESTA</i>	55
III.2.4 <i>ANCHO DEL ÁPICE</i>	56

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

III.2.5	ÁNGULO DE LAS PAREDES α	56
IV	CAPITULO IV: OLEAJE CRUZADO	58
IV.1	REGÍMENES DEL FLUJO.....	59
IV.2	ONDAS CRUZADAS	59
IV.3	CONTRACCIONES EN FLUJO SUPERCRÍTICO	60
V	CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	62
V.1	DIMENSIONAMIENTO DEL VERTEDERO	63
V.2	EQUIPO UTILIZADO	71
V.3	CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE CRUZADO	73
V.4	CANALETAS DE DESCARGA.....	76
V.5	OLEAJE TRANSMITIDO AL CANAL RÁPIDO.....	78
V.6	CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO	79
	CONCLUSIONES.....	84
	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
VI	APÉNDICES.....	89
VII	ANEXOS	94

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL EMBALSE DOS CERRITOS.....	5
FIGURA 2: CLASIFICACIÓN DE LAS FORMAS DE LOS VERTEDEROS.....	19
FIGURA 3: ELEMENTOS DEL VERTEDERO EN LABERINTOS.....	20
FIGURA 4: CARGA HIDRÁULICA SOBRE VERTEDEROS EN LABERINTOS.	23
FIGURA 5: ELEMENTOS DE VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR.	24
FIGURA 6: CUADRO DE DISEÑO DE VERTEDEROS EN LABERINTOS DE TULLIS, AMANIAN Y WALDRON.....	25
FIGURA 7: VERTEDERO DE CRESTA ANCHA.....	29
FIGURA 8: ORIENTACIONES DE VERTEDEROS EN LABERINTOS EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DEL RESERVORIO.	31
FIGURA 9: FORMAS DE VERTEDERO.....	44
FIGURA 10: FAMILIA DE CURVAS DE TAYLOR PARA VERTEDEROS DE PLANTA TRIANGULAR.	45
FIGURA 11: FAMILIA DE CURVAS DE TAYLOR PARA VERTEDEROS DE PLANTA TRAPEZOIDAL.....	46
FIGURA 12: FAMILIA DE CURVAS DE DARVAS.	47
FIGURA 13: FAMILIA DE CURVAS DE MEGALHÁES Y LORENA	48
FIGURA 14: FAMILIA DE CURVAS DE LUX Y HINCHLIFF PARA VERTEDEROS DE PLANTA TRIANGULAR.....	50
FIGURA 15: FAMILIA DE CURVAS DE LUX Y HINCHLIFF PARA VERTEDEROS DE PLANTA TRAPEZOIDAL.....	50
FIGURA 16: CURVAS DE COEFICIENTE DE DESCARGA PARA VERTEDEROS EN LABERINTOS.	53
FIGURA 17: DETALLES DE FORMA DE CRESTA DE VERTEDERO EN LABERINTOS.	55
FIGURA 18: GEOMETRÍA PROPUESTA PARA VERTEDERO EN EL EMBALSE DOS CERRITOS- EDO. LARA. (VER ANEXO A).....	70
FIGURA 19: VERTEDERO TRIANGULAR UTILIZADO PARA MEDICIONES.	71
FIGURA 20: PERFIL DE AGUAS EN VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR CON CONTRACCIÓN PARA CAUDALES BAJOS.....	74
FIGURA 21: PERFIL DE AGUA DE VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR CON CONTRACCIÓN PARA CAUDALES ALTOS.....	75
FIGURA 22: FLUJO TRANSMITIDO AL CANAL RÁPIDO PARA CAUDALES ALTOS.....	75
FIGURA 23: INTERFERENCIA DE LÁMINAS DE AGUA Y AHOGAMIENTO DE CANALETAS DE DESCARGA.....	76
FIGURA 24: SOBRE ELEVACIÓN DEL PERFIL DE AGUAS EN CANALETAS LATERALES. VISTA DESDE AGUAS ABAJO.....	77
FIGURA 25: TRANSMISIÓN DEL OLEAJE CRUZADO AL CANAL RÁPIDO PARA CAUDALES BAJOS. VISTA DESDE AGUAS ABAJO.	78

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: NIVELES Y VOLÚMENES NOTABLES DEL EMBALSE DOS CERRITOS.	7
CUADRO 2: NÚMERO DE WEBER PARA UN VERTEDERO DE CRESTA VIVA.	40
CUADRO 3: PORCENTAJES EN LOS QUE EL MODELO EXCEDE LOS VALORES DE DESCARGA DEL PROTOTIPO.	41
CUADRO 4: COEFICIENTES DE CURVA DE DESCARGA.	52
CUADRO 5: ESTIMACIONES DE CARGA HIDRÁULICA MÁXIMA PARA UN ÁNGULO DE PAREDES DE $A= 8^\circ$	64
CUADRO 6: ESTIMACIONES DE CARGA HIDRÁULICA MÁXIMA PARA UN ÁNGULO DE PAREDES DE $A= 16^\circ$	65
CUADRO 7: CUADRO DE DISEÑO DE VERTEDEROS EN LABERINTOS.	66
CUADRO 8: VALORES PROPUESTOS PARA PROTOTIPO DE EMBALSE DOS CERRITOS.	68
CUADRO 9: ESCALAS SEGÚN ESPESORES COMERCIALES.	69
CUADRO 10: CALCULO DEL NÚMERO DE WEBER.	69
CUADRO 11: MEDICIONES DE CAUDAL DESCARGADO POR MODELO PARA DISTINTAS CARGAS HIDRÁULICAS.	79
CUADRO 12: FACTORES DE CORRECCIÓN PARA RELACIONES DE H/P UTILIZADAS.	80
CUADRO 13: CAUDALES CORREGIDOS POR EFECTO DE TENSIÓN SUPERFICIAL.	81

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: FACTOR DE CORRECCIÓN POR TENSIÓN SUPERFICIAL.	42
GRÁFICO 2: CURVAS DE DESCARGA DE CAUDAL SIN CORRECCIÓN Y CORREGIDO.	81
GRÁFICO 3: CURVA DE DESCARGA DE CAUDAL CORREGIDO Y SIN CORREGIR Y TEÓRICO PARA UN $A=8^\circ$	82
GRÁFICO 4: CURVA DE CAPACIDADES. EMBALSE DOS CERRITOS.	92
GRÁFICO 5: CURVA DE ÁREAS EMBALSE DOS CERRITOS.	93

Liñeira, L.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE
PLANTA CIRCULAR COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE
DOS CERRITOS- EDO. LARA.**

Tutor Académico: Prof. José de Jesús Gaspar

Trabajo especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil, 2008. N de pág. 100.

Palabras Claves: Modelo Físico, Vertedero en Laberintos, Embalse,
oleaje cruzado.

Se estudió el funcionamiento hidráulico del vertedero en laberintos de planta circular propuesto para aumentar el volumen útil del embalse Dos Cerritos ubicado en el estado Lara. Se caracterizó el oleaje formado y se obtuvo una curva de descarga.

Los vertederos en laberintos son estructuras que permiten el aumento del nivel de aguas normales (N.A.N) manteniendo el nivel de aguas máximas (N.A.M) valiéndose del incremento de la longitud efectiva del vertedero (L_e) a pesar de su notable disminución del coeficiente de descarga frente a un vertedero frontal recto, de allí su utilidad para recuperar o incrementar la capacidad de los embalses en funcionamiento, sustituyendo vertederos con cimacios tipo Ogee o Creager.

En la solución propuesta, se plantea la sustitución del cimacio de 15 m de ancho por un vertedero en laberintos de longitud 154,64 m. El espacio

disponible permite ubicar un vertedero en laberintos de planta circular lo que incrementa de forma notable su longitud. La literatura disponible no considera esta disposición en planta, normalmente se refiere a vertederos en laberintos de planta recta, lo cual justifica el estudio en modelo físico reducido.

En la solución propuesta se trata en lo posible de mantener el mayor número de elementos constituyentes del aliviadero existente.

En los ensayos se pudo observar para bajos caudales la formación de oleaje el cual se suma hacia el eje central del aliviadero dando origen a una sobre elevación aguas abajo de la zona de transición y oleaje que se transmite al canal rápido. En caudales altos desaparece el oleaje, el funcionamiento del canal rápido es aceptable.

Al respecto se formularon recomendaciones para mejorar la geometría evitando la formación de oleaje. También en las canaletas de descarga se observó poca capacidad y sobre elevación en las canaletas de descarga laterales, se formularon recomendaciones para su solución. Finalmente se obtuvo una curva de descarga experimental que se ajustó bastante bien a la curva teórica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las crecientes demandas de agua han requerido la mejora y la modificación de algunas estructuras de alivio existentes, a fin de aumentar la capacidad del vaso de almacenamiento de los embalses. Esto ha conducido a que muchos investigadores se sientan interesados en el estudio de diversas estructuras que permitan el incremento de la capacidad de almacenamiento bajo limitadas condiciones de espacio. En los últimos tiempos estructuras como los aliviaderos en laberintos han creado un gran impacto debido a sus características particulares; las cuales permiten aumentar el nivel de aguas normales (N.A.N) de un embalse manteniendo el nivel de aguas máximas (N.A.M).

Basado en investigaciones previas y a los buenos resultados que se han obtenido del comportamiento de estas estructuras, y debido a las necesidades que presenta las poblaciones de Barquisimeto, Quibor, Bobare y El Tocuyo en cuanto al abastecimiento de agua, y a la disminución del vaso de almacenamiento del embalse Dos Cerritos por efectos de sedimentación, se plantea como posible solución un vertedero del tipo laberintos de planta circular que permita incrementar el volumen útil y la longitud del vertedero con el mismo ancho de canal.

Debido a lo novedoso de los vertederos en laberintos, no se dispone de literatura suficiente que permita el diseño de un vertedero de este tipo sin recurrir al estudio en un modelo físico.

En el presente trabajo especial de grado, se hace una investigación bibliográfica sobre este tipo de estructuras y se observa en un modelo físico los aspectos más significativos del vertedero en laberintos con planta circular propuesto para el aliviadero del embalse Dos Cerritos.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

GENERALIDADES

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En 1973-1974 fue puesto en servicio el embalse José Félix de Los Ríos, comúnmente llamado Dos Cerritos, ubicado en el Estado Lara; este embalse regula los aportes del río Tocuyo y además cursos menores siendo los más significativos los provenientes de la quebrada La Goajira. Dos Cerritos fue diseñado con una información hidrológica limitada. Pocos años después se notó un incremento de la frecuencia de alivios, lo cual se ha interpretado como un aprovechamiento incompleto de los aportes del río, además de una reducción del vaso de almacenamiento por efectos de sedimentación.

El aporte de sedimentos es elevado como consecuencia de las características geológicas de cuencas formadas por suelos de fácil arrastre por las lluvias y la actividad humana que rodea al embalse. Con el pasar de los años todas esas actividades han contribuido a que embalse haya disminuido su capacidad, sabiendo recientemente que la capacidad del embalse se ha reducido en un 38%, según batimetría realizada en 2007 por el Ministerio del Ambiente. De esta forma, se reduce la capacidad original para regular los aportes de agua que se pierde por no poder ser retenida en el embalse, agua que es necesaria para el abastecimiento de la población de Barquisimeto, Quibor, El Tocuyo, Bobare y para otros usos como lo es, el riego de cultivos.

El agua proveniente de El Río Tocuyo y La Quebrada La Goajira que se pierde, puede ser aprovechada si se aumenta el nivel de aguas normales mediante la construcción de un vertedero más alto, pero aumentar el nivel de aguas normales mediante un vertedero convencional aumentaría el nivel de

aguas máximas, requiriendo un aumento de la altura de presas que en este caso no es posible por condiciones particulares de fundación y de diseño de las presas.

Por estas razones y debido a las condiciones que caracterizan el embalse, se ha propuesto como posible solución la construcción de un vertedero en laberintos de planta circular, estructura que por sus características especiales de geometría, puede aumentar el nivel de aguas normales manteniendo el nivel actual de aguas máximas que posee el embalse incrementando así su capacidad de almacenamiento.

El incremento del almacenamiento de los embalses mediante vertederos en laberintos, se ha hecho práctica común en los últimos años, a los fines de compensar el volumen de almacenamiento perdido por sedimentación.

Al observar esta situación si se realiza el estudio del comportamiento hidráulico del vertedero en laberintos de planta circular como solución, se plantean las siguientes interrogantes ¿Cómo es el oleaje cruzado originado tanto por la configuración geométrica del vertedero como por la convergencia de las paredes laterales?, ¿Cómo puede atenuarse el oleaje cruzado?, La geometría propuesta ¿Induce ahogamiento del vertedero?, ¿Cómo se puede modificar la solera para disminuir el ahogamiento?.

En síntesis, el objetivo general es caracterizar mediante un modelo físico un vertedero en laberintos de planta circular, donde se realicen observaciones tales que, permitan responder en lo posible las interrogantes planteadas.

I.2 ANTECEDENTES

El embalse Dos Cerritos está ubicado a unos 4 Km de la población de El Tocuyo en el Municipio Bolívar, Distrito Morán, Estado Lara. Fue desarrollado con la finalidad de regular los aportes del río Tocuyo y la quebrada la Goajira y usarlos para el abastecimiento de la ciudad de Barquisimeto, Quibor, Bobare y El Tocuyo. Además de esta finalidad, también fue construido para contribuir con el riego de las plantaciones aguas abajo del embalse, y a su vez con fines turísticos. En la Figura 1 se puede observar la ubicación geográfica del embalse.



Figura 1: Ubicación geográfica del Embalse Dos Cerritos.

Fuente: Imagen satelital Google Earth.

El embalse se estableció con la construcción de dos presas, una sobre la quebrada La Goajira y otra sobre el río Tocuyo. Ambas presas cierran contra una colina central en la cual se ubica la obra de toma y el aliviadero. El embalse cubre rocas lutíticas de la Formación de Morán. En los sitios de

presa esta lutita, está cubierta por un manto aluvial que alcanza hasta unos 7 metros de espesor, aluvión formado principalmente por gravas arenosas, arenas arcillosas y arenas gravosas.⁽⁴⁾

Para la época la actividad sísmica constituyó un papel importante debido a que después del muy conocido terremoto de 1950 se presentaron una sucesión periódica de temblores de menor intensidad y debido a que la Falla de Sanare se encuentra ubicada a 9 Km. al sureste del embalse Dos Cerritos, se realizaron estudios que mostraron que la presa debía ser diseñada acorde a las condiciones de alta sismicidad del sitio, lo cual es un factor a tomar en cuenta si se pretende sustituir el aliviadero por una estructura como la planteada de un vertedero en laberintos, aumentando de esta forma el nivel de aguas normales.

Del embalse es importante señalar sus niveles y volúmenes notables. La información existente sobre los niveles y sobre los volúmenes de almacenamiento del embalse presenta discordancias con los valores indicados en el proyecto original de Dos Cerritos¹, allí se fija la cota de cresta en 666,80 m.s.n.m. lo que correspondería a ese mismo valor para el nivel de aguas normales (N.A.N); sin embargo los datos suministrados por el Ministerio del Ambiente Barquisimeto⁽¹²⁾ y los resultados obtenidos en el levantamiento realizado en el año 2008 por el mismo ente indican una cota del cimacio en el centro de 667,05 m.s.n.m, en el extremo derecho de 667,00 m.s.n.m y en el extremo izquierdo de 667,08 m.s.n.m, por esta razón parece conveniente presentar todos los datos obtenidos mediante un cuadro que muestre los valores que se tienen como referencia; para los fines de este trabajo se utilizarán los valores correspondiente a los datos originales con las modificaciones correspondientes a últimos levantamientos.

¹ Proyecto original de OTHEA C.A, datos tomados del plano N° 8-LAR-10-62. Planoteca del Ministerio Para el Poder Popular del Ambiente y los Recursos Naturales.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

En el Cuadro 1 que se muestra a continuación, se pueden observar los valores del embalse según las distintas fuentes consultadas.

Cuadro 1: Niveles y volúmenes notables del embalse Dos Cerritos.

Valores	MARN ⁽¹²⁾	Revista El Agua ⁽⁴⁾	Proyecto OTHEA C.A. ⁽¹¹⁾
N.A.N (m.s.n.m)	667,05	666,80	666,80
N.A.Máximas (m.s.n.m)	672,70	672,66	672,70
N.A.Mínimas(m.s.n.m)	660,00	-----	-----
N.A.Muertas(m.s.n.m)	651,40	-----	-----
Cota cresta Presa(m)	673,30 ¹	-----	673,33
Cota Cresta Cimacio(m)	667,05 ²	-----	666,80
Cota canal de aproximación(m)	-----	-----	665,58
Superficie del Embalse (Ha)	916,66	-----	-----
Caudal Máximo (m ³ /s)	425,00	425,00	430,00
Capacidad a Nivel Máximo(m ³)	216 x 10 ⁶	-----	-----

Fuente: Elaboración propia.

La alta frecuencia de los alivios se ha interpretado como un aprovechamiento incompleto de los aportes del río. Además de esto, el río Tocuyo aporta grandes cantidades de sedimentos como consecuencia de la geología de cuenca y la actividad humana, caracterizada por suelos fáciles de ser arrastrados por las lluvias. Al tomar en consideración esto y en la medida que aumentan los años de servicio la capacidad del embalse disminuye por efecto de la deposición de los sedimentos y se reduce su capacidad de regulación de los aportes. Esto también es causa del incremento en la frecuencia de los alivios. Se debe considerar que este embalse fue diseñado con una información hidrológica bastante limitada.⁽¹¹⁾

Debido a esta situación con respecto a los excesos de alivios, se han hecho estudios preliminares que apuntan hacia la ampliación de la capacidad

¹ Valor Original. Los valores medidos indican una cota de 673,24 m.s.n.m por la izquierda y 673,26 m.s.n.m por la derecha.

² Valor del centro del cimacio. Los valores medidos indican una cota de 667,00 m.s.n.m por la derecha y 667,08 m.s.n.m por la izquierda.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

del embalse, para poder así aprovechar los aportes e incrementar así la disponibilidad de agua a las poblaciones abastecidas por el embalse. Todos estos estudios han resultado poco satisfactorios debido a que plantean la elevación del nivel de aguas máximas (N.A.M) lo cual no es posible dadas las características particulares de la presa.

I.3 APORTES

Realizar el estudio del comportamiento hidráulico de un vertedero en laberintos, aportará información y data sobre el funcionamiento de estas estructuras, cada vez más en uso, para ampliar la capacidad de alivio y de almacenamiento de embalses que han perdido capacidad por sedimentación o requieren ampliar sus aliviaderos. El caso de un aliviadero en laberintos en planta circular seguida de una contracción, constituye un caso particular no considerado para la elaboración de gráficos y tablas de diseño publicadas en la literatura consultada.

En vista de la necesidad que presenta la población de El Tocuyo, Barquisimeto, Quibor y Bobare en cuanto a la dotación de agua necesaria para su consumo y dada la importancia que el embalse Dos Cerritos tiene, es importante aumentar el volumen útil del embalse dadas las necesidades que presentan los acueductos que abastece. Esta modificación del vertedero será de gran beneficio para satisfacer las necesidades existentes y futuras de la población en cuanto a dotación de agua se refiere.

La construcción de un vertedero en laberinto es la solución más económica para incrementar los aportes del embalse y proporcionar un volumen de agua adicional al acueducto de Barquisimeto. Otras fuentes de abastecimiento están lejanas y requieren bombeo a distancia y alturas considerables, lo que las hace soluciones posibles, pero que requerirán una mayor inversión y un mayor mantenimiento del sistema de abastecimiento, el aporte adicional del embalse Dos Cerritos, se traduce en una reducción de costos de bombeo desde otras fuentes previstas a desarrollar.

El realizar un estudio del comportamiento hidráulico de un vertedero en laberintos mediante un modelo físico como solución para el embalse Dos Cerritos, será un gran aporte para la investigación nacional, pues en Venezuela no existe aun ningún aliviadero en laberintos y a pesar de que

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

están cada vez más en uso este tipo de estructuras a nivel mundial, la información existente está limitada, a la literatura disponible.

Adquirir conocimientos básicos sobre el funcionamiento y diseño de aliviaderos. Crear habilidades intelectuales para solucionar problemas de hidráulica que requieran su estudio en modelos físicos.

I.4 OBJETIVOS

I.4.1 Objetivo General:

Modelar el comportamiento hidráulico de un vertedero en laberintos con eje de planta circular mediante modelo físico.

I.4.2 Objetivos Específicos:

1. Dimensionar un vertedero en laberintos que incremente el nivel de aguas normales manteniendo el nivel de aguas máximas actuales.
2. Caracterizar el comportamiento del oleaje cruzado generado por el vertedero y por las paredes en contracción que siguen al vertedero.
3. Identificar el efecto de la altura de aguas posterior al vertedero.
4. Caracterizar la transmisión del oleaje al canal rápido.
5. Generar la curva de descarga del vertedero.
6. Contrastar los coeficientes de descarga calculados con los reportados en la literatura reciente.
7. Formular recomendaciones para mejorar el comportamiento de este vertedero.

I.5 MARCO METODOLÓGICO

En la historia de la Mecánica de los Fluidos y la Hidráulica, la observación ha sido uno de los principales métodos de investigación dada la carencia en algunos casos de procedimientos analíticos. El incluir modelos físicos como técnica fundamental de investigación es un método muy propio y antiguo de la Hidráulica.

Para llevar a cabo esta investigación a continuación se describirá el método a seguir en función de los objetivos planteados, con la finalidad de obtener conclusiones y recomendaciones en cuanto a la geometría del vertedero en laberintos propuesto.

“Dimensionar un vertedero en laberintos que incremente el nivel de aguas normales manteniendo el nivel de aguas máximas actuales”

Obtención de información básica:

Para el desarrollo de este objetivo se recopilará toda la información existente de interés para el diseño del nuevo vertedero. Esto comprende la revisión de planos, memorias descriptivas, los informes técnicos más recientes y cualquier información que pueda ser útil para alcanzar los objetivos propuestos.

Procesamiento de la información:

Obtenida la información se procederá a su estudio de manera de obtener conocimiento de las condiciones existentes, básicas para proceder al diseño de las nuevas estructuras.

Diseño del vertedero en laberintos:

Se dispone de un pre dimensionamiento que será analizado de manera de ajustarlo a los requerimientos de aumento máximo del volumen útil manteniendo el mismo nivel de aguas máximas (NA.M).

Se obtendrán así los valores de altura del vertedero (P) y longitud total del vertedero (L) y la disposición en planta del vertedero en laberintos.

Elaboración de modelo físico:

Seguido de la obtención de la escala que deberá tener el vertedero del modelo físico se procederá a su construcción e instalación en el canal de ensayos.

“Caracterizar el comportamiento del oleaje cruzado generado por el vertedero y por las paredes en contracción que siguen al vertedero.”

Caracterización del oleaje generado por la geometría del vertedero y convergencia de los muros laterales del aliviadero:

El oleaje cruzado en este caso se origina en cada uno de los ápices del vertedero en laberintos y como efecto de la convergencia de los muros laterales del aliviadero.

Para cumplir con este objetivo una vez instalado el modelo se procederá a estabilizar el régimen para distintos caudales y hacer las observaciones del oleaje generado.

“Identificar el efecto de la altura de aguas posterior al vertedero.”

Identificación del efecto de la altura de aguas posterior al vertedero:

Al iniciar el funcionamiento del modelo físico se realizarán las observaciones correspondientes con respecto al efecto de ahogamiento que se pudiese generar posterior a las paredes del vertedero en las canaletas de descarga. La convergencia de las paredes del espacio que sigue al vertedero, en conjunto con el oleaje cruzado pudiera elevar el nivel de aguas y ahogar la descarga del vertedero y reduciendo de esta forma el caudal descargado. Para cumplir con este objetivo se observarán en el modelo las alturas de las aguas y posible efecto en el caudal de descarga.

“Caracterizar la transmisión del oleaje en el canal rápido.”

Caracterización del oleaje en el canal rápido:

El oleaje cruzado que se forma en el espacio posterior al vertedero, se transmitirá hacia aguas abajo en el canal rápido. En el modelo físico se hará la observación y caracterización de este oleaje para distintos rangos de caudales. Se hará una observación de la transmisión del oleaje cruzado al canal rápido.

“Generar la curva de descarga del vertedero.”

Búsqueda de información:

Se dispone de la curva de descarga para un aliviadero en laberintos obtenida con los ábacos y gráficos disponibles en la literatura. En el modelo físico, se harán las mediciones necesarias para obtener la curva real de descarga. Debe recordarse que la literatura disponible se refiere a aliviaderos con planta recta.

Procesamiento de la información:

Se harán mediciones del caudal en el modelo físico para diferentes cargas actuantes (H) de manera de determinar la curva de descarga, e igualmente conocer los valores C_d modificados por efectos de la disposición circular del vertedero.

“Contrastar los coeficientes de descarga calculados con los reportados en la literatura reciente.”

Contrastar coeficientes de descarga de bibliografía con los calculados:

Con este objetivo se pretende mostrar los resultados obtenidos de forma comparativa con lo que se tiene de la literatura. Se podrá conocer como la implantación de un arco de círculo altera el coeficiente de descarga.

“Formular recomendaciones para mejorar el comportamiento de este vertedero.”

Análisis de los resultados:

Se pretende formular recomendaciones que generen mejoras de funcionamiento con respecto a la geometría particular de la cresta, el vertedero y el canal rápido. Además de esto, recomendaciones acerca de cómo atenuar los efectos del oleaje cruzado y el ahogamiento después del vertedero que se genera por las características particulares de la geometría del vertedero y por la contracción de las paredes, en el canal de aproximación particular del embalse Dos Cerritos. De igual manera se espera en lo posible formular recomendaciones para futuras investigaciones.

**CAPITULO II: ALVIADEROS EN
LABERINTOS.**

ALIVIADEROS EN LABERINTOS

II.1 ALIVIADEROS EN LABERINTOS

Los aliviaderos son estructuras componentes de los embalses; su función principal es evacuar en forma segura y controlada los excesos de agua que no han sido previstos ser regulados por el embalse, de manera tal, que esté garantizada la integridad física de la presa y de las obras conexas, con la finalidad de que no se causen daños inaceptables aguas abajo.⁽¹⁾

Todo aliviadero dispone de un canal de aproximación, un vertedero al cual sigue un canal rápido y una estructura final de disipación seguida de un canal que conduce las aguas al antiguo cauce del río.

El vertedero es el componente responsable del control de la descarga, estableciendo una relación única entre el caudal descargado y la altura de aguas en el embalse. El vertedero más común es el cimacio. Este normalmente se ubica perpendicular a la dirección del flujo, pero puede tener variantes pudiese ser en abanico, circular, etc. Para que los aliviaderos convencionales puedan aumentar la capacidad de almacenamiento, deben elevar el nivel de aguas normales (N.A.N) del embalse al que regulan, lo que conlleva a un aumento del nivel de aguas máximas (N.A.M) y de la cota de la presa. Elevar la cota de la cresta de la presa, no siempre es posible, debido a sus particularidades de diseño también en algunos casos, las condiciones de fundación de la presa, no lo permiten.

Los elementos significativos en la determinación de la capacidad de los vertederos son la carga hidráulica actuante (H), altura del vertedero (P), longitud efectiva del vertedero (L_e), geometría del perfil del vertedero o forma de la cresta (r) y las condiciones aguas abajo. La capacidad de los

vertederos se refiere a la relación del caudal descargado para una carga hidráulica (H) sobre la cresta. De todos estos elementos, la longitud del vertedero (L) es uno de los términos más influyentes en su capacidad.

Debido a las crecientes demandas de agua y a la pérdida de la capacidad de los embalses, muchos de los vertederos existentes deben ser rehabilitados para incrementar su capacidad de almacenamiento; sin embargo, para muchos aliviaderos, el ancho del canal de aproximación y el ancho del canal de descarga no pueden ser aumentados. Para aumentar la longitud de cresta (L) se debe mantener constante el ancho (W) del canal; para esto el vertedero puede ser colocado en un ángulo con respecto al canal rápido a fin de aumentar la longitud del vertedero (L), esto da origen a vertederos en Pico de Pato, Batea, abanicos, etc. En todas estas variantes, el vertedero es un cimacio.

Un cimacio, debido al desarrollo necesario de un perfil tipo Creager o Ogee hacia aguas abajo, requiere de un cierto espacio en el sentido del flujo, no ocurre lo mismo con un vertedero de cresta viva o de pequeño ancho y si además, este es colocado en forma de zig-zag su disposición permite un aumento significativo de la longitud del vertedero (L). Tratándose de un muro sencillo se tiene una mayor longitud de vertedero (L) que con un cimacio para el mismo ancho de canal (W) disponible. En definitiva, el vertedero en laberintos no es más que un vertedero de pared en cresta viva o cresta ancha, que sigue un alineamiento en zig-zag.

En la Figura 2 se pueden observar las distintas formas de los vertederos en función de las configuraciones en las cuales se podrían colocar los vertederos con respecto a la dirección del flujo, a fin de obtener una longitud total de cresta (L) mayor.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

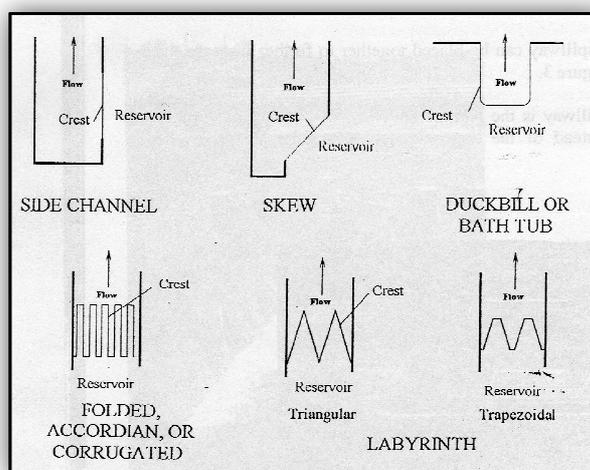


Figura 2: Clasificación de las formas de los vertederos.

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

En el marco de estas condiciones propias de los aliviaderos y por las condiciones particulares planteadas como la problemática que presenta el embalse José Félix De los Ríos, conocido como el embalse Dos Cerritos, se presenta como una posible solución la implementación de un vertedero en laberintos; estructura que por sus características particulares permite un aumento de la longitud efectiva del vertedero (L_e) y con esto un incremento en su capacidad de descarga (Q), lo que permitirá aumentar el nivel de aguas normales (N.A.N) manteniendo el nivel de aguas máximas (N.A.M) actual del embalse. La geometría propia del vertedero en laberintos genera una disminución en el coeficiente de descarga (C_d) pero esta disminución se ve valiosamente compensada con el aumento de la longitud efectiva del vertedero (L_e), permitiendo así un aumento en el caudal de descarga (Q) bastante significativo.

En la Figura 3 se puede observar una vista en planta de un vertedero en laberintos de planta recta en la que cual se identifica cada uno de los elementos de un vertedero en laberintos con planta recta.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

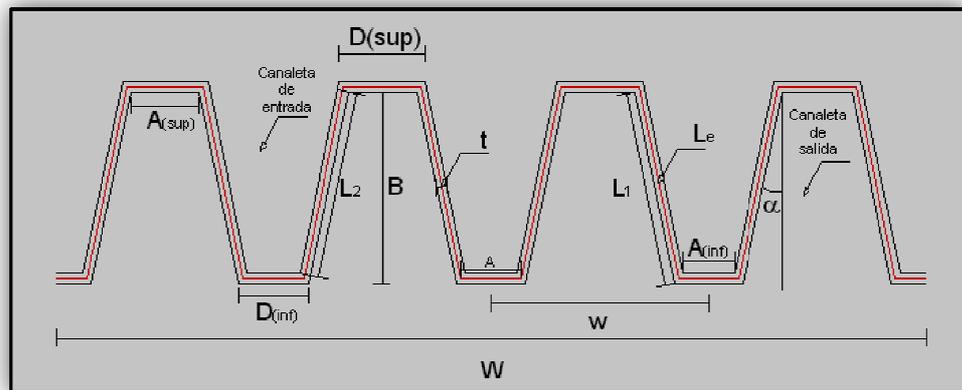


Figura 3: Elementos del vertedero en laberintos.

Fuente: Elaboración propia en base a Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

Donde:

L_1 : Longitud total de pared del vertedero.

L_2 : Longitud efectiva de pared del vertedero.

W : Ancho total donde se coloca el vertedero.

w : Ancho de ciclo.

$D_{(sup)}$: Dimensión externa del ápice (superior).

t : Espesor de las paredes.

α : Ángulo de la pared con la disposición del canal.

$D_{(inf)}$: Dimensión externa del ápice (inferior)

$A_{(sup)}$: Dimensión interna del ápice (superior).

$A_{(inf)}$: Dimensión interna del ápice (inferior).

A : Ápice.

B : Longitud de canaleta de entrada o salida.

L_e : Longitud efectiva total.

Una condición a considerar en los aliviaderos en laberintos, es que el flujo sobre los vertederos que poseen un ángulo de incidencia en su canaleta de descarga, posee características especiales las cuales no se observan en los vertederos rectos convencionales. En vertederos rectos las líneas del flujo son perpendiculares a la cresta, el flujo es bidimensional (se puede describir su movimiento solo con dos dimensiones), sin embargo los vertederos que son colocados en ángulo con la dirección del flujo, la líneas de corriente se desarrollan en tres dimensiones. El flujo sobre los vertederos en laberintos es complicado, es tridimensional por ello una solución matemática exacta se hace muy compleja. Por esto, los investigadores han usado modelos físicos para determinar las magnitudes de los coeficientes de sus ecuaciones. Estos coeficientes deben tomar en cuenta variables geométricas adicionales como lo es el ángulo de las paredes (α).

Sus resultados indican que las curvas y ecuaciones que ellos desarrollaron, pueden ser usadas para cálculos iniciales de disposiciones de cresta triangulares y trapezoidales de vertederos en laberintos.

Las curvas fueron desarrolladas en términos del ángulo de las paredes (α) y la diferencia entre ambas disposiciones de vertederos (Triangular o trapezoidal) con respecto al coeficiente de descarga (C_d) es generalmente menor al 10%.⁽⁵⁾

II.1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

La metodología empleada para el diseño del vertedero en laberintos de planta circular propuesto como solución en este trabajo para el embalse Dos Cerritos, basa su diseño conceptual en el trabajo realizado por Tullis, Amanian y Waldron⁽¹⁴⁾, desarrollado para vertederos en laberintos de planta recta. Estos investigadores basan y comparan su investigación con investigaciones anteriores, obteniendo resultados semejantes.

La referencia citada utiliza la ecuación básica de los vertederos para calcular la capacidad de descarga (Q) de los vertederos en laberintos,

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot L_e \cdot [\sqrt{2 \cdot g}] \cdot H^{1.5} \quad (\text{Ec. 1}).$$

Donde:

Q: Caudal descargado.

L_e : Longitud efectiva de la cresta.

C_d : Coeficiente de descarga.

H: Carga Hidráulica aguas arriba del vertedero.

El coeficiente de descarga (C_d) a ser utilizado para el cálculo del caudal de descarga (Q) es el desarrollado por los autores antes mencionados en función del ángulo de las paredes (α) y de la relación H/P.

Con respecto a la carga hidráulica (H), en el caso de los vertederos rectos convencionales esta es una medida de la profundidad del agua, aguas arriba de la cresta del vertedero. En los vertederos en laberintos se toma como valor de la carga hidráulica (H) la diferencia de alturas entre el nivel de agua en el embalse y la cota de la cresta del vertedero aguas arriba de este, en la zona de régimen bidimensional, y aguas tranquilas como se muestra en la Figura 4.

Esto se debe a las condiciones de flujo tridimensional y a su vez a la dificultad de estimar en qué medida aumenta el caudal unitario (q) por unidad de longitud debido a la contracción en la canaleta de aproximación y en qué medida disminuye el caudal unitario (q) debido a la descarga en las paredes del vertedero, ocasionando esto que la carga hidráulica (h) cercana a la cresta del vertedero sea variable.

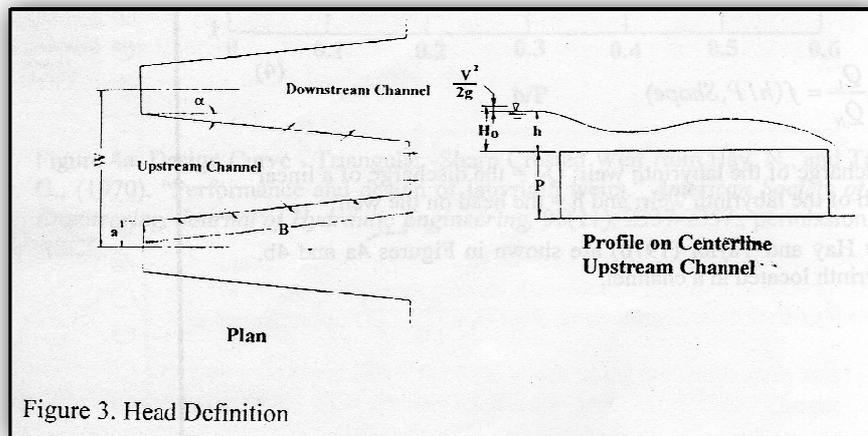


Figure 3. Head Definition

Figura 4: Carga hidráulica sobre vertederos en laberintos.

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.¹

En un aliviadero con vertedero recto y con un canal de aproximación de ancho igual al ancho del vertedero (W), la longitud efectiva de la cresta (L_e) es igual al ancho del vertedero. La longitud total del vertedero en laberintos (L) está definida por la longitud que se mide a lo largo del vertedero en laberintos en la mitad del espesor es decir por el eje central de las paredes del vertedero, como se indica en la Figura 5. La longitud efectiva del vertedero en laberintos (L_e) a considerar será igual a la longitud total de la cresta del vertedero (L).

¹ En la figura 4 la nomenclatura indica que H_0 es la carga hidráulica H , la cual es la nomenclatura correspondiente a este trabajo.

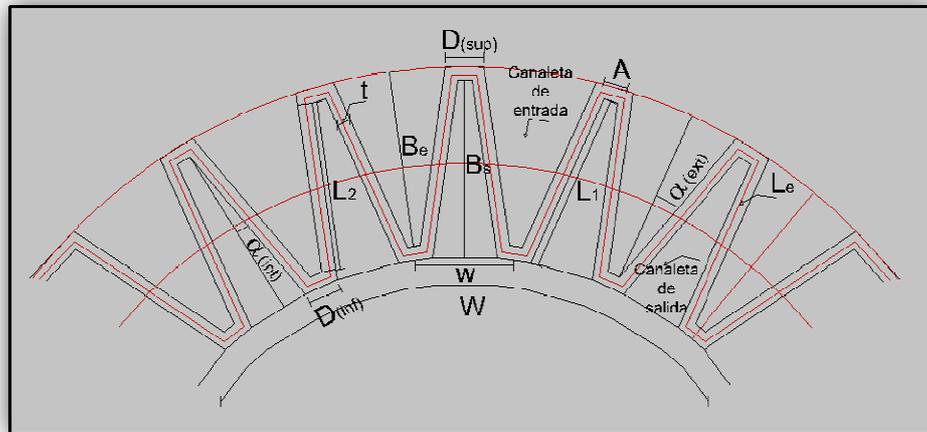


Figura 5: Elementos de vertedero en laberintos de planta circular.
Fuente: Elaboración propia. Vista en planta de modelo físico propuesto para embalse Dos Cerritos.

De acuerdo con el trabajo presentado por Tullis, Amanian y Waldron⁽¹⁴⁾ estos autores plantean el uso de un cuadro de diseño que incluye todas las variables, criterios y recomendaciones que ellos consideran relevantes para el diseño de vertederos en laberintos. Este cuadro en el que los autores resumen los parámetros de diseño, presenta la información de forma tal de que se establezcan ciertas condiciones geométricas que ayuden a mantener los diseños en rangos económicos y eficientes, pero siempre tomando en consideración que son simples recomendaciones debido a que un desarrollo matemático exacto no es posible debido a las características particulares del flujo. Por esta razón estos y otros autores plantean el desarrollo de un modelo físico para cada caso o diseño particular.

La Figura 6 muestra el cuadro para el diseño de vertederos en laberintos planteado en el trabajo de Tullis, Amanian y Waldron⁽¹⁴⁾ en el cual los elementos están organizados de forma tal que haya un bloque de datos en el que se coloquen los valores originales y conocidos del embalse, otro bloque en el que se suponen datos para el desarrollo del diseño (en este caso los autores dan para cada uno de los términos recomendaciones para

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

su selección), el siguiente bloque incluye todos los valores calculados en base a relaciones geométricas. En la columna de observaciones se incluyen ecuaciones geométricas que facilitan el cálculo de estos valores, el último bloque incluye estimaciones de volúmenes de concreto a utilizar según el diseño.

TABLE 1. Spreadsheet for Designing Labyrinth Weirs				
Parameter (1)	Symbol (2)	Value (3)	Units (4)	Source/equation/notes (5)
(a) Given input-system data				
Maximum flow	Q_{max}	1,538	(m ³ /s)	Input
Maximum reservoir elevation	res	1,680.91	(m)	Input
Approach channel elevation	—	1,675.75	(m)	Input
Crest elevation	el	1,678.80	(m)	Input
Total head	H_t	1.975	(m)	$H_t = res - crest - loss$
(b) Assumed data				
Estimated inlet loss at Q_{max}	Loss	0.13	(m)	Estimated
Number of cycles	N	13	—	Select to keep $w/P \sim 3$ to 4
Crest height	P	3.05	(m)	Set $P \sim 1.4 H_t$
Angle of side legs	α	8.0	(deg)	Normally $8^\circ - 16^\circ$
(c) Calculated data				
Thickness of wall	t	0.51	(m)	$t = P/6$
Inside width at apex	A	0.95	(m)	Select between t and $2t$
Outside width of apex	D	1.83	(m)	$D = A + 2t \cdot \tan(45 - \alpha/2)$
Total head/crest height	H_t/P	0.648	—	—
Crest coefficient	C_d	0.3255	—	Eq. (3)
Effective crest length	L	576.6	(m)	$1.5 Q_{max} / [(C_d H_t^{1.5}) \cdot (2g)^{0.5}]$
Length of apron (parallel to flow)	B	22.72	(m)	$B = [L/(2N) + t \cdot \tan(45 - \alpha/2)] \cos(\alpha) + t$
Actual length of side leg	L_1	22.45	(m)	$L_1 = (B - t) / \cos(\alpha)$
Effective length of side leg	L_2	22.02	(m)	$L_2 = L_1 - t \cdot \tan(45 - \alpha/2)$
Total length of walls	L_3	620	(m)	$L_3 = N(2L_1 + D + A)$
Distance between cycles	w	9.42	(m)	$w = 2L_1 \cdot \sin(\alpha) + A + D$
Width of labyrinth (normal to flow)	W	123	(m)	$W = N \cdot w$
Length of linear weir for same flow	—	249	(m)	$1.5 \cdot Q_{max} / [(C_d H_t^{1.5}) \cdot (2g)^{0.5}]; (C_d \text{ for linear weir})$
Distance between cycles/crest height	w/P	3.09	—	Normally between 3 and 4
(d) Concrete volume				
Wall concrete volume	—	293	(m ³)	$vol. = L_3 \cdot P \cdot t$
Apron concrete volume*	—	431	(m ³)	$vol. = W \cdot B \cdot t$
Total	—	655	(m ³)	—

*For apron concrete volume it is assumed that apron thickness is the same as wall thickness.

Figura 6: Cuadro de Diseño de vertederos en laberintos de Tullis, Amanian y Waldron.

Fuente: Tullis J. Paul, Amanian, Nosratollah y Waldron, David. (1995) Design of Labyrinth Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (3): 247-255.

Los estudios sobre vertederos en laberintos muestran que los parámetros más significativos son: la relación L_e/W , la relación carga hidráulica entre altura del vertedero H/P , y el ángulo de las paredes (α). Otras variables que resultan ser importantes como w/P han sido sustituidas por la relación L_d/B , donde (L_d) es la longitud de interferencia de las láminas

de flujo. Esta relación se obtiene debido al efecto que se produce en la canaleta de descarga cuando chocan las láminas de agua provenientes de cada pared del vertedero, formando una zona de interferencia.

El número de ciclos del vertedero (N), no es un parámetro realmente significativo en la determinación de la capacidad de descarga de un vertedero en laberintos a diferencia de las condiciones de aproximación del flujo que poseen una relación significativa en cuanto al valor de la capacidad de descarga.

II.1.1.1 RELACIÓN LONGITUD EFECTIVA DEL VERTEDERO ENTRE ANCHO DEL VERTEDERO (MAGNIFICACIÓN) L_e/W .

En algunas de las referencias utilizadas para el desarrollo de este trabajo a esta relación se le denomina Relación de Magnificación, la cual corresponde a la longitud efectiva de la cresta dividida entre el ancho del laberinto. En la mayoría de los casos el ancho del laberinto (W) corresponde al ancho del canal donde este se coloca, en el caso de un vertedero en laberintos de planta circular, este ancho corresponde a la suma del ancho de cada ciclo (w) dispuestos en forma circular.

Para esta relación algunos autores recomiendan que la misma se mantenga en rangos superiores a 2 pero menores a 9,5 ya que la efectividad de un vertedero en laberintos decrece rápidamente cuando la Relación de Magnificación excede a 10 y para valores menores a 2 se recomienda plantear otra forma de vertedero distinta al laberinto, ya que no es eficiente esta estructura en estas relaciones de L_e/W .

II.1.1.2 RELACIÓN CARGA HIDRÁULICA ENTRE ALTURA DE LA CRESTA H/P.

La relación H/P es la carga hidráulica aguas arriba del vertedero entre la altura de la cresta. Como se mencionó anteriormente la carga hidráulica (h) en las canaletas de aproximación del vertedero en laberintos es variable a lo largo de estas, debido a las características del flujo, por esta razón la carga hidráulica (H) es medida aguas arriba del vertedero.

La relación H/P es muy significativa en el caso de los vertederos en laberintos debido a que el coeficiente de descarga (C_d) disminuye a medida que incrementa (H). Estudios previos indican que los vertederos en laberintos poseen grandes aplicaciones para pequeñas cargas hidráulicas.

Los trabajos de investigación utilizados, recomiendan que la relación H/P se mantenga en valores mínimos de 0,1 y máximos 0,9. Los valores mínimos de 0,1 debido a que en un modelo físico a escala un ligero error en la medición de la elevación de la superficie de agua puede representar cambios significativos en el coeficiente de descarga (C_d) y con valores superiores a 0,9 no se recomiendan ya que la interferencia de las láminas de flujo en la descarga comienzan a ser relevantes disminuyendo el valor del coeficiente de descarga (C_d).

A pesar de todas estas recomendaciones algunos vertederos en laberintos han sido diseñados para relaciones H/P de 1. El estudio en modelo, en este caso es fundamental sobre todo para relaciones de (H/P) >1 donde la totalidad del laberintos se convierte en un vertedero de cresta ancha.

II.1.1.3 RELACIÓN w/P

Algunos autores denominan a este valor como Relación de Aspecto Vertical. Taylor (1968)⁽⁵⁾ recomienda que para minimizar el efecto de interferencia del flujo en la canaleta de descarga la Relación de Aspecto Vertical debe ser superior a 2. Estudios más recientes indican que esta relación no tiene un efecto significativo en la zona de interferencia como se ha pensado hasta ahora. Este criterio ha sido sustituido por la Longitud de Interferencia (L_d)⁽⁵⁾ concepto que será descrito más adelante.

II.1.1.4 FORMA DE CRESTA

La forma de la cresta del vertedero (r) tiene especial importancia para relaciones pequeñas de H/P.

En el caso de un vertedero de pared este se puede comportar como un vertedero de cresta viva o de cresta ancha. Cuando las cargas hidráulicas son pequeñas la tendencia en el comportamiento hidráulico del vertedero es de comportarse como un vertedero de cresta ancha, para este caso la lámina vertiente choca contra la cresta si el espesor del vertedero (t) alcanza o supera el valor de $(2/3.H)$, es por esto que debe incluirse un nuevo coeficiente de descarga que tome en cuenta nuevos elementos geométricos como lo son el espesor de las paredes (t), forma de la cresta (r) y las condiciones al final del vertedero.⁽⁷⁾

Según sea el espesor de la cresta las láminas vertientes pueden presentar distintas formas. Cuando la relación $t/H > 3$ las líneas de corriente tienden a hacerse paralelas, presentándose una distribución hidrostática de presiones y los coeficientes de descarga para este tipo de vertederos difieren según diversos autores. Cuando la relación t/H se mantiene $0,67 < t/H < 3$ se acepta el uso de coeficientes de reducción ϵ , el cual afecta la capacidad de descarga, obteniéndose que ⁽⁷⁾:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot \varepsilon \cdot L_e \cdot [\sqrt{2 \cdot g}] \cdot H^{1.5} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde :

$$\varepsilon = 0,7 + \frac{0,185}{\frac{t}{H}} \quad (\text{Ec. 3})$$

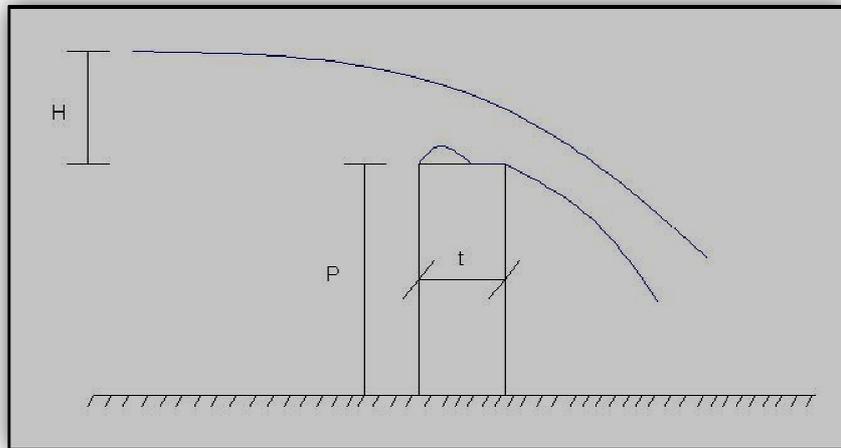


Figura 7: Vertedero de cresta ancha.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del presente trabajo se utilizará como forma de cresta la que describe un cuarto de círculo, a fin de poder comparar las gráficas y ábacos dados en la literatura con los que se obtengan de forma experimental, ajustándose a los criterios establecidos por Tullis, Amanian y Waldron⁽¹⁴⁾. Esto será descrito más adelante.

II.1.1.5 ÁNGULO DE LAS PAREDES α

La escogencia del ángulo de las paredes (α) está limitada a un valor mínimo según la geometría y el ancho disponible para la ubicación del vertedero. El ángulo de las paredes (α) posee una influencia en el comportamiento hidráulico del vertedero. A mayor (α) se disminuye la longitud total del vertedero (L) y aumenta el coeficiente de descarga (C_d); al disminuir (α), con pequeñas cargas hidráulicas se obtiene una gran capacidad de descarga (Q); la longitud total del vertedero (L) aumenta.

II.1.1.6 CONDICIONES DEL FLUJO EN LA CANALETA DE APROXIMACIÓN.

Las condiciones del flujo en la aproximación de los vertederos en laberintos son situaciones influyentes en la determinación del coeficiente de descarga, por esto para el diseño del vertedero planteado para Dos Cerritos fueron consideradas algunas variables con respecto a la aproximación del flujo al vertedero tomando como referencia estudios previos citados en la literatura.

En 1983, Houston realizó un muy importante estudio sobre estos efectos, en la Figura 8 se muestra como el vertedero en laberintos puede ser colocado en posición normal (N) o en posición invertida (I) de acuerdo a la ubicación del reservorio. De esta investigación se concluyó que con una relación de magnificación L_e/W de 5 y una orientación del vertedero en posición normal, la descarga puede incrementarse un 9 % más que en posición invertida.⁽⁵⁾

En posición normal la fricción con las paredes de las canaletas de aproximación es mínima⁽⁵⁾, debido a que solo existe fricción con las paredes de la canaleta de aproximación, en cambio en posición invertida existe

fricción con las paredes de la canaleta de aproximación y adicionalmente con la pared del canal.

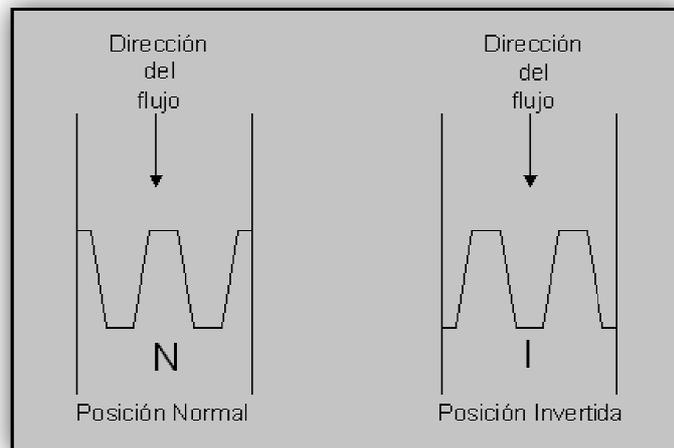


Figura 8: Orientaciones de vertederos en laberintos en función de la posición del reservorio.

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

Otro elemento de importancia en cuanto a la aproximación del flujo a la descarga es el caudal unitario (q). A medida que el flujo entra en la canaleta de aproximación esta disminuye su ancho por unidad de longitud lo que implica un aumento de caudal unitario (q) por unidad de longitud pero a su vez el caudal que entra a la canaleta de aproximación disminuye debido a la descarga por las paredes de la canaleta. Debido a lo complejo del comportamiento del flujo no existe hasta ahora ningún desarrollo analítico que permita calcular el caudal unitario (q) en cada sección de la canaleta de aproximación y es por ello que la carga hidráulica (h) sobre la cresta del vertedero es variable a lo largo de la misma.

II.1.1.7 CONDICIONES DEL FLUJO EN LA CANALETA DE DESCARGA

Existen varios factores que deben ser considerados en el diseño de las canaletas de descarga de los vertederos en laberintos; todo esto debido a que el flujo en este tipo de estructuras posee condiciones particulares de descarga. Por esta razón y debido a la disposición geométrica propia de los vertederos en laberintos se presentan en la descarga efectos como la interferencia de las láminas de agua y el ahogamiento, los cuales son factores influyentes en el coeficiente de descarga (C_d) del vertedero.

Interferencia de las láminas de agua

La interferencia de las venas de agua es un efecto que ocurre cuando las láminas del flujo provenientes de la paredes laterales del vertedero y del ápice se interceptan, a este efecto algunos investigadores lo denominan (Nappe Interference), estudios previos recomiendan que para minimizar los efectos de interferencia de las láminas de agua la Relación de Aspecto Vertical w/P debía ser superior a 2 como se mencionó anteriormente, pero estudios más recientes indican que esta relación no posee un efecto significativo en el efecto de interferencia de las láminas de agua.

La literatura consultada cita el trabajo realizado por Indlekofer y Rouvé (1975) donde estos investigadores concluyen que el área de interferencia posterior a la descarga es función de la carga hidráulica (H), la altura del vertedero (P), y el ángulo de las paredes (α), de esto definen una variable que denominan longitud de interferencia (L_d), la cual incrementa linealmente con el incremento de la carga hidráulica (H). Estos autores usan un coeficiente de interferencia (C_m) al cual definen como la distribución de $C_d(l)$ a lo largo de la cresta y el valor medio del coeficiente de descarga reducido (C_r).

El uso de las curvas elaboradas por Tullis, Amanian y Waldron posee una ventaja ante esta situación y es que estas muestran cuando la interferencia comienza a ser significativa⁽⁵⁾, es decir, que su efecto ya está considerado en los C_d utilizados.

Ahogamiento

El ahogamiento es el efecto que puede presentarse en la canaleta de descarga si el fondo de esta posee una pendiente muy baja, permitiendo que el nivel de aguas exceda la cota de la altura del vertedero. Algunos autores han considerado que al colocar pendientes superiores entre las paredes de las canaletas de descarga pueden acelerar el flujo proveniente del vertedero en laberintos y de esta manera mejorar el comportamiento del flujo en la descarga evitando que este sea subcrítico.

Solo será motivo de observación en el modelo presentado en este trabajo, los efectos posibles de ahogamiento desde aguas abajo.

II.2 MODELOS FÍSICOS EN LA INVESTIGACIÓN HIDRÁULICA

El estudio de modelos físicos es esencial en el diseño de un proyecto cuando las condiciones del prototipo difieren de las condiciones para las cuales las curvas de diseño fueron desarrolladas.

Los modelos físicos son necesarios cuando se desean obtener rangos de valores correspondientes al comportamiento del diseño de un prototipo y lo estudiado hasta el momento no considera todas las variables o simplemente no ha sido desarrollado lo suficiente como para basar un diseño en estudios previos.

Los modelos hidráulicos tienen todas las características significativas de un prototipo reproducido a escala, lo que se denomina semejanza geométrica y satisfacen todas las restricciones de diseño, a lo que se le denomina semejanza dinámica y cinemática. El estudio comparativo entre modelo y prototipo ha mostrado con evidencia que la correspondencia de comportamiento es frecuentemente buena y fuera de las limitaciones esperadas, como lo atestigua el correcto funcionamiento de muchas estructuras diseñadas a partir de ensayos sobre modelos. ⁽⁸⁾

Semejanza geométrica

Entre el modelo y el prototipo existe semejanza geométrica cuando las relaciones entre todas las dimensiones correspondientes u homólogas en el modelo y prototipo son iguales.

Semejanza cinemática

Entre el modelo y el prototipo existe semejanza cinemática si:

- Las trayectorias de las partículas móviles homólogas son geoméricamente semejantes.

- Las relaciones entre las velocidades de las partículas homólogas son iguales.

Semejanza dinámica

Entre dos sistemas semejantes geométrica y cinemáticamente existe semejanza dinámica si las relaciones entre las fuerzas homologas entre el modelo y el prototipo son las mismas.⁽⁸⁾

II.2.1 ANÁLISIS DIMENSIONAL

La aplicación del análisis dimensional y la semejanza hidráulica permite al ingeniero organizar y simplificar las experiencias, así como el análisis de los resultados obtenidos.⁽⁸⁾ Al elaborar modelos físicos se debe realizar un cuidadoso análisis de la escala, a los fines de que el modelo reproduzca las semejanzas cinemáticas y dinámicas.

El empleo de parámetros adimensionales en la Mecánica de los Fluidos aumenta significativamente la comprensión de los fenómenos asociados con el escurrimiento de los fluidos. Estos parámetros permiten utilizar los resultados experimentales obtenidos en condiciones limitadas a situaciones en que se tengan diferentes dimensiones geométricas y muchas veces en casos en que las propiedades de los fluidos sean distintas de las que tuvieron durante los experimentos.

Muchos parámetros adimensionales se pueden considerar como el cociente de dos fuerzas que actúan en el fluido, indicándose, mediante la magnitud relativa de este cociente, la importancia de una de las fuerzas con respecto a las otras.⁽¹³⁾ En toda ecuación que exprese una relación física entre magnitudes debe verificarse la igualdad al sustituir las magnitudes por sus valores numéricos y también por sus dimensiones. En general todas las

relaciones físicas pueden reducirse a una relación entre las magnitudes fundamentales, masa (M), fuerza (F), longitud (L) y tiempo (T).⁽⁸⁾

Los dos parámetros a considerar para la elaboración del modelo físico del vertedero en laberintos propuesto para el embalse Dos Cerritos son el número de Froude (F) debido a la importancia que posee este valor con respecto a lo relacionado con régimen a superficie libre, ya que determina el comportamiento del escurrimiento del flujo (Flujo subcrítico o supercrítico) dependiendo de si el número de Froude (F) es mayor o menor que la unidad y el número de Weber (W) ya que es un parámetro significativo en el estudio de la interacción de dos caras que se encuentran en contacto ya sea gas-líquido, líquido-líquido o cuando cualquiera de estas caras se encuentran en contacto con una frontera sólida; todo esto debido al efecto de tensión superficial, el cual ocasiona la formación de pequeñas ondas (Ondas capilares) y gotas, además de afectar la descarga de vertederos cuando las cargas hidráulicas son muy pequeñas.

Es importante señalar que la tipología del modelo a utilizar y la escala a la cual este se pretende elaborar serán desarrolladas en función a las limitaciones físicas existentes.

II.2.1.1 NÚMERO DE FROUDE

Para mantener la similitud entre un prototipo y un modelo en un diseño y poder así establecer similitudes geométricas y cinemáticas el número de Froude (F) entre ambas estructuras debe ser igual. Debido a esto se puede escribir que:

$$F_m = F_p \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\frac{V_m^2}{g_m \cdot l_m} = \frac{V_p^2}{g_p \cdot l_p} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

V_m : Velocidad en el modelo.

L_m : Longitud en el modelo

V_p : Velocidad en el prototipo.

L_p : longitud en el prototipo.

De la simplificación de esta relación se obtiene que la relación de las velocidades varía con la raíz cuadrada de la relación de las escalas geométricas, siendo la escala λ la relación:

$$\lambda = \frac{l_p}{l_m} = \frac{V_p^2}{V_m^2} \quad (\text{Ec. 6})$$

De esto se obtiene que :

$$V_p = V_m \cdot \sqrt{\lambda} \quad (\text{Ec. 7})$$

Los tiempos también están relacionados para que se lleven a cabo determinados acontecimientos:

$$t_p = t_m \cdot \sqrt{\lambda} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

T_p : Tiempo de prototipo

T_m : Tiempo en el modelo.

La relación de los gastos Q_p/Q_m esta dado por:

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m} = \frac{(L_p^3 \cdot T_p^{-1} \cdot L_p^{-2})^2}{(L_m^3 \cdot T_m^{-1} \cdot L_m^{-2})^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{\frac{5}{2}} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde :

Q_p : Caudal en el prototipo

Q_m : Caudal en el modelo.

Con comparaciones similares se pueden obtener otras relaciones que sean de interés para la investigación, ya que al mantener estas semejanzas en los resultados obtenidos en el modelo, estos valores son representativos del comportamiento hidráulico del prototipo.

II.2.1.2 NUMERO DE WEBER

Es de considerar que al utilizar un modelo tienen efecto importante la tensión superficial (σ). La tensión superficial es descrita por el parámetro llamado número de weber (W), este número se define como la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de tensión superficial. Los efectos de tensión superficial magnificarán el coeficiente de descarga (C_d) en el modelo, de manera que al calcular el caudal del prototipo a partir de las mediciones en el modelo se obtiene un caudal descargado (Q) superior al del prototipo.

El número de Weber se define como:

$$W = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho H}}} = \frac{\frac{2}{3}\sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot C_d}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho H}}} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

V: Velocidad

g: Gravedad (9,81 m/s²)

H: Carga hidráulica.

H: Carga hidráulica.

ρ : Densidad del agua (1000 Kg/m³)

σ : Tensión superficial (0,0727 N/m a 20 °C).

El valor de C_d viene determinado por la ecuación:

$$C_d = 0,605 + 0,08 \cdot \frac{H}{p} + \frac{1}{H} \quad (\text{Ec. 12})$$

El último término es un factor de corrección de tensión superficial, en donde H se coloca en milímetros.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

Para pequeñas cargas hidráulicas sobre los vertederos, las fuerzas de tensión superficial son significativas en relación con las fuerzas inerciales. En el Cuadro 2 que se presenta a continuación se muestran valores del número de weber (W) para vertederos de cresta viva. En el rango sombreado los efectos de la fuerza de tensión superficial son importantes, ya que este efecto crea bajas presiones (tendencia de la lámina vertiente a pegarse al vertedero) sobre la cresta del vertedero lo que incrementa de forma artificial la descarga sobre el vertedero.⁽⁵⁾

Cuadro 2: Número de weber para un vertedero de cresta viva.

P mm	H/P			
	0,1	0,3	0,5	0,7
2000	42,8	131,0	223,7	320,8
1000	21,6	65,7	112,0	160,6
600	13,1	39,6	67,4	96,5
300	6,7	19,9	33,8	48,4
200	4,6	13,4	22,7	32,4
100	2,5	6,9	11,5	16,4

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

Debido a que por efectos de tensión superficial la descarga en el modelo magnifica a la descarga del prototipo, el Cuadro 3 presenta los porcentajes en los que el caudal del modelo supera al caudal del prototipo por efectos de tensión superficial.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

Cuadro 3: Porcentajes en los que el modelo excede los valores de descarga del prototipo.

P mm	H/P			
	0,2	0,3	0,5	0,7
2000	0,4	0,3	0,2	0,1
1000	0,8	0,5	0,3	0,2
600	1,3	0,9	0,5	0,4
300	2,7	1,8	1,0	0,7
200	4,0	2,6	1,6	1,1
100	8,1	5,3	3,1	2,2

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

A partir del Cuadro 3 se elabora el Gráfico 1. Con este gráfico se podrán extrapolar valores correspondientes a distintas alturas de vertedero para diferentes relaciones de H/P y de allí obtener factores de corrección (k) por tensión superficial correspondientes para cada caudal entre modelo y prototipo. Este gráfico permite realizar estimaciones y mejorar los valores obtenidos de forma experimental que están afectados por los efectos de tensión superficial.

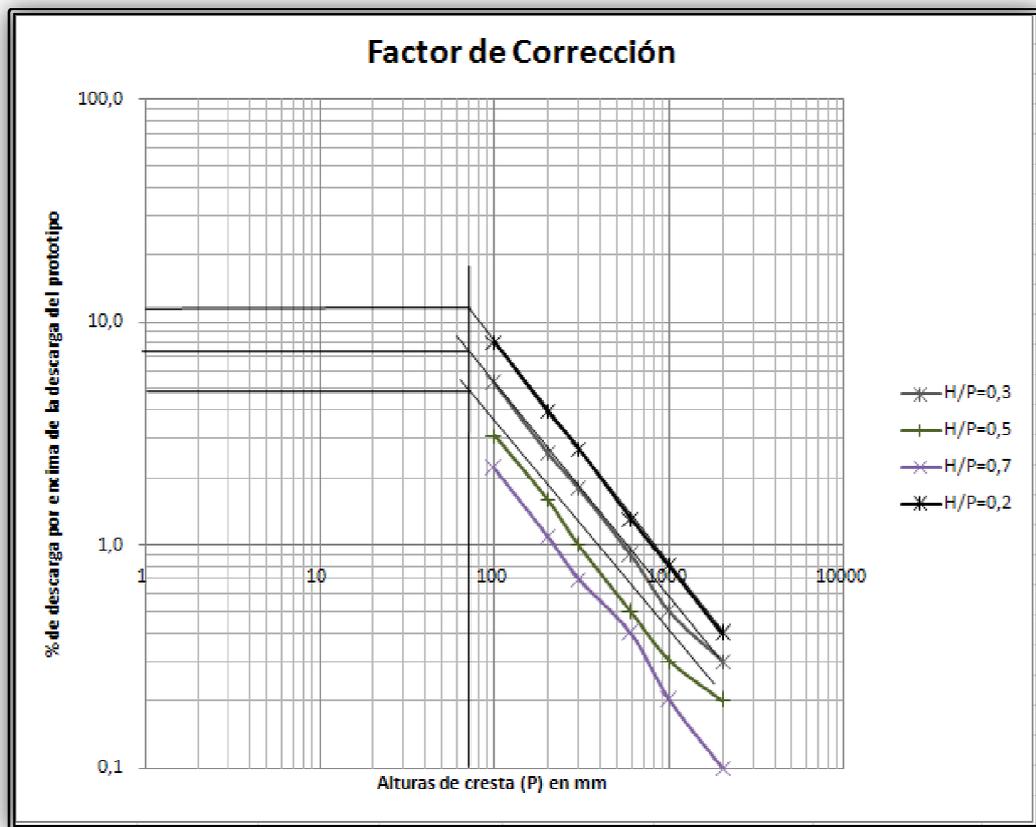


Gráfico 1: Factor de corrección por tensión superficial.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del Cuadro 3.

Debido al incremento del caudal descargado en el modelo en relación con el caudal descargado en el prototipo, podemos establecer la relación

$$Q_p = Q_m \cdot K \cdot \lambda^{\frac{5}{2}} \quad (\text{Ec. 13})$$

De donde se tiene que el valor de k corresponde al factor de corrección por tensión superficial correspondiente a la altura de vertedero utilizada en el modelo, que se obtendrá de la extrapolación correspondiente del Gráfico 1 .

CAPÍTULO III: CURVAS DE DESCARGA.

CURVAS DE DESCARGA

III.1 CURVAS DE DESCARGA

Las variables que influyen en la descarga de un vertedero en laberintos son principalmente función de la altura de la cresta (P), la carga hidráulica (H), el ancho del vertedero (W), la longitud del vertedero (L), la forma del vertedero y el ángulo de las paredes (α) en vertederos triangulares y trapezoidales.

La forma del vertedero puede ser rectangular, trapezoidal o triangular como se muestra en la Figura 9.

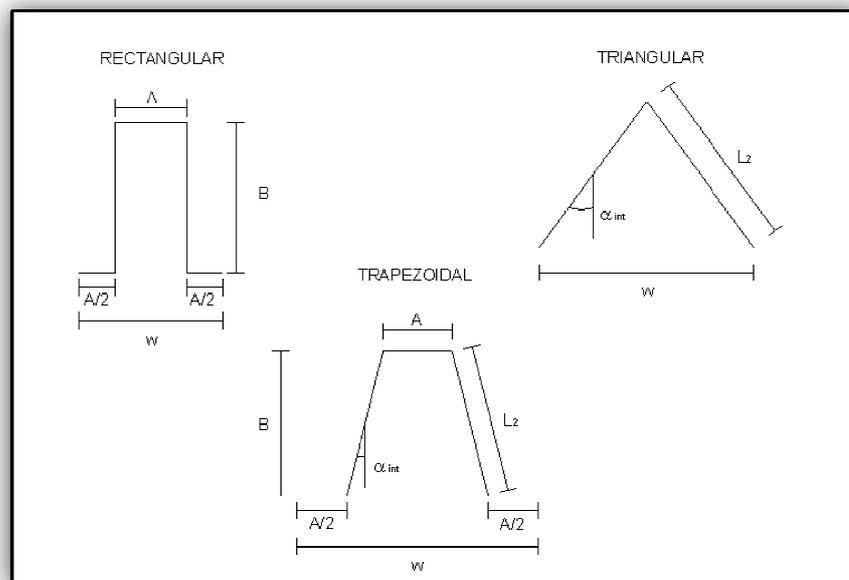


Figura 9: Formas de vertedero.

Fuente: Elaboración propia en base a Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

Dada la importancia de las variables en el comportamiento de un vertedero en laberintos y debido a la gran cantidad de investigadores que

han desarrollado curvas de descarga a través de modelos físicos, a continuación se citan a los comúnmente utilizados. ⁽⁵⁾

- Taylor (1968)

Este investigador desarrolló una familia de curvas donde se relaciona el caudal descargado por un vertedero en laberintos (Q_L) con el caudal descargado por un vertedero lineal (Q_N) del mismo ancho (W). Posterior a este trabajo Hay y Taylor (1970) presentaron gráficos para vertederos de forma triangular y trapezoidal donde relacionan el Q_L/Q_N vs H/P para distintos valores de ángulo de las paredes (α).

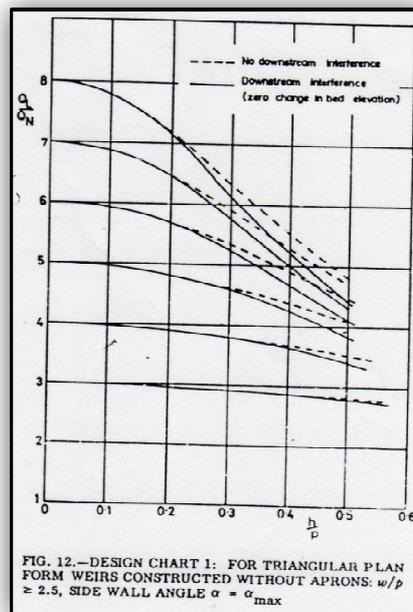
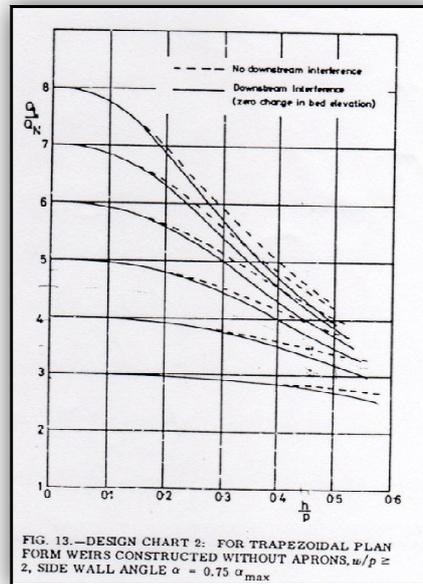


Figura 10: Familia de curvas de Taylor para vertederos de planta triangular.

Fuente: Hay, Nassim y Taylor Geoffrey. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 96 (HY11) 2337-2357.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**



**Figura 11: Familia de curvas de Taylor para vertederos de planta trapezoidal.
Fuente: Hay, Nassim y Taylor Geoffrey. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 96 (HY11) 2337-2357.**

- Darvas (1971)

El trabajo de Darvas introduce el concepto de un coeficiente de descarga (C_w) al cual definen como:

$$C_w = \frac{Q_L}{W \cdot H^{1.5}} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

Q_L : Caudal total de descarga.

W : Ancho del vertedero.

H : Carga Hidráulica.

Este coeficiente es dimensional las unidades son $\frac{ft^{0.5}}{seg}$.

La gráfica presentada por este investigador se observa en la Figura 12, esta muestra una familia de curvas en las cuales para distintas relaciones de H/P se grafica C_w vs L/W.

De la gráfica se observa que a medida que la relación H/P es menor el coeficiente de descarga C_w es mayor. El coeficiente de descarga es mayor a medida que la relación de magnificación L_e/W es mayor sin superar el valor de 8.

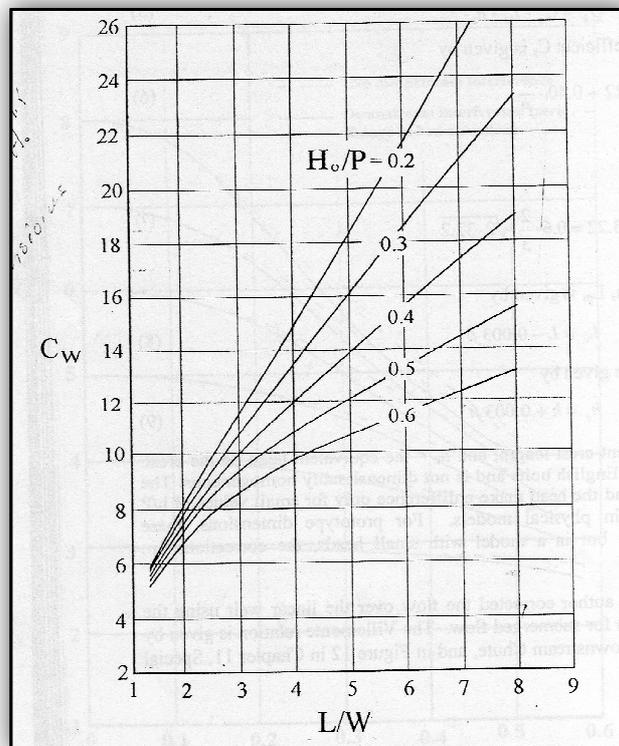


Figura 12: Familia de curvas de Darvas.

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

- Megalhães y Lorena (1989)

Estos investigadores desarrollan curvas similares a las presentadas por Darvas (1971), con la diferencia de que sus curvas fueron desarrolladas para crestas tipo Ogee. Desarrollan un coeficiente de descarga (C_p) adimensional donde:

$$C_p = \frac{Q_L}{W \sqrt{2g} H^{1.5}} \quad (\text{Ec. 15})$$

La gráfica presentada por estos investigadores se muestra en la Figura 13. Se observan las mismas relaciones que para la gráfica de Darvas con la diferencia de que la relación de magnificación L_e/W se mantiene en el rango de valores de 2 a 5.

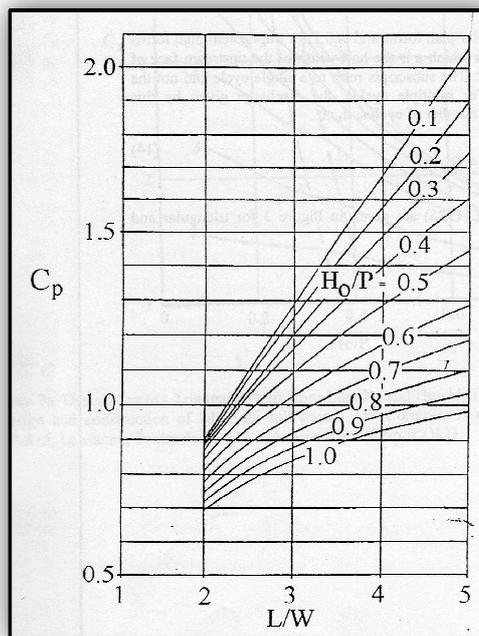


Figura 13: Familia de curvas de Megalhães y Lorena

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

- Lux (1989)

El trabajo realizado por Lux muestra el desarrollo de un coeficiente de descarga (C_w) mucho más complejo, el cual se basa en la carga hidráulica total aguas arriba en el canal de aproximación. Su relación desarrollada para la descarga está dada para cada ciclo y se expresa de la siguiente forma:

$$Q_x = C_w \cdot \left(\frac{\frac{w}{P}}{(P+k)} \right) \cdot w \cdot H \cdot \sqrt{g \cdot H} \quad (\text{Ec.16})$$

Donde :

K: constante de forma del vertedero.

K=0,18 (Triangular)

K= 0,1 (Trapezoidal)

El valor de la constante para la forma trapezoidal es válido cuando $(A/2)/w = 0,0765$ Para el cálculo del caudal total del vertedero la ecuación que lo define está dada por:

$$Q_L = Q_c \cdot N \quad (\text{Ec. 17})$$

La ecuación desarrollada por este investigador toma en cuenta la relación de aspecto w/P , sin embargo los estudios realizados por Hay y Taylor (1970) muestran que la relación de aspecto w/P no es un efecto significativo si es menor que 2.

Previo a estos trabajos realizados por Lux, este investigador en conjunto con Hinchliff (1985) desarrolla una familia de curvas para vertederos triangulares y trapezoidales. Las gráficas desarrolladas por estos investigadores se muestran en las Figura 14 y Figura 15.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

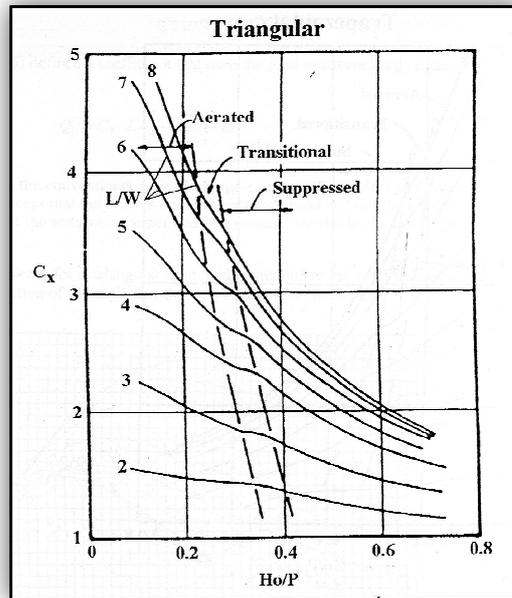


Figura 14: Familia de curvas de Lux y Hinchliff para vertederos de planta triangular.

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

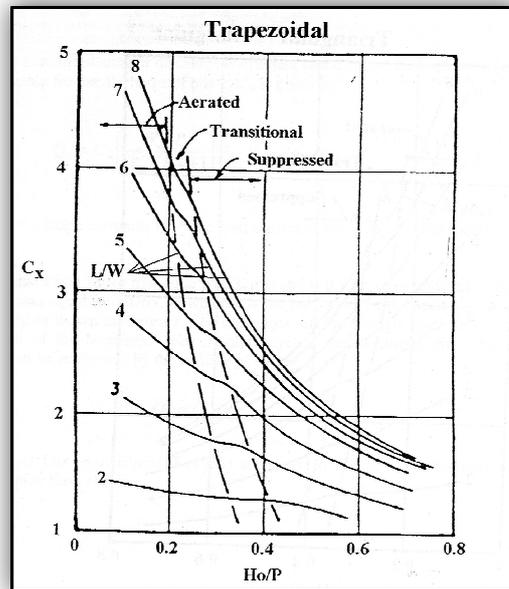


Figura 15: Familia de curvas de Lux y Hinchliff para vertederos de planta trapezoidal.

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

- Tullis, Amanian y Waldron (1995)

Las curvas de descarga desarrolladas por estos investigadores son para crestas con forma de cuarto de círculo con disposición triangular o trapezoidal.

En estas curvas a diferencia de otras desarrolladas en investigaciones previas, el parámetro significativo es el ángulo de las paredes (α) y no la relación de magnificación L/W .

Los autores antes mencionados proponen un método para el diseño de los vertederos en laberintos donde se emplee la ecuación básica de los vertederos rectos para el cálculo del caudal de descarga (Q); en dicha ecuación el coeficiente de descarga (C_d) empleado, es tal vez investigado por estos autores, es adimensional y depende únicamente de la relación H/P y del ángulo de las paredes (α).

Las ecuaciones presentadas por estos autores, las cuales permiten obtener los coeficientes de descarga (C_d) para vertederos en laberintos con disposición en planta recta, poseen algunas restricciones con respecto a la geometría de la estructura para el cálculo, entre las cuales están:

1. $t \leq A \leq 2t$
2. $H/P \leq 0,9$
3. $t = P/6$
4. Forma de la cresta correspondiente a un cuarto de circunferencia.
5. Radio de curvatura de la cresta $r = P/12$.

Las ecuaciones correspondientes al coeficiente de descarga (C_d) desarrolladas por Tullis, Amanian y Waldron ⁽¹⁴⁾, están elaboradas para ser empleadas con ángulos de paredes (α) entre 6 y 35°, en el caso de $\alpha=90^\circ$ las relaciones de H/P deben ser menores de 0,7. Las ecuaciones del coeficiente

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

de descarga (C_d) pueden ser resumidas a una ecuación con cinco coeficientes, estos coeficientes dependen del ángulo de las paredes (α). La ecuación se presenta a continuación y los coeficientes se resumen en el Cuadro 4:

$$C_d = A_1 + A_2 \cdot \left(\frac{H}{P}\right) + A_3 \cdot \left(\frac{H}{P}\right)^2 + A_4 \cdot \left(\frac{H}{P}\right)^3 + A_5 \cdot \left(\frac{H}{P}\right)^4 \quad (\text{Ec. 18})$$

Cuadro 4: Coeficientes de curva de descarga.

α	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
6	0,49	0,24	-1,20	2,17	-1,03
8	0,49	1,08	-5,27	6,79	-2,83
12	0,49	1,06	-4,43	5,18	-1,97
15	0,49	1,00	-3,57	3,82	-1,38
16	0,49	1,11	-3,76	3,96	-1,42
18	0,49	1,32	-4,13	4,24	-1,50
25	0,49	1,51	-3,83	3,40	-1,05
35	0,49	1,69	-4,05	3,62	-1,10
90	0,49	1,46	-2,56	1,44	0,00

Fuente: Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.

La Figura 16 muestra las curvas que relacionan el coeficiente de descarga (C_d) desarrollado por Tullis, Amanian y Waldron (1995) con la relación H/P para cada ángulo de las paredes (α). La ventaja de utilizar dichas curvas es que en ellas se muestra cuando la interferencia comienza a ser significativa. Esto se puede ver en la desviación de cada curva en la Figura 16 para distintos ángulos de paredes (α) que varían entre 6 y 35° con respecto a un vertedero recto.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

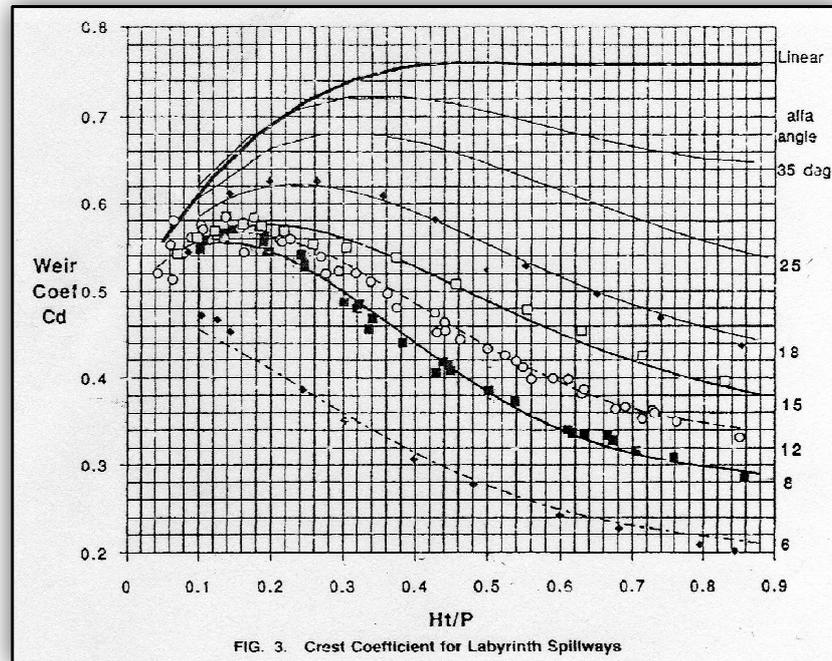


Figura 16: Curvas de coeficiente de descarga para vertederos en laberintos.
Fuente: Tullis J.Paul, Amanian, Nosratollah y Waldron, David.(1995) Design of
Labyrinth Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (3): 247-255.

Como se mencionó en el capítulo anterior para la elaboración del diseño del vertedero en laberintos de este trabajo se utilizarán los gráficos y criterios presentados en el trabajo de Tullis, Amanian y Waldron (1995), tomando en consideración para la comparación de los resultados que su trabajo solo presenta vertederos de planta recta y la opción propuesta para el embalse Dos Cerritos es en planta circular. No se encontró en la bibliografía información referente a esta disposición, aunque en la literatura (Ver referencia (5)) se hace reseña a aliviaderos con geometrías circulares.

III.2 COEFICIENTE DE DESCARGA

Las variables que afectan el coeficiente de descarga son la altura del vertedero (P), el espesor de las paredes (t), forma de la cresta (r) y el ángulo de las paredes (α); todos estos factores poseen una influencia significativa en el coeficiente de descarga.⁽¹⁴⁾ A continuación se presenta una descripción de cada una de estas variables y de algunas otras de importancia en la determinación del coeficiente de descarga (C_d).

III.2.1 ALTURA DE LA CRESTA

La altura del vertedero (P) es la distancia vertical entre la solera del canal de aproximación y la cresta del vertedero. A mayor (P) menor es la velocidad en el canal de aproximación y menores las pérdidas entre el embalse y el vertedero.

Otro parámetro a ser considerado para la determinación de la altura del vertedero (P) es que la relación H/P sea menor que 0,9; debido a que recomendaciones de la literatura apuntan que, al aumentar la relación H/P por encima del valor 0,9 se disminuye en forma notable el coeficiente de descarga C_d .

III.2.2 ESPESOR DE LAS PAREDES

El espesor de las paredes del vertedero (t) está determinado por el análisis estructural y depende de la altura de la cresta, las fuerzas hidrostáticas y las cargas de hielo, que para Dos Cerritos no se consideraran debido a la ubicación geográfica del embalse y condiciones particulares del sitio; por recomendaciones de la literatura el espesor de las paredes debería determinarse con la relación $t = P/6$ a fin de utilizar los coeficientes de descarga obtenidos mediante las ecuaciones de Tullis,

Amanian y Waldron para la determinación del coeficiente de descarga (C_d) correspondiente a cada ángulo (α).

Para el diseño planteado, el espesor será determinado según los criterios establecidos en el trabajo de Tullis, Amanian y Waldron (1995).

III.2.3 FORMA DE LA CRESTA

La forma de la cresta está influenciada por la geometría particular de la misma, que pudiera ser plana, aguda o con curvatura. La forma de la cresta recomendada en la literatura consultada para el desarrollo de la investigación, establece que para que los coeficientes dados en gráficas publicadas puedan ser aplicados, la geometría de la cresta deberá tener una curvatura de $r = P/12$ como se muestra en la Figura 17. La forma más eficiente y práctica recomendada es un cuarto de círculo, con esta geometría se tiene mejores condiciones de coeficiente de descarga (C_d).

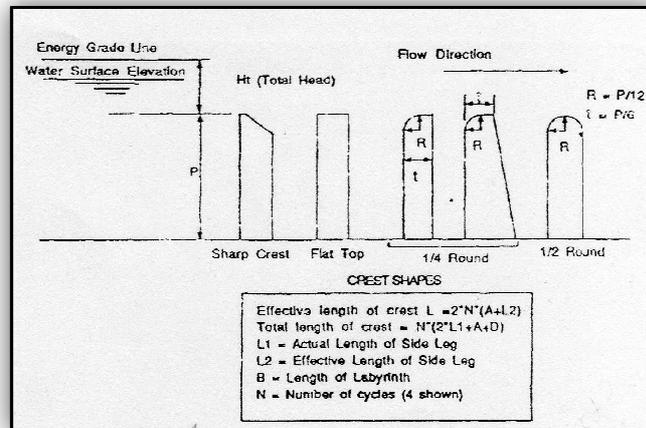


Figura 17: Detalles de Forma de cresta de vertedero en laberintos.

Fuente:(14)Tullis J.Paul, Amanian, Nosratollah y Waldron, David.(1995) Design of Labyrinth Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (3): 247-255.

III.2.4 ANCHO DEL ÁPICE

El ancho del ápice del laberinto (A) es una variable significativa en la capacidad de descarga (Q) del vertedero en laberintos ya que esta reduce la longitud total (L) del vertedero de laberintos y disminuye la capacidad del mismo.

Como consecuencia de todo esto, el ancho del ápice (A) debería ser lo más pequeño posible. La literatura recomienda que el valor del ancho del ápice (A) sea una o dos veces el espesor de las paredes (t).⁽¹⁴⁾

III.2.5 ÁNGULO DE LAS PAREDES α

En el caso de los vertederos en laberintos de planta recta el ángulo de las paredes (α) es el mismo en la canaleta de aproximación y en la canaleta de descarga.

Para los vertederos en laberintos de planta circular por condiciones de geometría este ángulo varía en cada caso. Debido a esto y por efectos de simplificación de la nomenclatura, al ángulo de las paredes que se forma en la canaleta de aproximación lo denominaremos ángulo de las paredes externo (α_{ext}) y el ángulo de las paredes que se forma en la canaleta de descarga lo denominaremos ángulo de las paredes interno (α_{int}), en la Figura 5 se señala cada uno de los ángulos.

Dado que no se encontró literatura acerca de los vertederos en laberintos de planta circular, se consideran relevantes ambos ángulos para el análisis y por ello se realizarán los cálculos del coeficiente de descarga (C_d) para ambos valores de (α) a fin de poder contrastar lo obtenido en las mediciones físicas con las estimaciones teóricas y obtener una observación que de alguna forma aporte acerca de esta variable producto de la geometría circular en el comportamiento hidráulico de los vertederos en laberintos. Se

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

considera que el ángulo con mayor influencia debe ser el α_{int} . es una medida de la interferencia de las láminas.

CAPITULO IV: OLEAJE CRUZADO

OLEAJE CRUZADO

IV.1 REGÍMENES DEL FLUJO

En el régimen en superficie libre, el flujo se puede presentar en dos condiciones de regímenes, subcrítico y supercrítico. Estos regímenes caracterizan el comportamiento del flujo.

Cuando el flujo es subcrítico el número de Froude (F) es menor a 1, predominan en el fluido las fuerzas gravitacionales sobre las inerciales, pequeñas variaciones en la profundidad del flujo no implican significativos cambios de velocidad o energía específica y pequeñas modificaciones de ΔZ o b generan alteraciones aguas arriba. En el caso del régimen supercrítico el número de Froude (F) es mayor a 1, predominan en el fluido las fuerzas inerciales sobre las gravitacionales, pequeñas variaciones en la profundidad conllevan a grandes cambios en la velocidad también pequeñas modificaciones de ΔZ o b generan alteraciones aguas abajo.

IV.2 ONDAS CRUZADAS

Cuando un escurrimiento se encuentra en régimen supercrítico y este choca contra una pared se forma un patrón de perturbación que se mantiene aguas abajo una distancia considerable. Esta perturbación ocasionada por la deflexión del flujo hacia adentro de la trayectoria se le denomina onda cruzada o resalto hidráulico oblicuo, este fenómeno hace que la profundidad (y_1) incremente de forma abrupta a la profundidad (y_2) a lo largo del frente de onda.

En casos sencillos el principio de cantidad de movimiento aporta soluciones analíticas. Al hacerse el régimen tridimensional, es necesario recurrir a modelos físicos.

IV.3 CONTRACCIONES EN FLUJO SUPERCRÍTICO

En una contracción simple, de muros simétricos aparecen ondas cruzadas. Estas ondas son simétricas con respecto a la línea central del canal. El estudio analítico de este problema se hace sencillo al poderse llevar a cabo mediante los principios de la mecánica de flujo supercrítico, aplicando cantidad de movimiento.

Vent Chow¹ cita que mediante una investigación experimental y analítica se encontró que las contracciones rectas siempre son mejores que las contracciones curvas de igual longitud de contracción desde el punto de vista de altura máxima. De acuerdo con esto, se propone un procedimiento de diseño para las contracciones rectas y para el diseño de las contracciones curvas el patrón de ondas puede determinarse experimentalmente mediante la prueba en modelo físico o mediante un modelo gráfico llamado Método de las Características.⁽²⁾

La superposición de las ondas generadas por las contracciones generan una sobre elevación de la profundidad del agua (y), lo que implica un aumento del caudal unitario (q) por unidad de longitud producido por la disminución de la sección y la perturbación producida por el oleaje a su vez origina que esta profundidad sea mayor.

En el modelo a estudiar se esperan ondas cruzadas producidas por la contracción que sigue al vertedero (geometría particular del sitio), pero las ondas de choque que se piensa serán más significativas no son tanto por la contracción gradual particular de este aliviadero, sino por el choque con ondas del flujo proveniente de las canaletas de descarga. Estas ondas sumadas al chocar contra las paredes que forman la contracción generaran un perfil de agua difícil de definir, aunque se espera al final de la contracción,

¹ Este autor cita en su trabajo Hidráulica para canales abiertos el trabajo de Ippen y Dawson.

que la suma de todas las ondas forme una superficie homogénea previa a la sección de mayor pendiente que sustituiría al cimacio existente. Se espera constatar esta hipótesis en el modelo a estudiar.

De formarse esta superficie homogénea y que la profundidad alcanzada fuese la altura crítica (y_c) del canal rápido, podría generarse un control aguas abajo del vertedero, lo cual no es deseable debido a que se espera que el flujo generado en la descarga del vertedero sea supercrítico. De generarse un control aguas abajo pudiese existir un conflicto de controles en la zona de la contracción lo que conllevaría a un ahogamiento del vertedero, situación no deseable.

**CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE
RESULTADOS.**

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1 DIMENSIONAMIENTO DEL VERTEDERO

Para dar inicio al trabajo, se estableció en base a qué criterios se fundamentaría el diseño del vertedero en laberintos. Es por ello que, después de haber realizado una revisión de la literatura se decidió emplear las directrices desarrolladas en el trabajo de Tullis, Amanian y Waldron (1995), ya que estos estudios son los más actualizados y han sido comparados con las investigaciones previas.

Se acordó en principio que la geometría a implementar tomase en consideración la mayor cantidad de parámetros recomendados en la literatura en cuanto a, disposición geométrica en planta y forma del vertedero. Para la disposición en planta se decidió que esta fuese circular, a fin de aprovechar el amplio espacio disponible a la entrada del aliviadero, aumentando la longitud total del vertedero (L) lo máximo posible dentro del ancho de canal disponible. Con base en obtener la mayor longitud se determina el radio de curvatura en el que se coloca el vertedero en planta. Su determinación es básicamente geométrica. La idea es conservar la mayor cantidad de elementos existentes en el aliviadero actual. Posteriormente se decidió que el vertedero estuviese colocado en posición normal (N) ver Figura 8, a fin mejorar las condiciones en la canaleta de aproximación en cuanto a las pérdidas por fricción con las paredes del canal. En todo caso la disposición en planta en arco de círculo, evita los efectos de la pared; esta por efectos de la geometría se aleja. Concluido esto se obtuvo la geometría en planta del vertedero en laberintos propuesto para este trabajo.

Para la determinación de la altura del vertedero (P), se tomó en consideración el incremento del almacenamiento de agua del embalse,

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

manteniendo el nivel de aguas máximas (N.A.M). Se consideraron algunos valores probables de nivel de aguas normales (N.A.N).

Estas consideraciones se realizaron utilizando las ecuaciones de coeficiente de descarga (C_d) desarrolladas por Tullis, Amanian y Waldron (1995) para vertederos en laberintos de planta recta. Con los valores obtenidos de los coeficientes de descarga teóricos se estimó la carga hidráulica máxima (H) para el caudal de descarga de diseño (Q). Se evaluaron distintas longitudes de vertedero en laberintos y distintos valores de altura (P) de manera de descargar el caudal de diseño (Q) manteniendo el mismo nivel de aguas máximas. El caudal de diseño se tomó igual a 430 m^3/s , que es la capacidad del existente aliviadero con H_{max} .

En el Cuadro 5 y Cuadro 6 que se muestran a continuación, se observan los valores de las estimaciones de la carga hidráulica máxima (H) que se obtiene del caudal de descarga máximo (Q) para una altura de vertedero (P) de 4,5 m.

Cuadro 5: Estimaciones de carga hidráulica máxima para un ángulo de paredes de $\alpha = 8^\circ$.

		Cota de presa (m.s.n.m)				
		673,33				
		N.A.Max (m.s.n.m)				
		672,7				
		Nivel cresta vertedero (m.s.n.m)				
		671,08				
		α (int)				
		8				
		L (m)				
		154,63				
		P (m)				
		4,5				
H	H/P	C_d	C	Q	N.A.M	Borde Libre con respecto al borde de la presa
m	----	-----	-----	(m^3/s)	m.s.n.m.	m
0,5	0,11	0,5538	1,64	89,41	671,58	1,75
0,75	0,17	0,5529	1,63	163,97	671,83	1,50
1	0,22	0,5374	1,59	245,37	672,08	1,25
1,25	0,28	0,5120	1,51	326,76	672,33	1,00
1,5	0,33	0,4810	1,42	403,48	672,58	0,75
1,62	0,36	0,4651	1,37	437,87	672,70	0,63
1,75	0,39	0,4476	1,32	473,16	672,83	0,50

Fuente: Elaboración propia.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

Cuadro 6: Estimaciones de carga hidráulica máxima para un ángulo de paredes de $\alpha = 16^\circ$.

		Cota de presa		673,33			
		N.A.Max (m.s.n.m)		672,7			
		Nivel cresta vertedero		671,08			
		α (int)		16			
		L (m)		154,63			
		P (m)		4,5			
H	H/P	Cd	C	Q	N.A.M	Borde Libre con respecto al borde de la presa	
m	----	-----	-----	(m ³ /s)	m.s.n.m.	m	
0,5	0,11	0,5722	1,69	92,37	671,58	1,75	
0,75	0,17	0,5879	1,74	174,36	671,83	1,50	
1	0,22	0,5911	1,75	269,93	672,08	1,25	
1,25	0,28	0,5849	1,73	373,24	672,33	1,00	
1,5	0,33	0,5717	1,69	479,60	672,58	0,75	
1,62	0,36	0,5636	1,66	530,68	672,70	0,63	
1,75	0,39	0,5540	1,64	585,57	672,83	0,50	

Fuente: Elaboración propia.

Luego de este análisis se decidió que los ensayos se realizarían con el valor (P) de 4,5 m., llevando la cota del vertedero en laberintos a 671,08 m.s.n.m, lo que implica elevar la cota del canal de aproximación 1m. por encima del valor actual en el aliviadero existente. De esta forma se tendría el mayor incremento en el volumen útil, manteniendo el nivel de aguas máximas (N.A.M) actual. (Ver apéndice B y C).

Posterior a la obtención de la altura de vertedero (P) y tomando en consideración todas las directrices establecidas en el trabajo de Tullis, Amanian y Waldron con base en el cuadro de diseño propuesto por estos autores, el cual se muestra en la Figura 6; se elaboró para el diseño de Dos Cerritos un cuadro similar el cual se observa en el Cuadro 7 que se muestra a continuación.

Este cuadro incluye algunos de los términos que proponen los autores anteriormente citados y otros que se consideran relevantes para el presente trabajo. Es importante señalar que los valores geométricos obtenidos en el

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

cuadro de diseño planteado en la literatura es para vertederos de planta recta y el diseño planteado es un vertedero de planta circular, por esta razón las ecuaciones correspondientes a cada elemento varían según la geometría del vertedero.

Cuadro 7: Cuadro de diseño de vertederos en laberintos.

	Parámetros	Símbolos	Valores	Unidades	Observación
Datos	Caudal Máximo	Q max	430	m ³ /s	Dato
	Altura máxima del reservorio	NAM	672,70	m.s.n.m	Dato
	Altura de las aguas Normales	NAN	667,05	m.s.n.m	Dato
	Cota de cresta de presa	----	673,33	m.s.n.m	Dato
	Cota del canal de aproximación	----	665,58	m.s.n.m	Dato
	Cota de cresta del vertedero (Laberinto)	Cota P	671,08	m.s.n.m	Dato
	Cota canal rápido	----	662,70	m.s.n.m	Dato
Datos Asumidos	Carga hidráulica total	Ht	1,62	m	Ht=NAM-Cota p
	Número de ciclos	N	5	----	Seleccionado para mantener w/P entre 3 y 4
	Altura de la cresta	P	4,5	m	P≈ 1,4 x Ht
	Ápice	A	1,5	m	Seleccionado entre t y 2t
	Ángulo de las paredes interno	α (int)	8	deg	Recomendado entre 8 y 16
Datos Calculados	Ángulo de las paredes externo	α (ext)	16	deg	Recomendado entre 8 y 16
	Espesor de las paredes	t	0,75	m	t= P/6
	Curvatura de la cresta	r	0,375	m	r= P/12
	Dimensión interna del Ápice (Sup) (α (int))	A (sup)	0,85	m	A (sup)= A - t . tan(45-α/2)
	Dimensión externa del Ápice (Sup) (α (int))	D (sup)	2,152	m	D (sup)= A + t . tan(45-α/2)
	Dimensión interna del Ápice (Inf) (α (ext))	A (inf)	0,935	m	A (inf)= A - t . tan(45-α/2)
	Dimensión externa del Ápice (Inf) (α (ext))	D (inf)	2,065	m	D (inf)= A + t . tan(45-α/2)
	Relación H/P (max)	H/P	0,360	----	0,1 ≤ H/P ≤ 0,9
	Coefficiente de la cresta (α = 8)	Cd	0,4651	----	Ec. α = 8 ° (Ver Capítulo III)
	Coefficiente de la cresta (α = 16)	Cd	0,5636	----	Ec. α = 16° (Ver Capítulo III)
	Longitud Efectiva	Le	154,63	m	Medida en la geometría
	Longitud efectiva necesaria de cresta	L	107,38	m	$1,5 \times Q_{max} / ((Cd \times Ht^{1,5}) \times (2xg)^{0,5})$
	Longitud efectiva necesaria de cresta	L	88,60	m	$1,5 \times Q_{max} / ((Cd \times Ht^{1,5}) \times (2xg)^{0,5})$
	Longitud total real de la pared interna	L1 (int)	10,94	m	Medida en la geometría
	Longitud Total real de la pared externa	L1 (ext)	11,02	m	Medida en la geometría
	Longitud efectiva de pared	L2	10,37	m	$L2= L1 (int) - (t \cdot \tan(45-\alpha(ext))/2)$
	Longitud del canal (Flujo paralelo) (Salida)	Bs	10,83	m	Bs= L1 (int) . Cos (α (int))
	Longitud del canal (Flujo paralelo) (Entrada)	Be	10,88	m	Be= L1 (ext) . Cos (α (ext))
	Distancia entre los ciclos	w	5,957	m	$w= 2 \cdot L1 \cdot \text{Sen}(\alpha)+A (sup) + D (inf)$
	Ancho del laberinto	W	37,35	m	$W= N \cdot w+(D (inf) + (Long Adic))^*$
Longitud del aliviadero recto con el mismo flujo	----	62,42	m	$1,5 \times Q_{max} / ((Cd \times Ht^{1,5}) \times (2xg)^{0,5})$	
Relación w/P	w/P	1,32	----	w/P normalmente entre 3 a 4	
Magnificación	Le/W	4,14	----	$2 \leq Le/W \leq 10$	

* esta longitud es en el caso de que no se complete otro ciclo.

Fuente: Elaboración propia en base a Tullis J.Paul, Amanian, Nosratollah y Waldron, David.(1995) Design of Labyrinth Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (3): 247-255.

El volumen de concreto no se estima para este trabajo, debido a que en la literatura consultada se refieren a esta estimación como un cálculo

rudimentario del volumen y para los efectos de la observación y caracterización del comportamiento hidráulico del vertedero en laberintos propuesto, estos valores no resultan relevantes.

En el Cuadro 7 se presentan dos opciones de coeficiente de descarga (C_d), esto debido a que por efectos de geometría en un vertedero en laberintos de planta circular se generan dos ángulos de paredes (α), uno con respecto a la canaleta de aproximación y el otro correspondiente a la canaleta de descarga. En un vertedero de planta recta este ángulo es igual para ambas canaletas.

Debido a la falta de información con respecto a esta variable en la literatura consultada, para efectos de este trabajo se consideran relevantes ambos valores de (α), sin embargo se debe notar que con respecto al cálculo del coeficiente de descarga (C_d) pareciera que el ángulo mayormente influyente es el correspondiente a la canaleta de descarga, debido a que en la descarga se originan efectos como la interferencia de las láminas de agua y el ahogamiento, los cuales disminuyen de forma notable el coeficiente de descarga (C_d).

La geometría de la cresta del muro o forma de la cresta para este trabajo se modifica utilizando un cuarto de círculo, con la finalidad de facilitar el comportamiento del vertedero según recomendaciones de la literatura, para la aplicación de las ecuaciones propuestas por los autores antes mencionados.

En el presente trabajo se colocaron pendientes altas a fin de asegurar un régimen supercrítico en la canaleta de descarga. La geometría del aliviadero existente posterior al vertedero, es un canal convergente, el aumento del caudal por unidad de ancho (q) con esta pendiente de 26,28% se espera pueda minimizarse y así lograr atenuar el incremento de las

profundidades. Se trata de mantener el régimen supercrítico a fin de evadir los efectos de ahogamiento.

El diseño propuesto plantea que la dimensión del ancho del ápice (A) sea considerada como el valor medido en el eje central del espesor de las paredes como se muestra en la Figura 5. Para el presente trabajo el valor del ancho del ápice (A) se propone como dos veces el espesor $A = 2.t$.

Análisis dimensional

De acuerdo al prototipo propuesto para el embalse Dos Cerritos y a fin de cumplir con la relación que establece el número de Froude (F) en el Cuadro 8 se muestran los valores establecidos como probables para el prototipo en la realidad, a fin de poder adaptar esto a la escala según las limitantes geométricas que se tienen en el laboratorio para elaborar el modelo físico.

Cuadro 8: Valores propuestos para prototipo de embalse Dos Cerritos.

Altura prototipo Propuesto.	m	4,50
Capacidad del aliviadero existente.	Qp (m ³ /s)	430,00
Curvatura de cresta propuesta.	r (mm)	375,00
Espesor paredes propuesta.	t (cm)	75,00
Longitud Efectiva Propuesta	Le (m)	154,63

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9 se muestran los valores de escalas posibles para la elaboración del modelo físico, todas en función de los espesores comerciales del material acrílico a utilizar (Flexiglass) a fin de evaluar que dimensiones resultarían convenientes al momento de realizar las observaciones, estableciéndose como definitiva para la elaboración la que se encuentra sombreada con un valor $\lambda = 62,5$.

Cuadro 9: Escalas según espesores comerciales.

Espesores	ep/em	Caudal del modelo	Caudal del modelo
e	λ	Qm	
mm		m ³ /s	l/s
4,8	156,25	0,0014	2
6	125,00	0,0025	3
9,6	78,13	0,0080	8
12	62,50	0,0139	14

Fuente: Elaboración propia.

Del Cuadro 9 se obtiene que el caudal de diseño correspondiente a la escala del modelo es de 14 lps. Este caudal corresponde a la capacidad de descarga del vertedero existente.

Para el presente trabajo se realizaron los cálculos del número de weber (W) correspondiente al modelo a estudiar, en el Cuadro 10 se muestra el cálculo:

Cuadro 10: Calculo del Número de Weber

P (m)	0,072
g (m/s ²)	9,81
H (m)	0,0072
H/P	0,1
Cd	0,613
ρ (Kg/m ³)	1000
σ (N/m)	0,0727
W	1,5286

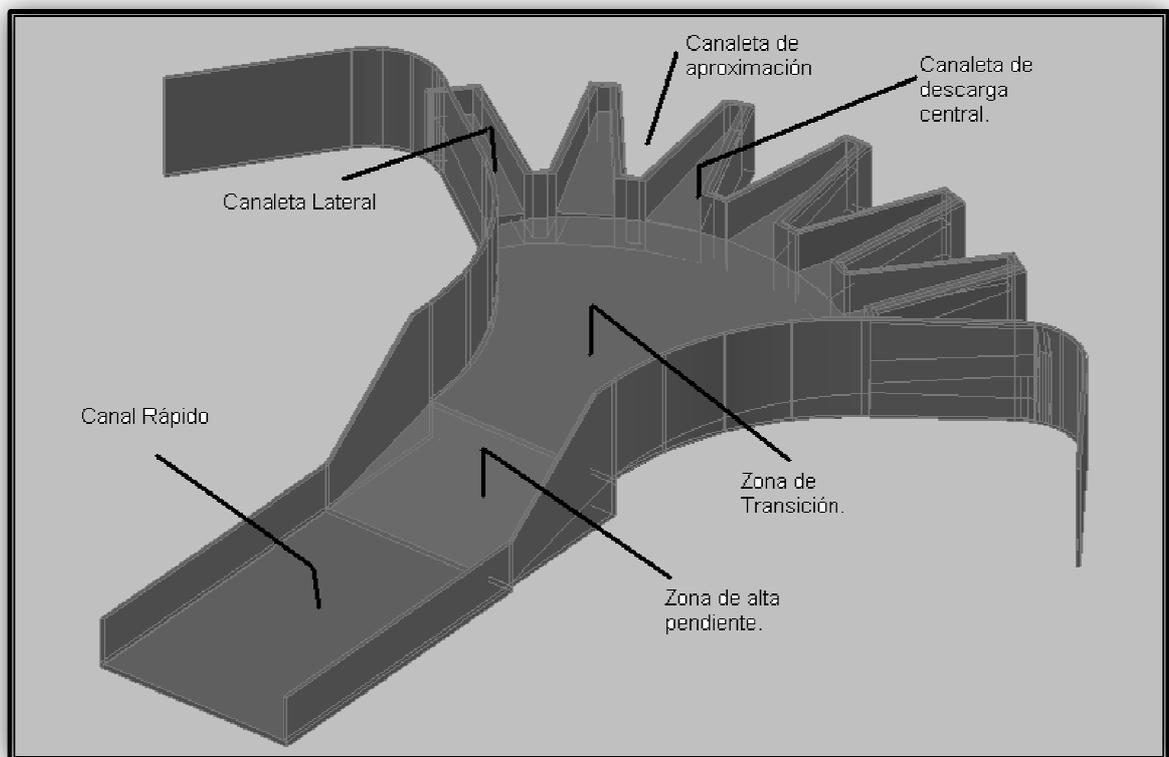
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar el valor obtenido de número de Weber (W) con los valores del Cuadro 2. Se observa que la escala del modelo no cumple con los valores recomendados como mínimos.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

Las limitaciones en las instalaciones disponibles para el desarrollo del modelo, impidieron la elaboración de un modelo a escalas menores, de manera tal que se pudiese llevar el número de weber (W) a los valores requeridos, para evitar efectos de tensión superficial en el modelo.

Por esta razón se utilizará el Cuadro 3 para obtener factores de corrección para los caudales obtenidos en el modelo.



**Figura 18: Geometría propuesta para vertedero en el embalse Dos Cerritos- Edo. Lara. (Ver anexo A)
Fuente: Elaboración propia.**

V.2 EQUIPO UTILIZADO

Para realizar las mediciones correspondientes al caudal de descarga del vertedero en laberintos se utilizó el canal de mayor capacidad que dispone el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Central de Venezuela, ubicado en el segundo piso del mismo.



Figura 19: Vertedero triangular utilizado para mediciones.

Fuente: Elaboración Propia.

El canal posee un estanque al inicio del canal donde fue colocado el modelo reducido le sigue un canal de paredes de vidrio y al final de su recorrido se encuentra un estanque en el cual se colocó un dissipador de energía justo en la caída del agua con la finalidad de poder realizar las

mediciones del caudal en el vertedero triangular de $\theta=90^\circ$ usando la ecuación correspondiente a este tipo de vertederos.

$$C = \left(0,5812 + \frac{0,00375}{H}\right) * \left\{1 + \left[\frac{H^2}{B*(H+p)}\right]^2\right\} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$Q = 0,533 * C * \sqrt{2 * g} * tg\left(\frac{\theta}{2}\right) * H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

θ = Ángulo de abertura (90°)

p= Altura del vértice inferior del vertedero sobre la solera. (20,5 cm)

B= Ancho del canal de aproximación al vertedero (91,4 cm)

H= Carga Hidráulica.

V.3 CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE CRUZADO

Una vez ubicado el modelo en el canal de ensayo, se procedió a circular distintos caudales, todo esto con la finalidad de observar el comportamiento hidráulico de cada caudal en la geometría propuesta del vertedero.

Se observó un comportamiento bien determinado para dos rangos de caudales, los cuales para una mejor comprensión se definen como: caudales bajos a aquellos caudales que están por debajo de la mitad del caudal de diseño $< Q/2$ y aquellos caudales que son mayores o iguales a la mitad del caudal de diseño $\geq Q/2$ se definen como caudales altos.

Se observó que el régimen posterior al vertedero es supercrítico. Para caudales bajos $< Q/2$, se forman ondas de choque provenientes de las canaletas de salida. Estas ondas se suman dando lugar hacia aguas abajo, en la zona de transición a una sobre elevación notable en el centro y se observó separación del flujo de las paredes.

A partir de la sobre elevación se forman ondas de choque que se extienden hacia aguas abajo. En la Figura 20 se observa como se suman las ondas creando un perfil de aguas en el centro de la zona de transición y las ondas de choque simétricas en el canal rápido.

Para caudales altos $> Q/2$ la suma del oleaje cruzado, a la altura de la contracción, genera un perfil uniforme y se crea un control en la contracción, el oleaje cruzado deja de observarse y se nota la formación de un resalto hidráulico produciendo un remanso hacia aguas arriba del canal rápido el cual se mantiene al pie del vertedero aguas arriba de la zona de transición.

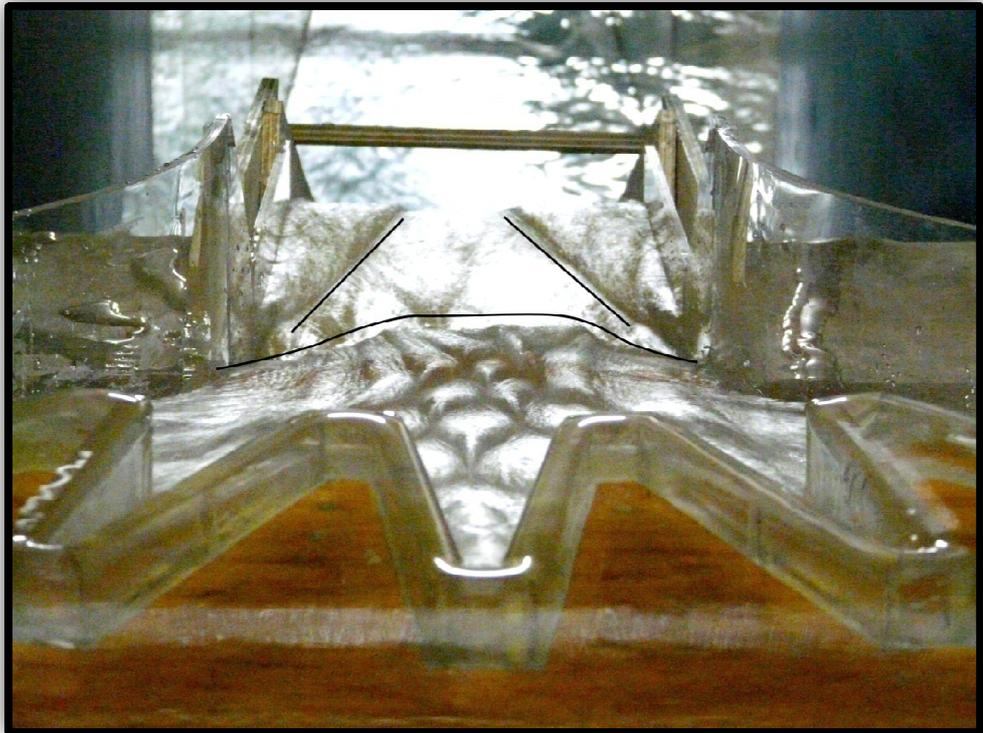


Figura 20: Perfil de aguas en vertedero en laberintos de planta circular con contracción para caudales bajos.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

En la Figura 21 y Figura 22 se observa como el oleaje para este rango de caudales deja de ser relevante y se genera un control aguas debajo de la zona de transición, lo que da lugar a un resalto hidráulico que se ubica al pie del vertedero como se señala en la Figura 21, de esta forma la transmisión del flujo al canal rápido se ve desprovista de oleaje.

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.



Figura 21: Perfil de agua de vertedero en laberintos de planta circular con contracción para caudales altos.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.



Figura 22: Flujo transmitido al canal rápido para caudales altos.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

V.4 CANALETAS DE DESCARGA

En la canaleta de descarga con el propósito de asegurar un régimen supercrítico se colocaron pendientes altas, de esta manera se pretendía garantizar una rápida descarga del agua proveniente de las paredes del vertedero y se podría evitar ahogamiento de esta canaleta con el flujo proveniente de la contracción aguas abajo del vertedero.

El espacio libre aguas arriba de las canaletas de descarga centrales entre la cresta del vertedero y el fondo de la canaleta de descarga fue insuficiente produciendo un ahogamiento prematuro de las láminas de agua provenientes del vertedero.



Figura 23: Interferencia de láminas de agua y ahogamiento de canaletas de descarga.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

La longitud de interferencia (L_d) parece ser grande esto pudo ser debido a que el ápice aguas arriba es pequeño con respecto a las láminas de

agua provenientes de las paredes. Esta gran interferencia de láminas según indica la literatura reduce la descarga.

Las canaletas de descarga laterales adjuntas a las paredes del aliviadero presentaron un comportamiento hidráulico completamente distinto al de las canaletas centrales. Las láminas de agua provenientes del ápice y la pared de vertedero presentan una interferencia que pareciera significativa. En estas canaletas se genera una sobre elevación del flujo sobre la pared del canal de descarga.



Figura 24: Sobre elevación del perfil de aguas en canaletas laterales. Vista desde aguas abajo.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

Para caudales bajos el vertedero presenta un comportamiento típico de vertedero en laberintos como se describió anteriormente en cuanto a la interferencia de las láminas de agua. Para caudales altos especialmente para valores de caudal cercanos al caudal de diseño el vertedero pareciera tener un comportamiento similar al de un vertedero de cresta ancha en el cual su longitud efectiva (L_e) es el ancho total del vertedero en laberintos (W).

V.5 OLEAJE TRANSMITIDO AL CANAL RÁPIDO

El flujo que se trasmite al canal rápido para caudales bajos presentó un perfil particular. Todo el oleaje proveniente del vertedero esta sumado en el centro del canal que forma parte de la zona de transición; este oleaje al transmitirse al canal rápido presenta una línea de simetría central, generando dos frentes de ondas que chocan contra las paredes del canal formando un oleaje simple.



Figura 25: Transmisión del oleaje cruzado al canal rápido para caudales bajos. Vista desde aguas abajo.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

Para caudales altos el oleaje cruzado desaparece debido al control que se genera al inicio del canal rápido generando un resalto hidráulico hacia aguas arriba de la contracción, el flujo que se transmite presenta una superficie uniforme aceptable con control aguas arriba.

V.6 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO

Tal como se mencionó anteriormente la escala seleccionada para el modelo se estableció en función de las disponibilidades de espacio existentes en el laboratorio, debido a esto el valor escogido no permitió establecer el número de Weber (W) dentro de los valores recomendados y es por esto que ha sido necesario hacer correcciones por efectos de la tensión superficial.

Al realizar las mediciones se pudo observar que los efectos de tensión superficial eran notables y se observaron a simple vista, la lámina vertiente en la mayoría de los casos se pegó a las paredes del vertedero lo que indica presiones inferiores a la atmosférica en la parte inferior de la lámina vertiente.

En todo caso ha sido posible obtener una curva de descarga del vertedero que permite realizar comparaciones a grosso modo con la curva de descarga teórica.

Se estabilizó el escurrimiento en el modelo para cuatro valores de carga hidráulica H sobre el vertedero en laberintos, en estas condiciones, se obtuvo el caudal que fue calculado con el vertedero triangular. En el cuadro 11 se muestran estos valores en las columnas 1 y 2. A partir de estos valores calculó el valor de coeficiente de descarga correspondiente al prototipo, mostrado en la columna 5, sin hacer corrección por efecto de tensión superficial.

Cuadro 11: Mediciones de caudal descargado por modelo para distintas cargas hidráulicas.

H/P	H (mm)	Q modelo (m ³ /s)	Cd Laberintos Experimental	H (m) Prototipo	Q prototipo sin corrección (m ³ /s)
0,194	14,0	0,008	0,455	0,9	254,55
0,236	17,0	0,010	0,426	1,1	319,22
0,278	20,0	0,01252	0,405	1,3	386,64
0,375	27,0	0,01544	0,318	1,7	476,95

Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a hacer la corrección utilizando el factor (k), tal como ya se explicó anteriormente en el capítulo II. Esta corrección permite establecer una relación de porcentajes de descarga por encima del caudal descargado en el modelo con respecto al descargado en el prototipo para distintas relaciones de H/P. Para este trabajo se consideraron relaciones de H/P entre 0,1 y 0,4, por ejemplo, al extrapolar del Gráfico 1 se tiene que para una relación de H/P igual a 0,2 el porcentaje obtenido es de aproximadamente 12%.

Esto indica que el caudal descargado en el modelo para una relación de H/P igual a 0,2 supera en un 12 % al caudal descargado para esa misma relación en el prototipo. Es importante señalar que la menor relación a considerar en las mediciones para este trabajo es para valores de H/P=0,2, ya que no se tienen valores de corrección para relaciones menores.

Con base en lo expuesto anteriormente del Gráfico 1 se obtuvieron los distintos factores de corrección (k) para cada una de las distintas relaciones de H/P y se obtuvieron los porcentajes correspondientes que se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Factores de corrección para relaciones de H/P utilizadas.

H/P	Factor Corrección
0,2	12
0,3	7,5
0,40	5,00

Fuente: Elaboración propia con base en el Gráfico 1.

Obtenidos estos valores se corrigieron los caudales del prototipo obtenidos del modelo, y de esta forma se obtuvieron caudales corregidos por efecto de tensión superficial.

Los valores corregidos se muestran en el Cuadro 13.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

Cuadro 13: Caudales corregidos por efecto de tensión superficial.

H (mm)	H (m) Prototipo	H/P	Cd Laberintos Experimental	Q modelo (m3/s)	Q prototipo sin corrección (m3/s)	Q prototipo corregido (m3/s)	Cd Laberinto Experimental Corregido
14,0	0,9	0,194	0,455	0,00824	254,55	224,01	0,40
17,0	1,1	0,236	0,426	0,01034	319,22	280,91	0,37
20,0	1,3	0,278	0,405	0,01252	386,64	340,24	0,36
27,0	1,7	0,375	0,318	0,01544	476,95	441,18	0,29

Fuente: Elaboración propia.

De el Cuadro 13 se obtiene el Gráfico 2, el cual muestra las curvas de descarga de los caudales medidos en el modelo sin corregir y corregidos.

En el gráfico se puede observar que como era esperado para valores de carga hidráulica H bastante inferiores a el valor máximo se obtiene la descarga máxima al corregir se observan valores bastante cercanos a los esperados.

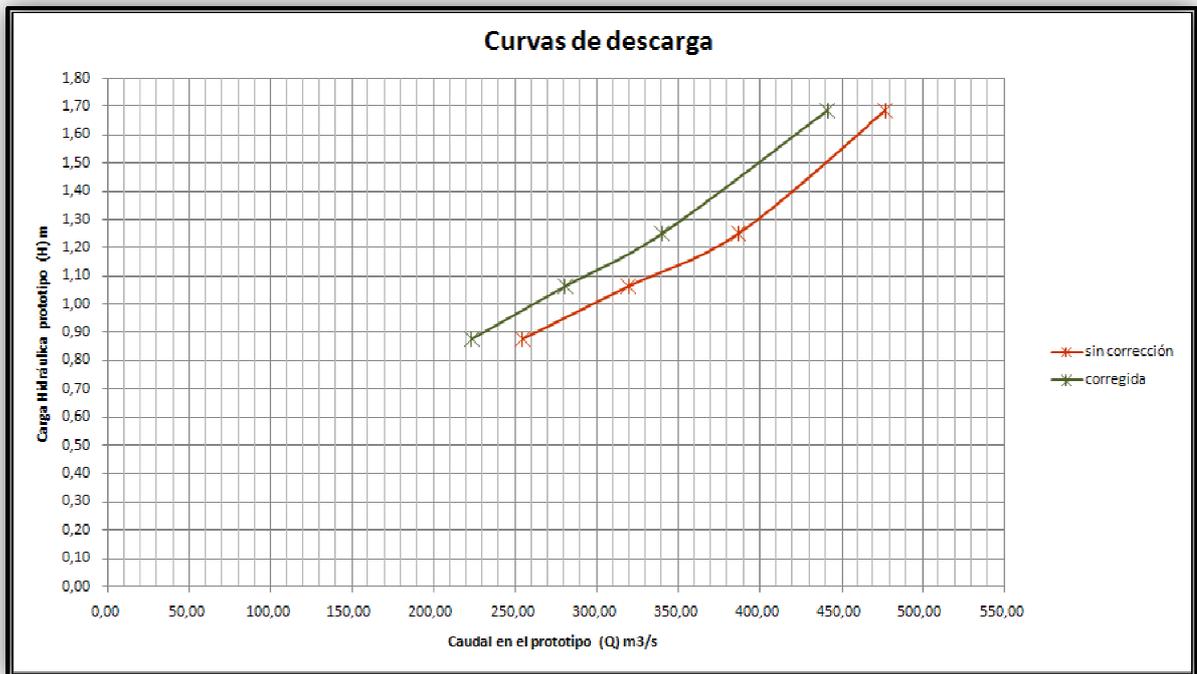


Gráfico 2: Curvas de descarga de caudal sin corrección y corregido.

Fuente: Elaboración propia con base en Cuadro 13.

**COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.**

Si comparamos los valores obtenidos con los que teóricamente se obtendrían al utilizar el coeficiente de descarga (C_d) para vertederos en laberintos de planta recta propuesto por Tullis, Amanian y Waldron para un vertedero en laberintos con $\alpha=8^\circ$. Con este gráfico se puede observar una curva de descarga bastante similar a la obtenida de forma teórica, se observa que para la capacidad máxima del vertedero actual $430 \text{ m}^3/\text{s}$ la descarga corregida estaría solo unos pocos centímetros por encima del (N.A.M), esto puede deberse a la gran longitud total de vertedero (L) que se tiene para el ancho disponible, la cual es por supuesto mucho mayor de la que se obtendría con un vertedero en laberintos de planta recta con el mismo ángulo de las paredes α . Parece no tener influencia significativa el ahogamiento prematuro en las canaletas de descarga en la capacidad del vertedero.

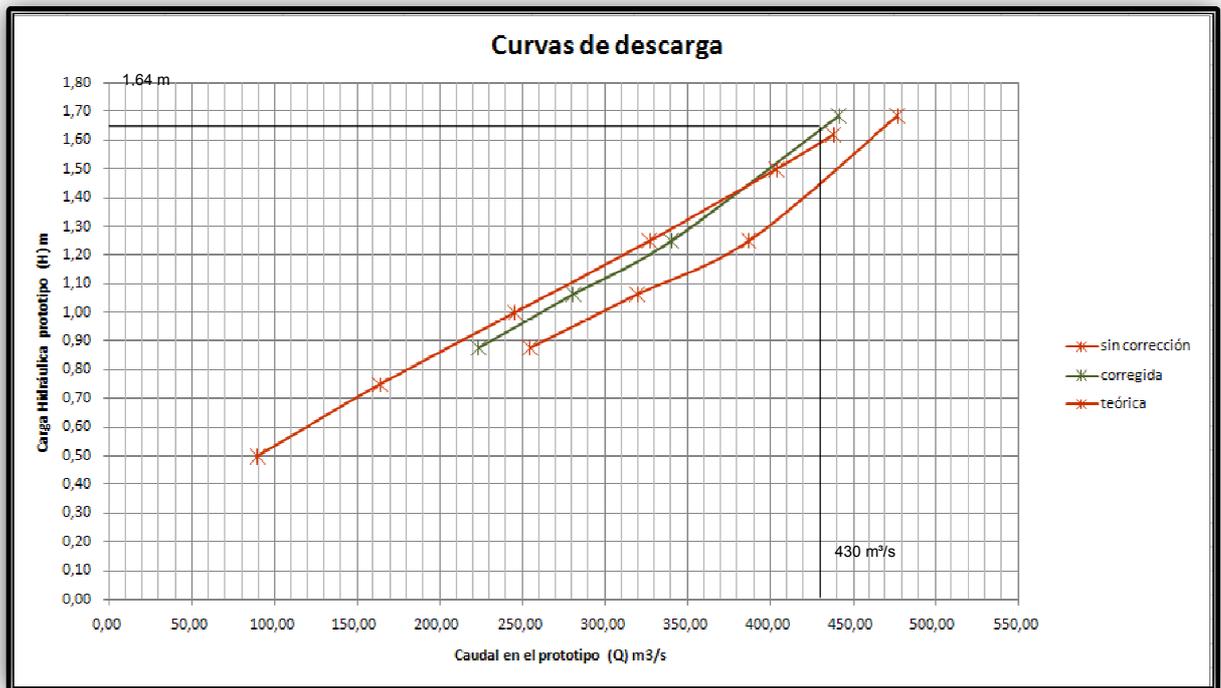


Gráfico 3: Curva de descarga de caudal corregido y sin corregir y teórico para un $\alpha=8^\circ$.

Fuente: Elaboración propia con base en Cuadro 4.

Parece comprobarse con estos resultados que el ángulo que posee mayor influencia en el caso de una geometría circular es el ángulo que se forma en la canaleta de descarga (α_{int}).

Siendo la canaleta de aproximación de mayores dimensiones que la canaleta de descarga ya que $\alpha_{ext} > \alpha_{int}$, para los caudales descargados, no se observaron alteraciones en la superficie del agua, alteraciones mostradas en la Figura 4 y explicadas en el capítulo II. El hecho de disponer de una carga uniforme sobre toda la longitud del vertedero debe traducirse en un mejoramiento de la descarga que compensaría el efecto de ahogamiento.

CONCLUSIONES

Los efectos de tensión superficial son bastante notables y visibles a simple vista. Para un rango amplio de caudales se observó como la lámina de agua se pega al vertedero.

Las canaletas de descarga son insuficientes a pesar de su alta pendiente, para caudales aun bajos, se aprecia una notable interferencia de las láminas de agua.

Las canaletas laterales, adjuntas al muro del aliviadero, tal como lo recomienda la literatura, parecen inadecuadas ya que se presenta una gran sobre elevación.

Es notable, a bajos caudales la formación del oleaje cruzado y su suma produce una sobre elevación en el eje central hacia el final de la transición, transmitiéndose oleaje cruzado hacia el canal rápido.

El comportamiento de la transición para caudales altos es aceptable. Se elimina el oleaje cruzado y el régimen en el canal rápido se produce libre de oleaje. Se establece un control en la entrada del canal rápido.

En caudales altos el resalto producido no alcanza a afectar las canaletas de descarga, no produce ahogamiento.

La curva de descarga corregida se ajusta bastante bien a los valores de descarga esperados de forma teórica. Pareciera ser buena la geometría planteada con respecto a la descarga.

Las canaletas de entrada parecen suficientemente amplias, en el rango de caudales ensayados, las aguas mantienen la misma altura frente al vertedero, lo cual mejora la descarga.

RECOMENDACIONES

Deben hacerse estudios en un modelo a menor escala. De esta manera se resuelve el problema de adhesión de la lámina de aguas con su consecuente influencia en la estimación del caudal a fin de obtener una curva más precisa sin tener que recurrir al uso de factores de corrección.

Se recomienda hacer estudios en un modelo de menor escala variando la geometría del vertedero, con la finalidad de realizar observaciones y poder establecer relaciones entre las geometrías.

Se debe ampliar la capacidad de las canaletas de descarga. Disminuyendo su pendiente o aumentando el ápice (A) de aguas arriba.

Para resolver el problema de las canaletas adjuntas al muro del aliviadero donde se presenta una fuerte sobre elevación, parece conveniente iniciar el laberinto no con la posición normal (N) (Ver Figura 8) sino utilizar la posición invertida (I). Debe tenerse en cuenta que en este caso la pared del aliviadero se aleja notablemente del primer tramo del vertedero, dada la curvatura de la aproximación. No habría mayor influencia de esta pared introduciendo fricción.

El oleaje y sobre elevación en bajos caudales debe eliminarse, para evitar el oleaje cruzado en el canal rápido. Para ello se debe estudiar la posible ubicación de una traviesa al final de la transmisión con altura suficiente para generar un pequeño resalto que evite la transmisión del oleaje hacia aguas abajo, pero que a su vez no afecte el resalto en caudales altos.

La reducción de la pendiente en las canaletas de descarga, puede inducir el ahogamiento por efecto de aguas abajo al entrar el resalto dentro de la canaleta, esto puede evitarse proporcionando una pequeña caída al pie

COMPORTAMIENTO DEL VERTEDERO EN LABERINTOS DE PLANTA CIRCULAR
COMO POSIBLE SOLUCIÓN PARA EL EMBALSE DOS CERRITOS-EDO LARA.

de la canaleta. Existe espacio vertical, ya que la diferencia de las cotas entre el pie de la canaleta y el inicio del canal rápido es grande.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Bolinaga, Juan José. (1999). Proyectos de Ingeniería Hidráulica. Caracas, Venezuela: Fundación Polar.
- (2) Chow, Ven te (1994). Hidráulica de canales abiertos. Colombia: Santafé Bogotá. Mcgraw-Hill, Inc.
- (3) Cordero, María Dolores y Elviro, Victor (2006). Nuevo Aliviadero en Laberinto presa de María Cristina (Castellón-España). Congreso Latino Americano de Hidráulica (XXII, Ciudad Guayana, Venezuela).
- (4) Dirección General de los Recursos Hidráulicos (1976). Revista El Agua: Presa Félix De Los Ríos, Dos Cerritos-Edo. Lara, 21-23.
- (5) Falvey, Henry T. (2003). Hydraulic design of Labyrinth Weirs. Estados Unidos De América: American Society of Civil Engineers.
- (6) Gaspar, José de Jesús. Aliviaderos. Trabajo no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- (7) Gaspar, José de Jesús. Canales. Trabajo no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- (8) Giles, Ronald V.(1977). Mecánica de los fluidos e Hidráulica. Teoría y 475 problemas resueltos.(2 a. Ed). Lugar .Mc Graw-Hill.
- (9) Hay, Nassim y Taylor Geoffrey. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 96 (HY11) 2337-2357.

- (10) Ley de Aguas (2007, Enero 2). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 38.595.
- (11) Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2006). Condiciones actuales del embalse Dos Cerritos-Edo. Lara. Caracas: José de Jesús Gaspar
- (12) Ministerio del Poder Popular para el Ambiente Barquisimeto (2008). [Programa de Embalses, Embalse Dos Cerritos]. Datos no publicados.
- (13) Streeter, Victor L y Wylie, E. Benjamin. (1979). Mecánica de los Fluidos. (6a. ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- (14) Tullis J. Paul, Amanian, Nosratollah y Waldron, David. (1995) Design of Labyrinth Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 121 (3): 247-255.

APÉNDICES

NOMENCLATURA

A_1 : Coeficiente de curvas de Tullis.

A_2 : Coeficiente de curvas de Tullis.

A_3 : Coeficiente de curvas de Tullis.

A_4 : Coeficiente de curvas de Tullis.

A_5 : Coeficiente de curvas de Tullis.

α : Ángulo de las paredes.

α_{ext} : Ángulo de las paredes con respecto a la canaleta de aproximación.

α_{int} : Ángulo de las paredes con respecto a la canaleta de descarga.

b : Ancho de canal rápido.

B : Longitud de canaleta.

B_e : Longitud de la canaleta de entrada.

B_s : Longitud de la canaleta de salida.

C_d : Coeficiente de descarga.

C_w : Coeficiente de descarga de Darvas.

C_p : Coeficiente de descarga de Megalhães.

ΔZ : Variación de altura en la solera del canal.

F : Número de Froude.

g : Aceleración por gravedad.

H : Carga Hidráulica.

H_p : Carga Piezométrica.

H_{ij} : Energía residual aguas abajo.

H_{ml} : Energía residual aguas arriba.

k : Factor de corrección por tensión superficial.

L : Longitud total del vertedero o longitud total de la cresta.

L_e : Longitud efectiva del vertedero.

L_d : Longitud de interferencia.

L_{de} : Longitud de interferencia efectiva.

N : Número de ciclos.

P : Altura del vertedero o altura de cresta

q : Caudal unitario.

Q : Caudal de descarga o capacidad del vertedero.

r : Forma de la cresta.

t : Espesor de de las paredes.

V : Velocidad del flujo.

W : Ancho del canal.

w : Ancho de cada ciclo.

W : Número de Weber.

y_c : Profundidad crítica.

y : Profundidad del flujo.

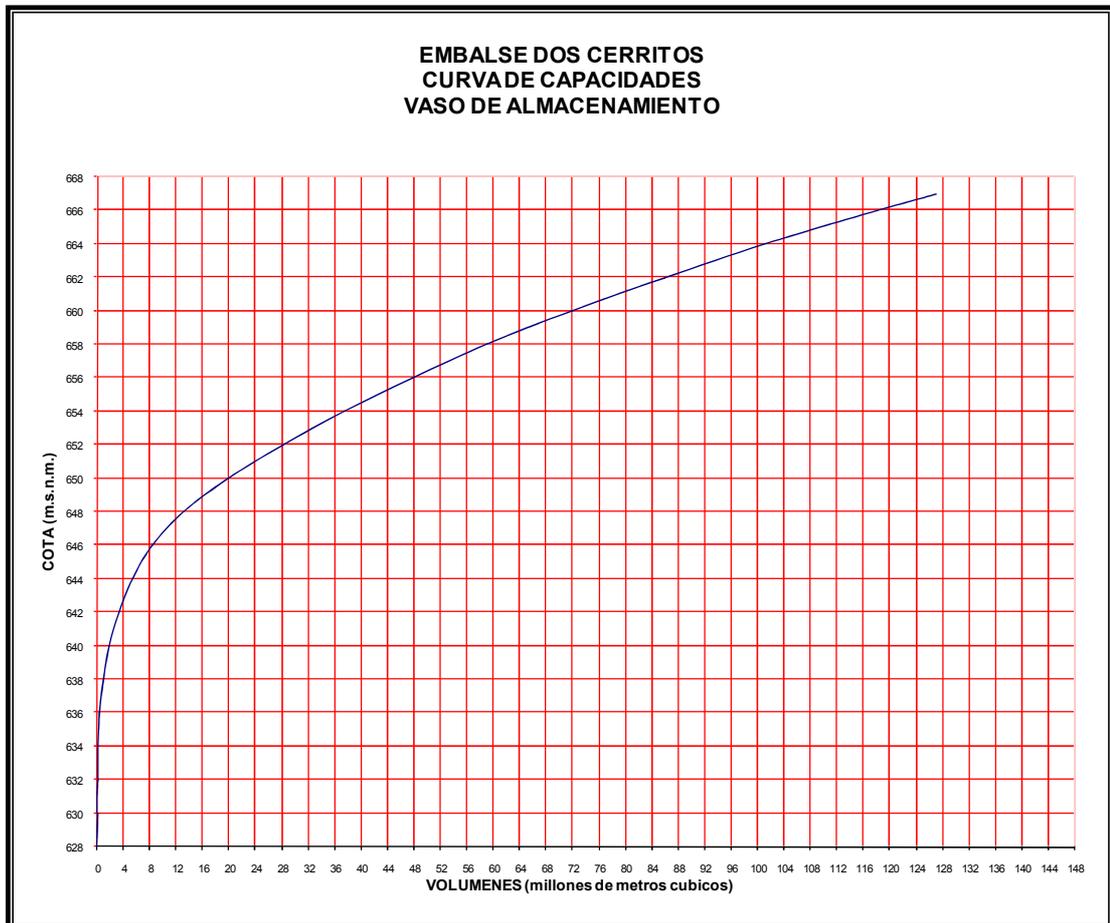


Gráfico 4: Curva de Capacidades. Embalse Dos Cerritos.
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente Barquisimeto (2008).
[Programa de Embalses, Embalse Dos Cerritos]. Datos no publicados.

CURVA DE ÁREAS

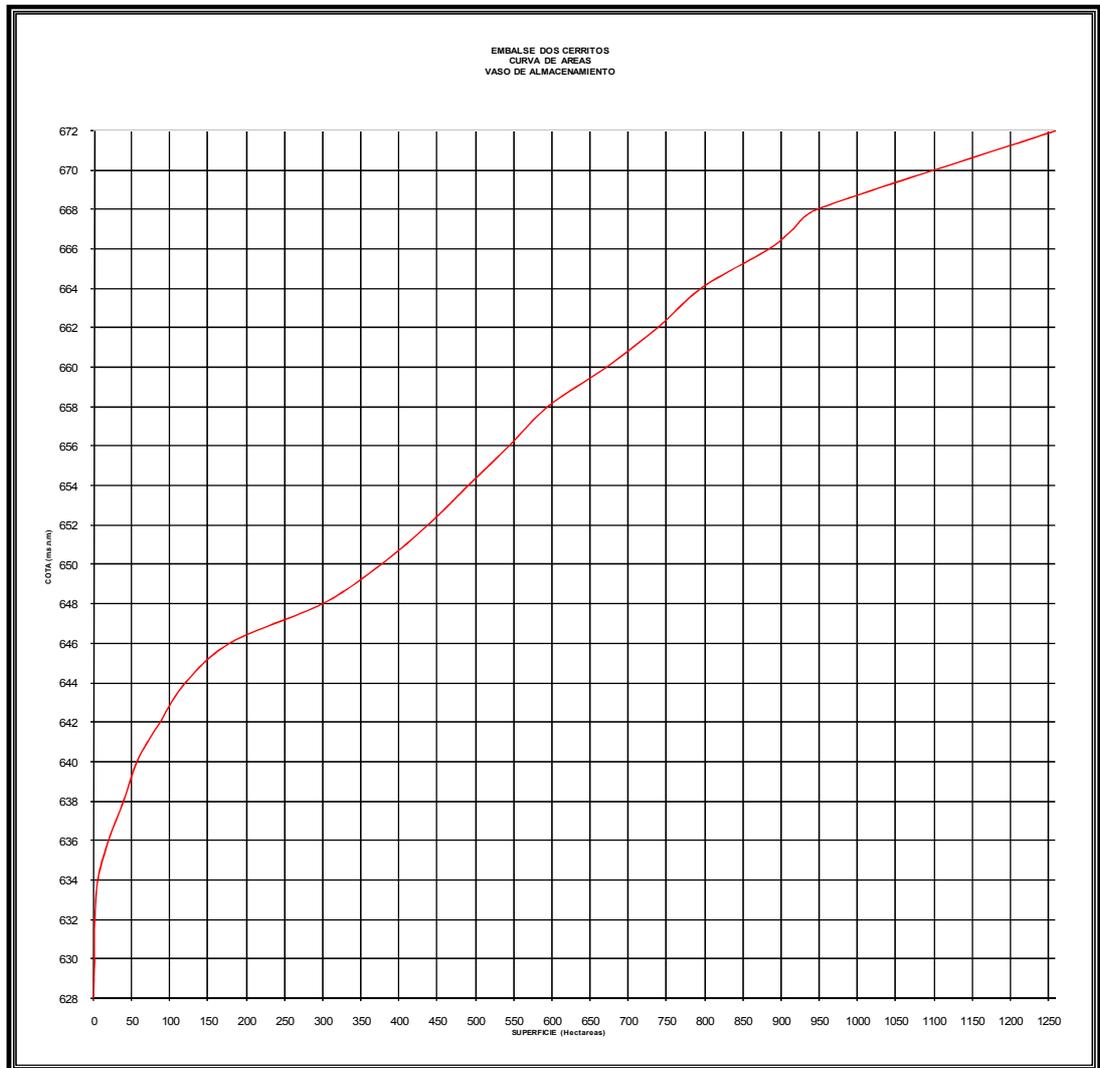


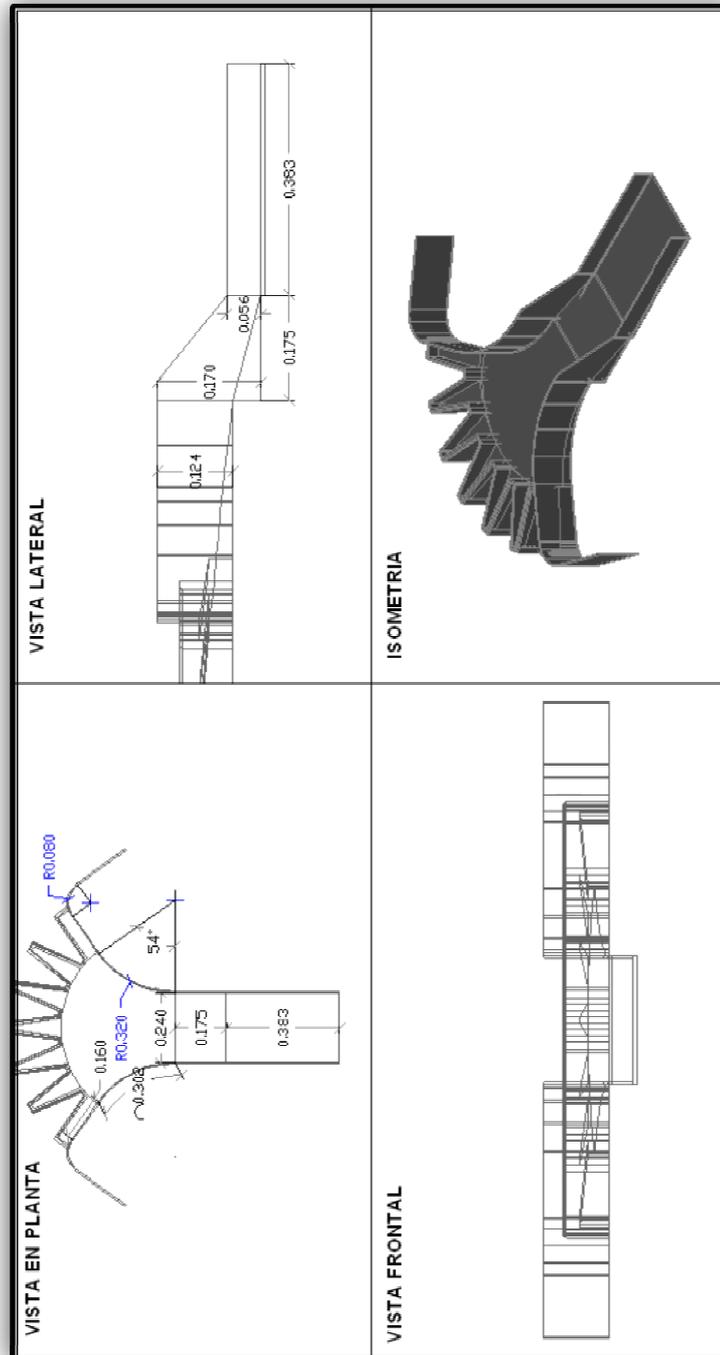
Gráfico 5: Curva de áreas Embalse Dos Cerritos.

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente Barquisimeto (2008).
[Programa de Embalses, Embalse Dos Cerritos]. Datos no publicados.

ANEXOS

ANEXO A

PLANO DEL VERTEDERO



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B



Ilustración 1: Vista del modelo reducido desde aguas arriba para caudal bajo.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

ANEXO C



Ilustración 2: Vista de la zona de alta pendiente y canal rápido desde aguas arriba. Se observa la transmisión de oleaje cruzado.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.

ANEXO D



Ilustración 3: Vista lateral del perfil de aguas transmitido al canal rápido para el caudal de diseño.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth

ANEXO E



Ilustración 4: Vista del vertedero con ahogamiento en la canaleta de descarga para caudales altos.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.



Ilustración 5: Canaleta lateral con sobre elevación vista desde aguas abajo.

Fuente: Fotografía tomada por Jesús Forsyth.