

**PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL MONITOREO Y CONTROL DEL
MODELO FÍSICO DEL EMBALSE BUCARAMANGA, PROYECTO DE
REGULACIÓN RÍO TONA.**

**JHOHAN HADID PARDO GONZÁLEZ
CARLOS FERNANDO ÁLVAREZ PRADA
NESTOR ARIEL VILLAREAL GALVIS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL MONITOREO Y CONTROL DEL
MODELO FÍSICO DEL EMBALSE BUCARAMANGA, PROYECTO DE
REGULACIÓN RÍO TONA.**

**JHOHAN HADID PARDO GONZÁLEZ
CARLOS FERNANDO ÁLVAREZ PRADA
NESTOR ARIEL VILLAREAL GALVIS**

**Trabajo de grado modalidad práctica empresarial para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**Director
ANDRES ALMEYDA ORTIZ
Ingeniero Civil**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

A DIOS por tantas bendiciones durante todo el proceso de formación académica

A mi madre que siempre está presente en mi mente y corazón, y que me llena cada día con su amor;

A mi padre que siempre estuvo orgulloso de lo que soy, por su apoyo incondicional y por el amor que siempre me expresó;

A mi hermano quien estuvo presente en todo el proceso de mi formación académica

Gracias por brindarme su apoyo sin condición

JHOHAN HADID PARDO GONZALEZ

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres, Clara Inés y Carlos Julio, a mi hermana Clara Liliana y a mi sobrino Juan Daniel, que son la mayor muestra de un Dios que me consiente, y ha escogido para mí a los mejores formadores y acompañantes de vida, con quienes celebraré muchos más éxitos a lo largo de este camino personal y profesional.

¡Los amo!

CARLOS FERNANDO ALVAREZ PRADA

DEDICATORIA

A mi abuelo Rafael Galvis

Con su experiencia y sabiduría me brindo enseñanza y educación

A mi hija Paula Alejandra Villarreal

Es la motivación más grande que me lleno de fortaleza para emprender el camino
del saber

Nestor Ariel Villarreal Galvis

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos por su apoyo y compañía durante esta etapa de formación para nuestras vidas profesionales.

Al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga especialmente al Ingeniero Álvaro Prada Arciniegas gerente del embalse Bucaramanga quien solicito la presencia de nosotros para el intercambio de información.

Al Ingeniero Andrés Almeyda Ortiz director de proyecto, por su disposición y apoyo durante el desarrollo de la práctica.

Autores del Proyecto

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. GENERALIDADES DEL MODELO HIDRÁULICO	24
3. VERIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES DE FLUJO UTILIZADAS EN EL MODELO HIDRÁULICO	26
4. ESCALAMIENTO DE SEDIMENTOS	29
4.1 VELOCIDAD DE CAÍDA DE DIETRICH	29
4.2 ESCALAMIENTO DEL MATERIAL PARA EL TRANSPORTE DE FONDO	31
5. SUPERVISIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DEL MODELO	34
5.1 ESTRUCTURAS DEL MODELO	34
5.1.1 Vertedero de excedencias	34
5.1.2 Tanque del embalse	36
5.1.3 Sistema de captación	40
5.1.4 Tanque del cuenco amortiguador	41
5.2 OBRAS AUXILIARES	42
5.2.1 Sistema de bombeo	42
5.2.2 Servo válvula eléctrica	43
5.2.3 Tanque de aquietamiento	43
5.2.4 Dosificador volumétrico	45
5.2.5 Banda transportadora para granos y polvos	46
5.2.6 Tanque de mezcla	46
5.2.7 Mezclador vertical de aspas	47
5.2.8 Vertederos de pared delgada	48
6. SUPERVISIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN	51
6.1 CAUDALÍMETRO	51

6.2 RIVERSURVEYOR M9	52
6.3 TABLERO DE PIEZÓMETROS	53
6.4 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN	53
6.5 LIMNÍMETRO AGUJA SIMPLE	55
6.6 SENSOR DE NIVEL	55
6.7 ANEMÓMETRO DE HILO CALIENTE	56
6.8 CAPTURA DE DATOS Y ALMACENAMIENTO	57
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema general en planta del modelo hidráulico, ilustrando las partes del modelo físico embalse Bucaramanga	25
Figura 2. Curvas granulométricas del prototipo, escalada por velocidad de caída y por escala geométrica	31
Figura 3. Curva granulométrica prototipo y la obtenida a partir de los diámetros escalados aplicando la identidad de Froude	33
Figura 4. Esquema del vertedero Morning Glory	35
Figura 5. Fotografía, Montaje del vertedero Morning Glory	36
Figura 6. Fotografía, Tanque del embalse construido inicialmente con capa superficial en arcilla	37
Figura 7. Fotografía, Taludes fallados por la infiltración	38
Figura 8. Fotografía, problemas de sedimentación inesperada por material suelto	39
Figura 9. Fotografía, tanque del embalse después de la puesta de mortero como superficie y corrección de pendientes	39
Figura 10. Fotografía, sistema de captación	40
Figura 11. Fotografía, tanque del cuenco Amortiguador	41
Figura 12. Fotografía, cámara de bombeo	42
Figura 13. Fotografía, Servo válvula eléctrica	43
Figura 14. Fotografía, tanque de aquietamiento	44
Figura 15. Fotografía, dosificador de sedimentos	45
Figura 16. Fotografía, banda transportadora	46
Figura 17. Fotografía, del tanque Mezclador	47
Figura 18. Fotografía, mezclador de aspas	48
Figura 19. Fotografía vertedero de pared delgada, ubicado a la salida del cuenco amortiguador	49
Figura 20. Fotografía, caudalímetro de ultrasonido	51

Figura 21. Fotografía, del Riversurveyor M9	52
Figura 22. Fotografía, tablero de presiones	53
Figura 23. Fotografía, transductor de presión	54
Figura 24. Fotografía, limnómetro	55
Figura 25. Fotografía, sensor de nivel	56
Figura 26. Fotografía, anemómetro de hilo caliente	57
Figura 27. Imagen del HMI (interfaz de usuario). Entrega Información detallada de la instrumentación en tiempo real	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación de las principales variables de flujo	27
Tabla 2. Escalamiento de los caudales	28
Tabla 3. Distribución granulométrica del prototipo escalada por el método de velocidad de caída de Dietrich (D_m) y la propuesta por la UN (D_{mLr}), para el material en suspensión	30
Tabla 4. Distribución granulométrica del prototipo y la escalada aplicando el parámetro del número de Froude (D_m), para el caso de transporte de material de fondo	32

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. METODOLOGÍA A SEGUIR PARA REVISAR UN MODELO HIDRAULICO CON FONDO MOVIL ANTES DE SU PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	64
ANEXO B. FORMATO PARA LA TOMA DE VELOCIDADES EN EL CANAL DE EXCESOS DEL MODELO FÍSICO EMBALSE BUCARAMANGA	65
ANEXO C. CONTROL DE CIERRE OPERACIÓN A DIARIO	67
ANEXO D. FORMATO PARA LA TOMA DE PRESIONES EN EL VERTEDERO MORNING GLORY Y CANAL DE EXCESOS DEL MODELO FÍSICO EMBALSE BUCARAMANGA	68
ANEXO E. FORMATO PARA LO TOMA DEL NIVEL DEL MODELO HIDRÁULICO FÍSICO EMBALSE BUCARAMANGA Y CONTROL DEL CAUDAL QUE ENTRA Y SALE DEL MODELO	69

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL MONITOREO Y CONTROL DEL MODELO FÍSICO DEL EMBALSE BUCARAMANGA, PROYECTO DE REGULACIÓN RÍO TONA*

AUTORES: PARDO GONZÁLEZ, Jhohan Hadid
ÁLVAREZ PRADA, Carlos Fernando
VILLAREAL GALVIS, Nestor Ariel**

PALABRAS CLAVE: Modelo hidráulico, variables hidráulicas, caudal máximo probable, Morning Glory, captación, modelación de sedimentos y cuenco de erosión.

CONTENIDO

Los modelos hidráulicos son una herramienta de gran utilidad para predecir fenómenos presentes en la naturaleza, por lo tanto el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A. E.S.P) dispuso de un modelo hidráulico para observar el funcionamiento del embalse Bucaramanga sobre el río Tona, este estudio se apoya en el escalamiento dimensional de las principales variables hidráulicas influyentes, bajo la similitud del número de Froude, por otra parte se habla en detalle de las estructuras hidráulicas presentes en el modelo, su verificación y materialización, además se determina la escala sedimentológica para la reproducción del lecho en el modelo por medio de los métodos de velocidad de caída y la aplicación del parámetro de Froude para el transporte de material fondo. También se describen los instrumentos utilizados en la captura de datos y las dificultades presentadas en la construcción y puesta en marcha del modelo hidráulico.

Se anexa en el presente artículo un diagrama de flujo que muestra los pasos para la revisión de un modelo hidráulico con fondo móvil antes de su operación, teniendo en cuenta las variables y las estructuras hidráulicas que intervienen en el modelo. Por último se anexan tres formatos de laboratorio para la toma de datos correspondientes a la velocidad del canal de excesos, las presiones en el vertedero Morning Glory y canal de excesos, la altura de la lámina de agua en la presa y en los vertederos, y el formato de apertura y cierre de operaciones.

* Proyecto de Grado.

** Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Andres Almeyda Ortiz – Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL MONITOREO Y CONTROL DEL MODELO FÍSICO DEL EMBALSE BUCARAMANGA, PROYECTO DE REGULACIÓN RÍO TONA*

AUTHORS: PARDO GONZÁLEZ, Jhohan Hadid
ÁLVAREZ PRADA, Carlos Fernando
VILLAREAL GALVIS, Nestor Ariel**

KEYWORDS: hydraulic model, hydraulic variables, probable maximum flow, morning glory, capture, deposit of sediments and cavity of erosion.

CONTENTS

The hydraulic models are a convenient feature for predicting phenomena which occur in nature, therefore the Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A. E.S.P.) provided a model for optimum operation of the dam on the river Tona Bucaramanga, this study relies on the dimensional scaling of the main hydraulic variables influential on the similarity of the number of Froude, moreover is spoken in detail of hydraulic structures in the model, verifying its materialization likewise it is determined the scale sedimentological bed for reproduction in the model by means of methods and relative speed of fall and the application of Froude parameter for transport bottom material. Also it is described the tools used to capture data, moreover, it will discuss about difficulties in construction and running the model hydraulic.

Attached in this article a flow chart showing the steps for reviewing a hydraulic model with movable before operation, taking into account the hydraulic structures and variables involved in the model. Finally annexed laboratory three formats for data collection corresponding to the channel rate of excess, the pressures in the landfill Morning Glory and excesses channel, the height of the water level in the dam and landfills, and the format of opening and closing operations.

* Grade Project

** Universidad Industrial de Santander, Faculty of Physical - Mechanical Engineerings, School of Civil Engineering. Director: Andres Almeyda Ortiz - Civil Engineer

INTRODUCCIÓN

Con el fin de abastecer de agua potable al Área Metropolitana de Bucaramanga para los próximos veinte (20) años, el amb actualmente realiza la construcción del embalse sobre el río Tona. Dada la complejidad y la inversión que representa el proyecto Embalse Bucaramanga, dispuso en sus condiciones generales contractuales la construcción de un modelo físico a escala geométrica 1:50, que incluya todos los componentes del embalse como: la presa, sus obras anexas y un tramo del lecho móvil del río Tona. Las variables que se analizaron en este modelo fueron: la creciente máxima probable, el patrón de sedimentos, la velocidad en la aproximación del flujo hacia las diferentes estructuras hidráulicas, la velocidad del viento en la entrada del aireador en el vertedero Morning Glory, la distribución de presiones a lo largo del vertedero Morning Glory y del canal de excesos y a su vez la mancha que se produce en el cuenco amortiguador por el flujo excedente del embalse; con el propósito de estudiar los posibles fenómenos que pueden ocurrir en la fase operativa y en consecuencia corregirlos en la etapa constructiva del proyecto.

El amb solicitó la participación de la Universidad Industrial de Santander (UIS) para el intercambio de conocimiento en la fase operativa y puesta en marcha del modelo, involucrando a tres estudiantes de último semestre bajo la modalidad de práctica empresarial para realizar el monitoreo y control de las variables hidráulicas en el modelo embalse Bucaramanga, proyecto de regulación del río Tona.

A causa de la complejidad para construir el modelo se produjeron algunos retrasos en la entrega, por lo tanto no se cumplieron los objetivos propuestos inicialmente para la práctica en la operación del modelo físico. En consecuencia el amb dispuso para esta práctica empresarial realizar la verificación y supervisión del escalamiento de las variables físicas, hidráulicas y de sedimentos dentro del

modelo, igualmente la verificación de las diferentes estructuras que lo componen, determinando si cumplen con los parámetros de semejanza. También se realizó la supervisión de la instrumentación dispuesta para la fase operativa del modelo embalse Bucaramanga.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el monitoreo y control a las variables hidráulicas en el modelo embalse Bucaramanga, proyecto de regulación del río Tona.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

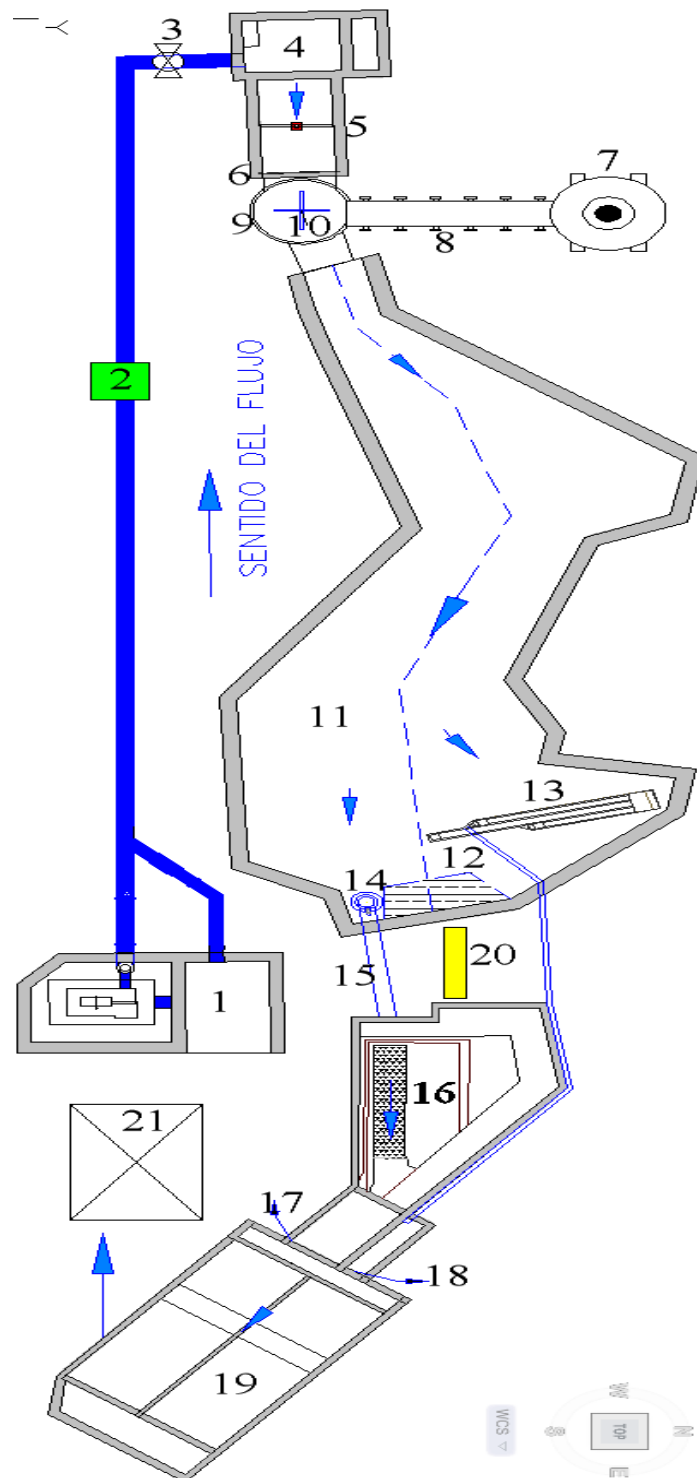
- Realizar las mediciones necesarias para caracterizar el flujo en el vertedero, el sistema de captación, la estructura de disipación de energía, cambiando las variables hidrológicas, considerando un tránsito de la creciente máxima probable con un caudal de 1500 m³/s.
- Identificar eventuales cambios que lleven a un mejor funcionamiento del vertedero de excesos, del cuenco disipador de energía y de la captación.
- Determinar el patrón de sedimentación en el modelo hidráulico del embalse de Bucaramanga.
- Recopilar, revisar, comparar y analizar en detalle toda la información obtenida en las pruebas ejecutadas sobre el modelo hidráulico.

2. GENERALIDADES DEL MODELO HIDRÁULICO

El modelo físico embalse de Bucaramanga (figura 1), está constituido por: (1) Un sistema de recirculación soportado por una bomba con una capacidad de 100 l/s, (2) un caudalímetro que se encuentra en la tubería de impulsión registrando los datos en tiempo real, (3) una servo-válvula para controlar el caudal que ingresa al modelo, (4) un tanque de aquietamiento que recibe la tubería de impulsión y disipa la energía del agua para ser entregada al modelo, (5) un sensor de nivel de ultrasonido para determinar la altura de la lámina de agua, (6) un vertedero de pared delgada para obtener una segunda medida del caudal que entra al modelo, (7) una tolva y dosificador incorporados en una estructura metálica para suministrar de manera controlada los sedimentos, (8) una banda transportadora que se encarga de llevar los sedimentos al (9) tanque mezclador donde se realiza la incorporación de los sedimentos al modelo mediante el (10) agitador mecánico para un correcto mezclado con el flujo.

El (11) tanque del embalse, representa la topografía de la zona inundada junto con la (12) presa, la (13) captación y el (14) vertedero de excesos Morning Glory, el cual se conecta a un (15) canal de excesos que dirige el flujo al segundo (16) tanque que representa el cuenco de amortiguación y la entrega al río Tona, el cual cuenta con un (17) vertedero de pared delgada para medir el caudal de excedencias que pasa por el Morning Glory que a su vez se cuenta con un (18) vertedero de pared delgada encargado de aforar el caudal procedente de la aducción, para posteriormente entregar el flujo a dos (19) tanques encargados de recuperar el sedimento transportado. A un costado del canal de excesos está el (20) tablero de piezómetros para medir las presiones producidas por el flujo en el vertedero de excedencias Morning Glory y a lo largo del canal de excesos, y (21) una oficina donde se encuentran el centro de control.

Figura 1. Esquema general en planta del modelo hidráulico, ilustrando las partes del modelo físico embalse Bucaramanga



Fuente: Autores de la práctica

3. VERIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES DE FLUJO UTILIZADAS EN EL MODELO HIDRÁULICO

Para iniciar la supervisión de las diferentes variables y estructuras hidráulicas, se realizó la verificación al escalamiento, utilizando como parámetro el número de Froude y su condición de semejanza dinámica $Fr=1$, es decir, $F_{rP} = F_{rM}^{1,2,3}$, (los subíndices “m” y “p” se refieren al modelo y al prototipo) dando como resultado las siguientes relaciones:

Relación de Longitudes L_r ; $L_r = \frac{L_p}{L_M}$ (1)

Relación de Velocidades (V_r) ; $V_r = (L_r)^{1/2}$ (2)

Relación de Áreas A_r ; $A_r = \frac{L_p}{L_M}^2 = L_r^2$ (3)

Relación de Volúmenes V_r ; $V_r = \frac{L_p}{L_M}^3 = L_r^3$ (4)

Relación de Tiempo (T_r) ; $T_r = L_r^{1/2}$ (5)

Relación de Caudal (Q_r) ; $Q_r = V_r * A_r = (L_r)^{5/2}$ (6)

Relación de Fuerza (F_{zr}) ; $F_{zr} = \frac{F_{zp}}{F_{zM}} = L_r^3$ (7)

¹ Y. A. Çengel, J. M. Cimbala, Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones, Primera Edición. McGraw-Hill, México D.F. 2006, Análisis dimensional y modelado, p 269 a 305.

² F. M. White, Mecánica de Fluidos, Sexta Edición, McGraw-Hill, México, 2008, Análisis dimensional y semejanza, Flujo en canales abiertos. p 287 a 327 y 693 a 731.

³ Capitulo 2, Modelación Hidráulica. http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf [citado el 22 de Mayo de 2013].

Relación de Presión $(F_{zr}); F_{zr} = \frac{F_{zp}}{F_{zM}} = L_r^3$ (7)

Relación de Cabeza de Presión $(P_r); P_r = \frac{F_{zr}}{A_r} = L_r$ (8)

Relación de Cabeza de Velocidad $CV_r ; CV_r = \frac{CP_p}{CP_m} = L_r$ (10)

En la tabla 1 se observa el escalamiento hallado para las principales variables del flujo.

Tabla 1. Relación de las principales variables de flujo

Variables	Escala (modelo:prototipo)
Longitud	1:50
Área	1:2500
Volúmen	1:125000
Tiempo	1:7.071
Caudal	1:17677.670
Velocidad	1:7.071
Presión	1:50
Fuerza	1:125000
Cabeza de Presión	1:50
Cabeza de Velocidad	1:50

Fuente: Autores de la práctica

Comparando las diferente escalas halladas con las escalas mencionadas por la Universidad Nacional (UN) en la tabla 2.1 del memorando técnico número 114 encontramos que están ajustadas a las calculadas en el desarrollo de la práctica.

⁴ Gómez Giraldo A. Estudios y diseños del proyecto de regulación del río Tona Embalse de Bucaramanga, Memorando Técnico número 11, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia 2012.

De los parámetros de escala validados anteriormente se obtienen los caudales del modelo a partir de los caudales de diseño⁵.

Tabla 2. Escalamiento de los caudales

Obra	Q prototipo [m ³ /s]	Q modelo [l/s]
Q medio Río	1.1	0.062
Captación	3.2	0.181
Vertedero Morning	1500	85

Fuente: Autores de la práctica

⁵ Ibíd.

4. ESCALAMIENTO DE SEDIMENTOS

La colmatación de sedimentos en los embalses origina una reducción en la capacidad de almacenamiento, disminuyendo la vida útil del mismo, en consecuencia se han creado métodos que permiten conocer el patrón de sedimentación. En la mecánica de sedimentos para ríos, existen dos tipos de transporte de material, clasificados como: transporte de material en suspensión y transporte de material de fondo. Para representar las partículas de sedimento en el modelo, la UN realizó el modelamiento por medio de la escala geométrica, considerando los dos tipos de granulometría, una de ellas representa el transporte en suspensión y la otra el transporte de fondo.

Es por esto que se realizó una comparación del escalamiento hecho por la UN, usando para el transporte en suspensión, el método de velocidad de caída de Dietrich y para el material de fondo la aplicación de la identidad del número de Froude. Cabe señalar que este escalamiento se realiza en base a las granulometrías presentadas para el prototipo en el informe técnico número 11⁶. A continuación se describen los métodos empleados para el escalamiento respectivo.

4.1 VELOCIDAD DE CAÍDA DE DIETRICH

El procedimiento se basa en una ecuación empírica que representa los efectos de tamaño, densidad, forma y redondez de los sedimentos naturales⁷. Este análisis se realizó en función de cuatro parámetros adimensionales, diámetro nominal D^* , velocidad de caída W^* , el factor de forma Corey y el índice de redondez Powers,⁸.

⁶ Ibíd.

⁷ 12. Dietrich, W. E., 1982, Settling velocity of natural particles: Water Resources Research, v. 18, no. 6, p. 1615-1626. http://eps.berkeley.edu/development/view_person.php?uid=1164&page=81 [citado el 14 de Junio de 2013].

⁸ Estudio del Efecto de la Forma y el Tamaño de las Partículas Sobre la Velocidad de Sedimentación Gravitacional de Suspensión.

Una vez realizados los cálculos con los parámetros de velocidad de caída de Dietrich y partiendo de la granulometría para el prototipo⁹ se presentan los resultados conseguidos para el modelo (Dm), la granulometría con los valores obtenidos por la UN (DmLr), así como la granulometría correspondiente al prototipo (Dp).

Tabla 3. Distribución granulométrica del prototipo escalada por el método de velocidad de caída de Dietrich (Dm) y la propuesta por la UN (DmLr), para el material en suspensión

% que pasa	Dp[mm]	Dm[mm]	DmLr[mm]
99,42	50,8000	1,3436	1,016
97,94	25,4000	0,9974	0,508
94,21	12,5000	0,7496	0,25
90,73	4,7500	0,4870	0,095
89,02	2,3600	0,3369	0,0472
82,25	0,8000	0,1712	0,016
76,41	0,4300	0,1099	0,0086
65,38	0,3000	0,0851	0,006
50,31	0,1700	0,0533	0,0034
33,37	0,0800	0,0283	0,0016
21,58	0,0500	0,0187	0,001
12,45	0,0220	0,0089	0,00044
7,47	0,0009	0,0004	0,000018
6,64	0,0007	0,0003	0,000014

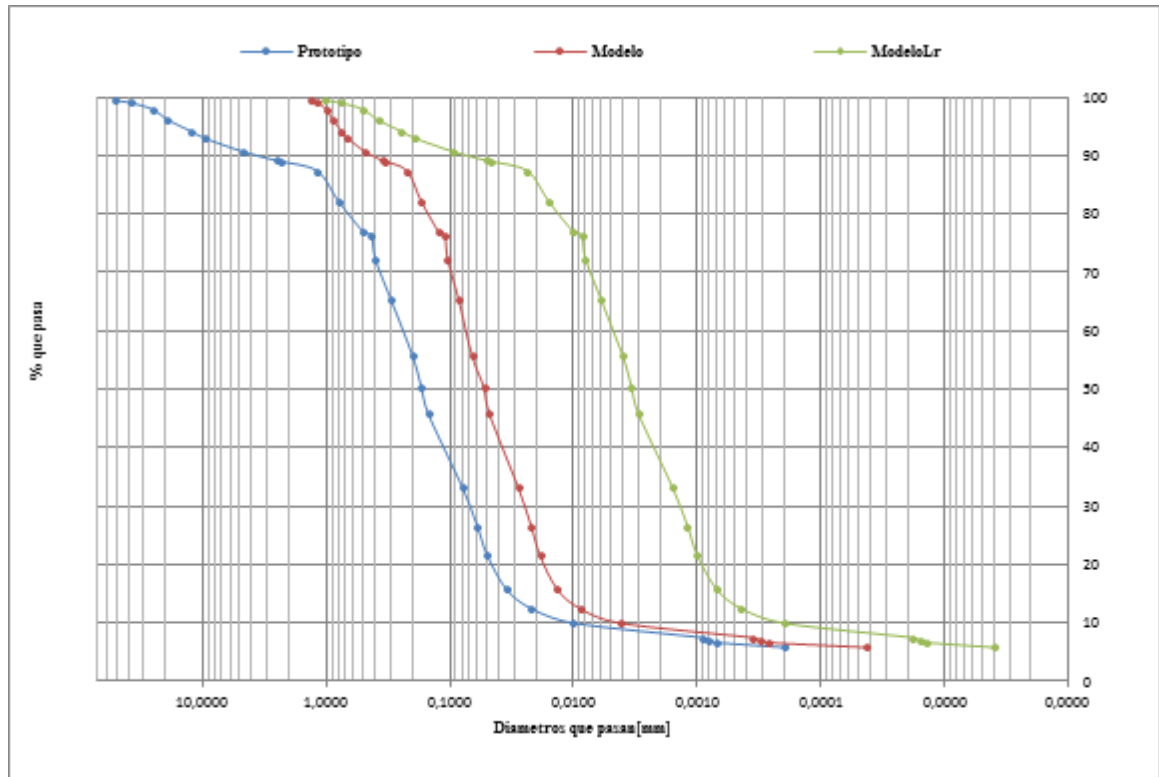
Fuente: Autores de la práctica

Una vez tomado los valores de la tabla 3, se grafican las curvas granulométricas, que se ilustran en la figura 2.

<http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/46/1/Efecto%20de%20forma%20y%20tamano%20e%20n%20sedimentacion.pdf> [citado el 7 de Julio de 2013].

⁹ Gómez Giraldo A. Estudios y diseños del proyecto de regulación del río Tona Embalse de Bucaramanga, Memorando Técnico número 11, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia 2012.

Figura 2. Curvas granulométricas del prototipo, escalada por velocidad de caída y por escala geométrica



Fuente: Autores de la práctica

Según la figura 2, se obtiene el D_{50} para la curva granulométrica hallada por el método de velocidad de caída de Dietrich, obteniendo un diámetro representativo de 0.05mm (Curva Modelo) y 0.0065mm para la curva hallada por la UN (Curva ModeloLr), lo que indica una diferencia considerable, que incidiría en la velocidad de sedimentación, por lo tanto, consideramos que se estaría subestimando el patrón de sedimentación.

4.2 ESCALAMIENTO DEL MATERIAL PARA EL TRANSPORTE DE FONDO

Al revisar el escalamiento del lecho del fondo se determinó que se debe tener en cuenta como mínimo el parámetro del número de Froude (Fr), relacionando el diámetro de la partícula de sedimento en el modelo con la del prototipo,

considerando que se trata de un modelo sin distorsión y usando sedimentos con propiedades similares, es decir, peso específico igual al prototipo, tenemos que la escala del diámetro del sedimento es igual a la escala geométrica [3], por lo tanto se obtiene los siguientes resultados que se observan en la tabla 4.

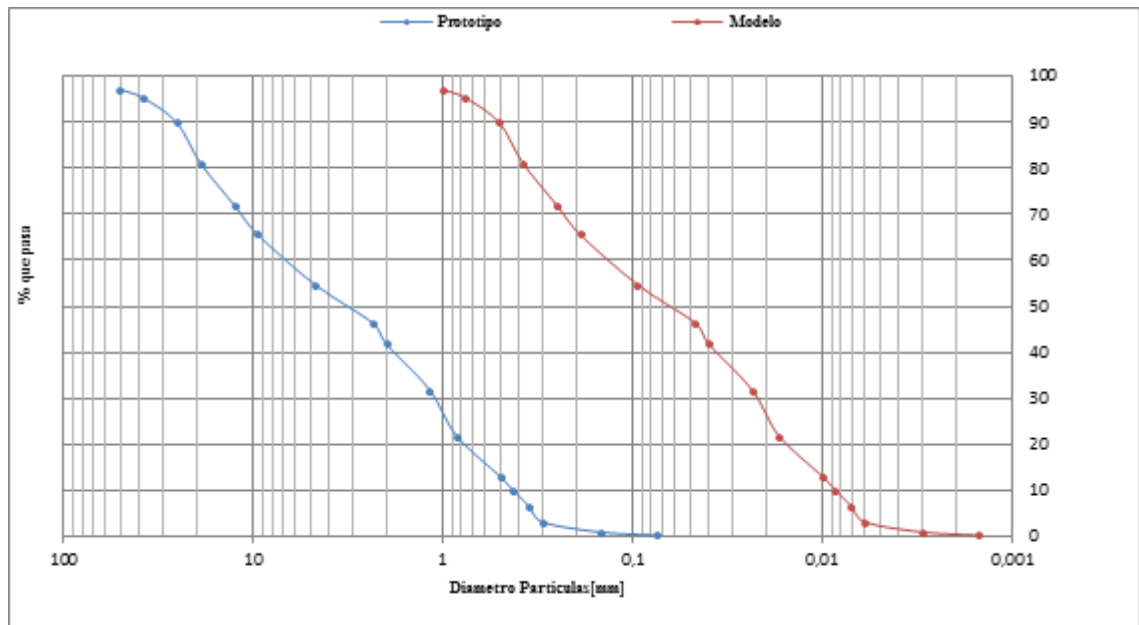
Tabla 4. Distribución granulométrica del prototipo y la escalada aplicando el parámetro del número de Froude (D_m), para el caso de transporte de material de fondo

% que pasa	D_p [mm]	D_m [mm]
97,15	50,8	1,016
89,92	25,4	0,508
71,74	12,5	0,25
54,74	4,75	0,095
41,85	2	0,04
21,81	0,85	0,017
10,06	0,43	0,0086
3,12	0,3	0,006
0,25	0,075	0,0015

Fuente: Autores de la práctica

Una vez escalado los diámetros del prototipo, se grafican las curvas granulométricas, ilustradas en la figura 3. A su vez de esta se obtiene el D_{50} para la curva granulométrica hallada por medio de la identidad del número de Froude, obteniendo un diámetro representativo de 0.065mm. Para este caso, se llegó al mismo escalamiento obtenido por la UN, por lo que no hay diferencia alguna, con los valores de diámetros calculados.

Figura 3. Curva granulométrica prototipo y la obtenida a partir de los diámetros escalados aplicando la identidad de Froude



Fuente: Autores de la práctica

5. SUPERVISIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DEL MODELO

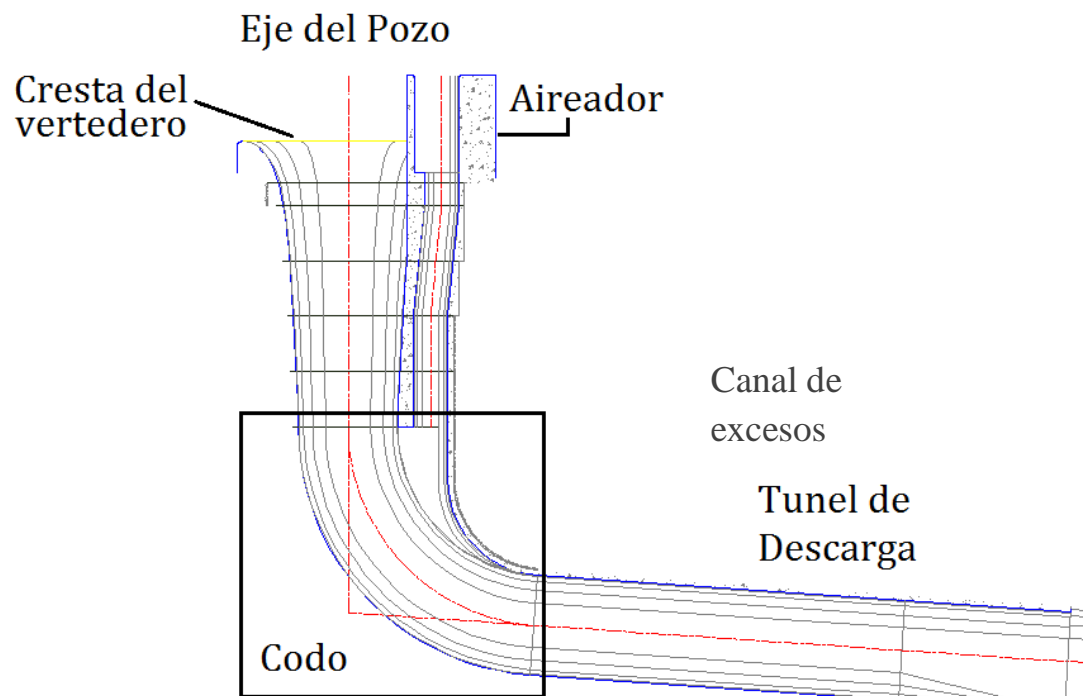
A continuación se describen las estructuras hidráulicas y la función que cumplen dentro del modelo. Es necesario precisar que se realizó la respectiva supervisión en campo de las variables anteriormente escaladas, con la finalidad de determinar si estos escalamientos se materializaron conforme a las dimensiones del prototipo. Cabe mencionar que algunas estructuras auxiliares fueron diseñadas para simular las condiciones apropiadas para la operación del modelo.

5.1 ESTRUCTURAS DEL MODELO

5.1.1 Vertedero de excedencias. Las excedencias de flujo se evacuarán con un vertedero Morning Glory (figura 4), este tipo de vertedero no posee compuertas, por lo tanto se hace necesario que tenga la capacidad de evacuar en su totalidad el tránsito de la crecida máxima probable (CPM) correspondiente a 85l/s para el modelo (prototipo 1500m³/s), el caudal es entregado a un canal y posteriormente al cuenco amortiguador. Esta estructura fue hecha en acrílico para observar los fenómenos hidráulicos que ocurran dentro del mismo.

La instalación del vertedero Morning Glory (figura 5) se realizó mediante topografía de precisión, dado que la posición y las distancias son importantes para la simulación hidráulica, donde la cresta debía estar completamente a nivel a su vez el eje central del vertedero debe coincidir con el eje del canal de excesos que entrega al cuenco amortiguador.

Figura 4. Esquema del vertedero Morning Glory



Fuente: Autores de la práctica

Al realizar el escalamiento del vertedero Morning Glory se verificó que cumple con los parámetros de escala geométrica (1:50); en la cresta tiene un diámetro de 40cm (prototipo 20m), la garganta 18cm (prototipo 9m), a su vez se evidenció que se encuentra nivelado ya que se ajusta a las cotas correspondientes.

Figura 5. Fotografía, Montaje del vertedero Morning Glory



Fuente: Autores de la práctica

5.1.2 Tanque del embalse. Reproduce en su interior la topografía del embalse y soporta las obras hidráulicas, como vertedero de excesos Morning Glory y sistema de captación (figura 6).

El tanque es un muro de contención perimetral en concreto reforzado, que confina el material empleado para conformar la geometría del embalse. En él se estudiarán procesos como la aproximación del flujo a las diferentes estructuras hidráulicas, el tránsito de crecientes y la acumulación de sedimentos.

Figura 6. Fotografía, Tanque del embalse construido inicialmente con capa superficial en arcilla



Fuente: Autores de la práctica

En relación con la revisión del escalamiento de este tanque, es necesario reconocer que es complejo reproducir exactamente la geometría natural del prototipo, debido a la escala geométrica establecida, sin embargo se tuvieron en cuenta los parámetros que son directamente incidentes en la mecánica del flujo y de los sedimentos, como son las pendientes del lecho (4% tramo de interés) y las secciones transversales.

De esta manera se evidenció inicialmente, que el material con el que fue recubierta la superficie de inundación, se trataba de un material no compacto, el cual presentó una serie de inconvenientes, como la falla en los taludes e infiltración del agua embalsada (figura 7), que al tratarse de un suelo erosionable (figura 8) induciría directamente en una producción acelerada de sedimentos.

Figura 7. Fotografía, Taludes fallados por la infiltración



Fuente: Autores de la práctica

En consecuencia, se recubrió el material arcilloso con un mortero impermeable, solucionando la infiltración y la producción inesperada del material sedimentado, al mismo tiempo, se inspecciono si las pendientes dentro del modelo se conservaban con respecto al prototipo, obteniendo una variación notoria a lo largo del eje del embalse, lo que produce una dinámica diferente en el patrón de sedimentos al del prototipo, por lo que fue necesario corregir la pendiente del eje del modelo (figura 9).

Figura 8. Fotografía, problemas de sedimentación inesperada por material suelto



Fuente: Autores de la práctica

Figura 9. Fotografía, tanque del embalse después de la puesta de mortero como superficie y corrección de pendientes



Fuente: Autores de la práctica

5.1.3 Sistema de captación. Posee una bocatoma con tres entradas a diferente nivel (figura 10), las cuales están diseñadas para captar un caudal de 0,181 l/s (prototipo $3,2\text{m}^3/\text{s}$)¹⁰, cuando el modelo se encuentra en su mínimo nivel. Con ayuda del equipo topográfico encargado por Conalvias S.A. empresa constructora del embalse, se verificó que la inclinación (48°) y las cotas en los diferentes niveles estuvieran acorde al escalamiento, comprobando que el dimensionamiento de la estructura es el adecuado. Es conveniente precisar, que las compuertas en el modelo funcionan manualmente, debido a que no es necesario simular los dispositivos mecánicos encargados para abrirlas.

Figura 10. Fotografía, sistema de captación



Fuente: Autores de la práctica

¹⁰ Gómez Giraldo A. Estudios y diseños del proyecto de regulación del río Tona Embalse de Bucaramanga, Memorando Técnico número 11, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia 2012.

5.1.4 Tanque del cuenco amortiguador. El tanque está construido en concreto, donde la topografía se reproduce en arcilla compactada y el fondo está conformando por una base móvil (grava), que permite evaluar la zona impactada por la descarga del vertedero. En esta estructura se revisaron las cotas de las terrazas, obteniendo resultados que no correspondían con los del diseño, este error podría no establecer con claridad si el chorro que proviene del canal de excedencias golpea directamente con estos niveles, por lo tanto fueron modificadas y ajustadas al requerimiento del prototipo (figura 11).

Figura 11. Fotografía, tanque del cuenco Amortiguador



Fuente: Autores de la práctica

5.2 OBRAS AUXILIARES

5.2.1 Sistema de bombeo. Con la finalidad de reutilizar el volumen de agua requerido para el modelo, se implementó un sistema de bombeo con una capacidad de 100 l/s. El sistema cuenta con una tubería de 10 pulgadas de diámetro (tramos rectos en PVC RDE 21 y los accesorios en hierro dúctil), con una válvula tipo mariposa, inmediatamente después de la bomba y una servo-válvula antes de la entrada al tanque de aquietamiento. Además cuenta, con una válvula de cheque que impide el retorno del flujo a la bomba, evitando posibles daños al sistema de bombeo. Se pudo evidenciar que el bombeo no posee un sistema de flotador eléctrico para garantizar la altura mínima de sumergencia, por lo que el sistema puede succionar aire, generando cavitación en la bomba y con el tiempo el daño de la misma.

Figura 12. Fotografía, cámara de bombeo



Fuente: Autores de la práctica

5.2.2 Servo válvula eléctrica. Este instrumento se utiliza para la regulación de los caudales que entran al modelo, con el objetivo de simular el tránsito hidráulico de las hidrógrafas de caudal y se localiza en la tubería de impulsión del modelo hidráulico justo antes del tanque de quietamiento. La servo-válvula (figura 13) actúa remotamente permitiendo la variación del caudal en el tiempo. Actualmente su operación es manual, debido a problemas con la tarjeta de salida. Se espera que a corto plazo sea adaptada para su mejor funcionamiento ya que la exactitud en operación manual de este instrumento no representa confiabilidad al momento de simular las hidrógrafas de caudal.

Figura 13. Fotografía, Servo válvula eléctrica



Fuente: Autores de la práctica

5.2.3 Tanque de quietamiento. Este tanque tiene el propósito de recibir el caudal bombeado y uniformizar el flujo para ser aforado, consta de un tanque de dos niveles separados por una losa de concreto y el nivel superior está separado

por una pantalla de grava de 10cm espesor donde se termina de homogenizar el flujo y al final es aforado por un vertedero de pared delgada.

En las pruebas realizadas al tanque se encontró que la pantalla de grava poseía un diámetro $D_{50}=1/2''$ que obstaculizaba el paso del flujo, lo que producía el rebose del tanque, por lo tanto se reemplazó la grava por una de mayor diámetro $D_{50}=1''$, evitando de esta forma el rebose generado. Además se evidencio una humedad en el suelo cerca al tanque, producto de una fuga en el tanque, afectando el caudal suministrado, la cual fue reparada posteriormente.

Figura 14. Fotografía, tanque de aquietamiento



Fuente: Autores de la práctica

5.2.4 Dosificador volumétrico. Para la adición de sedimentos al flujo, se instaló un dosificador volumétrico vertical con sistema de tornillo sin fin (Figura 15), el cual suministra los sedimentos a una tasa entre 0.3 y 1.5 ton/h. Tiene una precisión de ± 5 g/s. Este instrumento se localiza al costado derecho aguas arriba del tanque de mezclado y está ubicado sobre una estructura metálica, con capacidad de soportar este instrumento y una tolva de 3 m³, de tal manera que suministre sedimentos continuamente durante 8 horas. Al momento de su instalación se supervisó que el instrumento no fuera averiado, ni se presentaran dificultades en la descarga debido a su peso. El instrumento en la actualidad se encuentra en óptimas condiciones para su uso.

Figura 15. Fotografía, dosificador de sedimentos



Fuente: Autores de la práctica

5.2.5 Banda transportadora para granos y polvos. Para llenar el tanque mezclador de sedimentos, se dispone de una banda transportadora inclinada de 3.5 metros de largo (Figura 16), compuesta de un motor y unos rodillos que permiten su movimiento cíclico. Se verificó que funcionara adecuadamente y que las partículas se ubicarán dentro del tanque después de abandonar la banda.

Figura 16. Fotografía, banda transportadora



Fuente: Autores de la práctica

5.2.6 Tanque de mezcla. En este tanque se realiza la incorporación de los sedimentos y mediante el agitador mecánico se logra un correcto mezclado con el flujo. Tiene forma circular para evitar la presencia de puntos muertos y facilitar que el mezclado de agua y sedimentos sea homogéneo. Las pruebas realizadas a este tanque dieron como resultado respuestas positivas, puesto que no se dieron reboses ni salidas inesperadas del flujo.

Figura 17. Fotografía, del tanque Mezclador



Fuente: Autores de la práctica

5.2.7 Mezclador vertical de aspas. Con el fin de obtener un correcto mezclado de los sedimentos, se dispone de un Agitador mecánico (Figura 18), que mueve un volumen de 0.8 m^3 (volumen del tanque de mezclado), garantizando de esta forma una concentración del 0.3 %, sin generar perturbaciones del flujo que provoquen reboses del tanque. Este mecanismo será instalado en la parte superior del tanque de mezclado. El instrumento fue suministrado pero en la actualidad no se encuentra instalado.

Figura 18. Fotografía, mezclador de aspas



Fuente: Autores de la práctica

5.2.8 Vertederos de pared delgada. El modelo hidráulico tiene tres vertederos de pared delgada para aforar los caudales a la entrada y salida del modelo, uno triangular en la salida de la aducción y dos rectangulares, el primero en la entrada al modelo que sirve para el control del caudal por si el caudalímetro digital falla, o se desajusta y el segundo se encuentra en la salida del cuenco amortiguador, midiendo el caudal evacuado por el Morning Glory (figura 19).

Figura 19. Fotografía vertedero de pared delgada, ubicado a la salida del cuenco amortiguador



Fuente: Autores de la práctica

La calibración de los vertederos, se realizó con la ecuación 11¹¹, en función de la altura de la lámina de agua “H”, y de las constantes de calibración “C” y “n”. Las ecuaciones para el cálculo del caudal son:

$$Q = CH^n \quad (11)$$

Ecuación de calibración vertedero rectangular entrada:

¹¹ calibración de vertedero de pared delgada, <http://books.google.com.co/books?id=U3iAAAAMAAJ&pg=RA1-PA190&lpg=RA1-PA190&dq=4+BARR,+James.+Flow+of+Water+over+Triangular+Notches.+Engineering,+Abril+8+y+15,+1910.&source=bl&ots=Q0kqe2IRbv&sig=1N-nTGouREvyB2FcKN3IWhAMswg&hl=es&sa=X&ei=2-DtUaX-BY7G9gTDmoDQCw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=4%20BARR%2C%20James.%20Flow%20of%20Water%20over%20Triangular%20Notches.%20Engineering%2C%20Abril%208%20y%2015%2C%201910.&f=false> [citado el 22 de Julio de 2013].

$$Q = 0,864 * H^{1,3472} \quad (12)$$

Ecuación de calibración vertedero rectangular salida (Cuenco Amortiguador):

$$Q = 0,9905H^{1,2926} \quad (13)$$

Ecuación de calibración vertedero Triangular procedente de la captación:

$$Q = 0,1937H^{2,1553} \quad (14)$$

6. SUPERVISION DE LA INSTRUMENTACIÓN

Durante la instalación de los equipos de medición se presentaron inconvenientes de calibración. Cabe mencionar que la mayoría de equipos fueron instalados por personal de CONALVIAS y no de la empresa que los suministró, lo que produjo complicaciones en la verificación de su funcionalidad. A continuación se describen los equipos de medición y las observaciones encontradas en la supervisión realizada para la puesta en marcha de los equipos.

6.1 CAUDALÍMETRO

Para registrar la cantidad de flujo que entra al modelo, se instaló un caudalímetro de ultrasonido, (Figura 20) que se encuentra ubicado en la tubería de impulsión, con un rango de lectura entre 0 y 100 l/s. El equipo se encontró en buenas condiciones y en un óptimo funcionamiento.

Figura 20. Fotografía, caudalímetro de ultrasonido



Fuente: Autores de la práctica

6.2 RIVERSURVEYOR M9

El RiverSurveyor de SonTek (Figura 21), es un sistema Perfilador Doppler Acústico (ADP), de alta precisión, específicamente diseñado para medir el caudal de los ríos, las corrientes de agua en 3-Dimensiones, calados y la batimetría de una embarcación en movimiento o detenida.

Utilizado principalmente en este modelo, para determinar la altura de la capa de sedimentos acumulada en las pruebas con caudales sólidos y determinar el patrón de sedimentación. Es un equipo móvil, ya que su funcionamiento se da a lo largo del tanque del embalse del modelo. Junto con el proveedor, se verificó el correcto funcionamiento del equipo.

Figura 21. Fotografía, del Riversurveyor M9



Fuente: Autores de la práctica

6.3 TABLERO DE PIEZÓMETROS

Para conocer la magnitud de la presión piezométrica resultante sobre el vertedero de excesos Morning Glory y del canal de excesos, se ha dispuesto de un tablero (figura 22) que registra la variación de presiones a lo largo de la trayectoria de las estructuras. El tablero de piezómetros fue instalado sobre un muro en concreto, el cual permitió anclar una placa de madera de 1,6m de ancho por 2,4m de altura, cubierta con papel milimétrico, que permite obtener lecturas con precisión. Posteriormente los tubos plásticos se llenaron con agua indicando las alturas iniciales o presiones estáticas.

Figura 22. Fotografía, tablero de presiones



Fuente: Autores de la práctica

6.4 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Para medir las fluctuaciones de presión, se dispone de un sensor de presión tipo transductor (Figura 23), que se encuentra conectado secuencialmente a las tomas

piezométricas, su uso es muy sencillo sólo se coloca sobre el piezómetro de interés y se procede a realizar las lecturas. Este instrumento no se adecua a las presiones presentes en el modelo, puesto que mide presiones en un rango por fuera de los valores utilizados en el modelo. Por lo tanto se propone su cambio a otro que se ajuste a la magnitud de las presiones piezométricas presentes en el modelo.

Figura 23. Fotografía, transductor de presión



Fuente: Autores de la práctica

6.5 LIMNÍMETRO AGUJA SIMPLE

Para medir el nivel del agua en los vertederos de pared delgada, vertedero Morning Glory, tanque embalse y canal de exceso, se cuenta con un Limnómetro de aguja simple. Se coloca sobre la estructura de soporte que permite medir láminas de agua con una precisión de hasta 0.5mm.

Figura 24. Fotografía, limnómetro



Fuente: Autores de la práctica

6.6 SENSOR DE NIVEL

Este dispositivo electrónico determina la altura de la lámina de agua en el vertedero del quietamiento ubicado antes del ingreso del flujo al modelo, con el fin de calcular el caudal y compararlo con el valor arrojado por el caudalímetro. Después de su instalación por parte del personal de CONALVIAS, se observó que el sensor de nivel no se encontraba ajustado puesto que éste arrojaba datos de

alturas entre 5 y 6 metros, lo cual son valores erróneos debido a que el canal aforador tiene una altura de 1,15 metros. ISATECK La empresa que suministro el producto rectifico esta medida y actualmente el sensor se encuentra ajustado.

Figura 25. Fotografía, sensor de nivel



Fuente: Autores de la práctica

6.7 ANEMÓMETRO DE HILO CALIENTE

Para medir la velocidad del aire en la entrada del túnel de aireación del vertedero Morning Glory, se dispone de un anemómetro de hilo caliente. Debido a la

posición del instrumento (encima de la pila de aireación), se diseñó una estructura metálica para que el instrumento no hiciera contacto con el agua.

Figura 26. Fotografía, anemómetro de hilo caliente

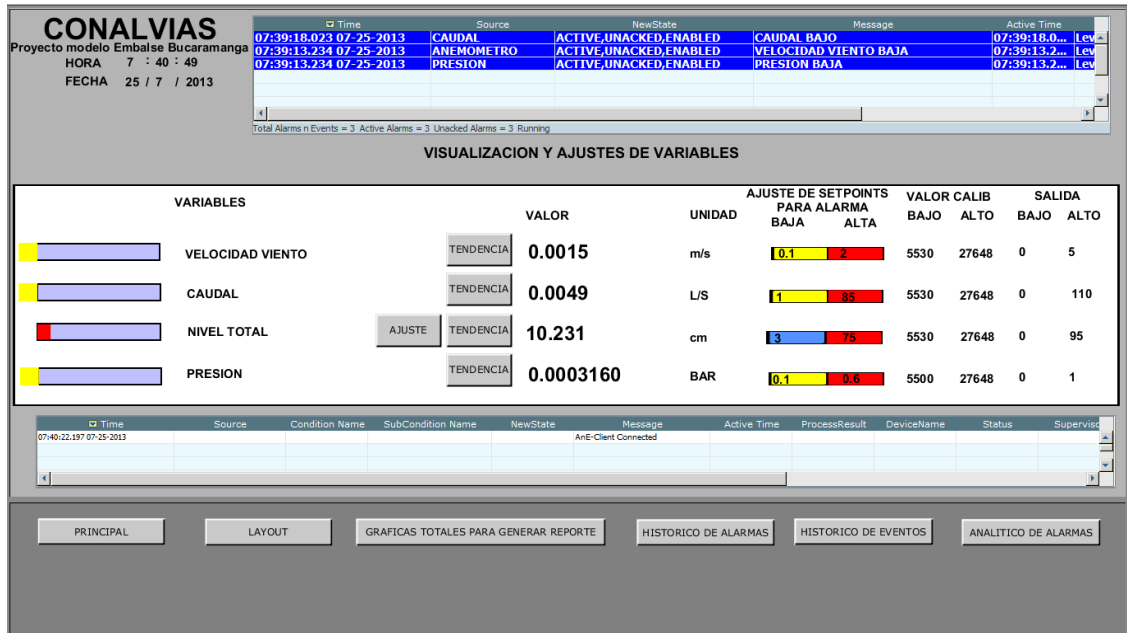


Fuente: Autores de la práctica

6.8 CAPTURA DE DATOS Y ALMACENAMIENTO

Para la captura de mediciones, se disponen de dos computadores que están conectados a los instrumentos, permitiendo la visualización y almacenamiento de datos actuales (en tiempo real) e históricos, por medio de un software HMI (interfaz gráfica de usuario). Su configuración permite establecer unos rangos límites (bajos y altos) indicando valores extraordinarios y alertando a este tipo de situaciones, además es posible llevar el control de todos los instrumentos en una sola visualización, registrando las tendencias de los mismo.

Figura 27. Imagen del HMI (interfaz de usuario). Entrega Información detallada de la instrumentación en tiempo real



Fuente: Autores de la práctica

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los parámetros de similitud del número de Froude, para los escalamientos de las variables hidráulicas del embalse de Bucaramanga, se hallaron las relaciones de escala (tabla 1) y se demostró que los parámetros de escala calculados por la UN se encuentran ajustados correctamente.

Se logró determinar, que por medio del método de la velocidad de caída de Dietrich, los diámetros de las partículas son 7.6 veces más grandes comparados con los diámetros de las partículas hallados por medio de la escala geométrica empleada por la UN, lo que indica una velocidad de sedimentación mayor para la carga en suspensión, por lo tanto, el patrón de sedimentación, estaría por debajo del que se pueda presentar en el prototipo.

De acuerdo con los resultados obtenidos para el escalonamiento de la sedimentología en la carga en suspensión, se han obtenido diámetros imperceptibles, que son complejos de materializar en el modelo hidráulico, por otra parte, este tipo de partículas tienden a unirse debido a su cohesión, afectando las pruebas para determinar el patrón de sedimentación en el modelo hidráulico.

En la supervisión de los instrumentos dispuestos para la medición de los diferentes parámetros del modelo, encontramos que están en buen estado y se ajustan para la recolección de datos, excepto el transductor de presiones, ya que las mediciones para el modelo, están fuera del rango del equipo adquirido.

Por medio de la modelación hidráulica, es posible visualizar fenómenos y efectos, que se pueden generar en el prototipo, permitiendo de esta manera, que los modelos sean una herramienta de ayuda, para optimizar costos en el prototipo y a su vez, evaluar el comportamiento de las estructuras hidráulicas en el mismo, disminuyendo la posibilidad de fallas en durante la operación.

Se recomienda continuar con el proceso de intercambio de conocimiento, para la fase operativa del modelo hidráulico del embalse de Bucaramanga.

BIBLIOGRAFIA

Capitulo 2, Modelación Hidráulica.
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf
[citado el 22 de Mayo de 2013].

calibración de vertedero de pared delgada, <http://books.google.com.co/books?id=U3iAAAAMAAJ&pg=RA1-PA190&lpg=RA1-PA190&dq=4+BARR,+James.+Flow+of+Water+over+Triangular+Notches.+Engineering,+Abril+8+y+15,+1910.&source=bl&ots=Q0kqe2IRbv&sig=1N-nTGouREvyB2FcKN3IWhAMswg&hl=es&sa=X&ei=2-DtUaX-BY7G9gTDmoDQCw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=4%20BARR%2C%20James.%20Flow%20of%20Water%20over%20Triangular%20Notches.%20Engineering%2C%20Abril%208%20y%2015%2C%201910.&f=false> [citado el 22 de Julio de 2013].

Estudio del Efecto de la Forma y el Tamaño de las Partículas Sobre la Velocidad de Sedimentación Gravitacional de Suspensión.
<http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/46/1/Efecto%20de%20forma%20y%20tamano%20en%20sedimentacion.pdf> [citado el 7 de Julio de 2013].

F. M. White, Mecánica de Fluidos, Sexta Edición, McGraw-Hill, México, 2008, Análisis dimensional y semejanza, Flujo en canales abiertos. p 287 a 327 y 693 a 731.

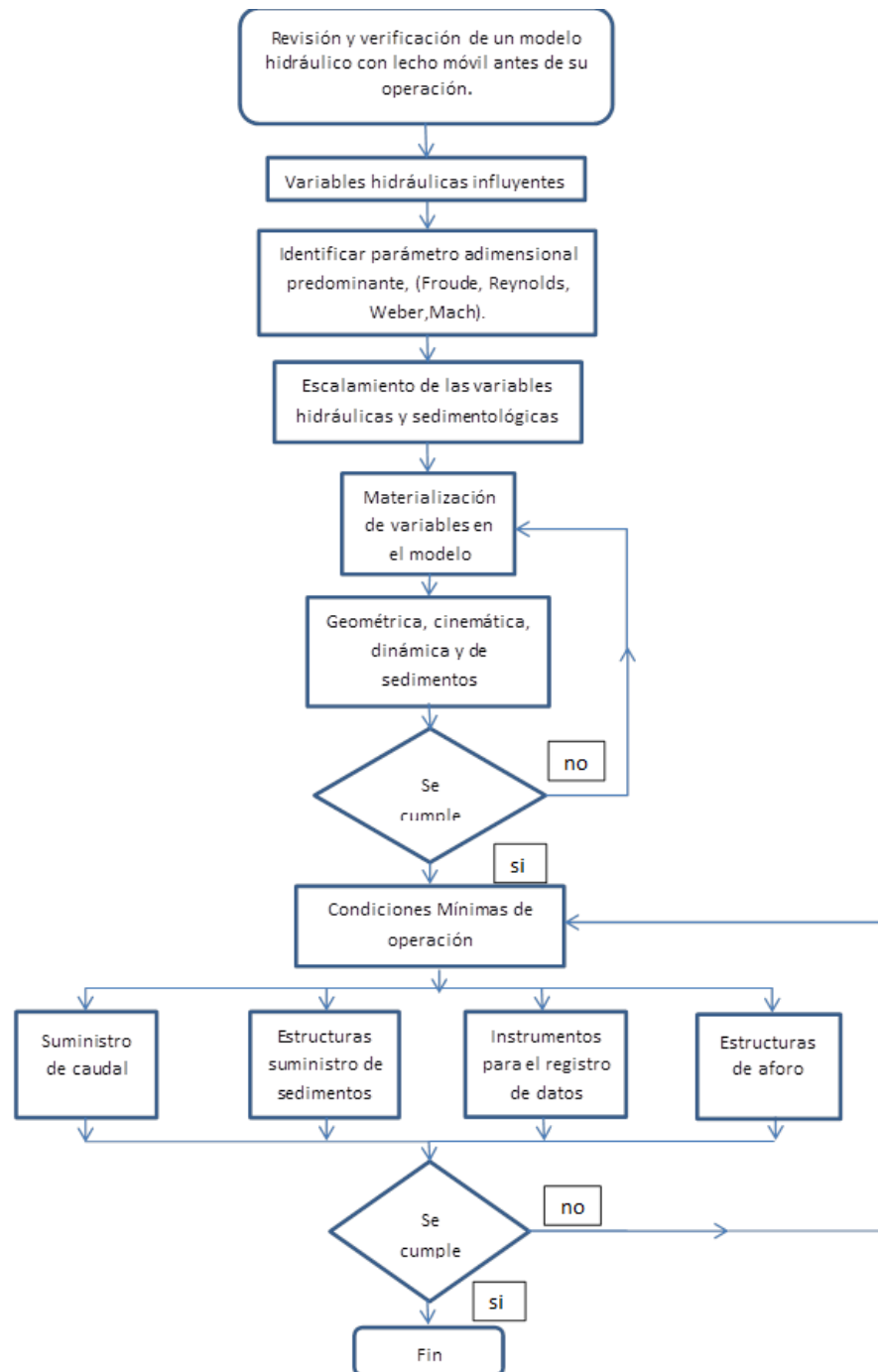
Gómez Giraldo A. Estudios y diseños del proyecto de regulación del río Tona Embalse de Bucaramanga, Memorando Técnico número 11, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia 2012.

Y. A. Çengel, J. M. Cimbala, Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones, Primera Edición. McGraw-Hill, México D.F. 2006, Análisis dimensional y modelado, p 269 a 305.




12. Dietrich, W. E., 1982, Settling velocity of natural particles: Water Resources Research, v. 18, no. 6, p. 1615-1626. http://eps.berkeley.edu/development/view_person.php?uid=1164&page=81 [citado el 14 de Junio de 2013].

ANEXOS

ANEXO A. METODOLOGÍA A SEGUIR PARA REVISAR UN MODELO HIDRAULICO CON FONDO MOVIL ANTES DE SU PUESTA EN FUNCIONAMIENTO







ANEXO B. FORMATO PARA LA TOMA DE VELOCIDADES EN EL CANAL DE EXCESOS DEL MODELO FÍSICO EMBALSE BUCARAMANGA

		Formato para la toma de velocidades en el canal de excesos del modelo físico embalse Bucaramanga						
Nomenclatura: _____		Fotos #: _____		HORA	DD	MES	AÑO	
Caudal (l/s): _____		Video: _____						
Descripción corrida:								
Q (l/s)				velocidad promedio				
Q (m/s)				velocidad prototipo				
b (m)								
Velocidad del flujo								
Medida No.	abscisa	ΔH perfil (cm)	ΔH_d (cm)	ΔH_i (cm)	H prom (cm)	velocidad (m/s)		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								

NOMENCLATURA	
Q	<i>Caudal</i>
b	<i>Ancho del canal</i>
ΔH perfil	<i>Altura lamina de agua canal</i>
ΔH_d	<i>Altura lamina de agua lado derecho</i>
ΔH_i	<i>Altura lamina de agua lado izquierdo</i>
H prom	<i>Altura promedio</i>

ANEXO D. FORMATO PARA LA TOMA DE PRESIONES EN EL VERTEDERO MORNING GLORY Y CANAL DE EXCESOS DEL MODELO FÍSICO EMBALSE BUCARAMANGA

	Formato para la toma de presiones en el vertedero Morning Glory y canal de excesos del modelo físico embalse Bucaramanga							
Nomenclatura:		Fotos #:		Hora	DD	MM	AA	
Caudal (l/s):		Video:						
<p>A cada línea de orificios piezométricos se le asignó una letra que es acompañada de una o dos letras más, dependiendo de la ubicación del orificio en la estructura.</p> <p>Ejemplo para la letra X:</p> <p>X Cuando está sola la letra se refiere al piezómetro ubicado en el fondo de la estructura.</p> <p>XD Piezómetro ubicado en la zona derecha de la estructura (mirando desde el vertedero hacia la presa).</p> <p>XID Piezómetro ubicado en la zona intermedia derecha de la estructura (mirando desde el vertedero hacia la presa) -Solo para puntos antes del codo.</p> <p>XII Piezómetro ubicado en la zona intermedia izquierda de la estructura (mirando desde el vertedero hacia la presa) -Solo para puntos del codo antes del codo.</p> <p>XI Piezómetro ubicado en la zona izquierda de la estructura (mirando desde el vertedero hacia la presa)</p>								
PRESIONES								
Piezómetro No	ΔH [cm]	Presión[Pa]	Piezómetro No	ΔH [cm]	Presión[Pa]	Piezómetro No	ΔH [cm]	Presión[Pa]
A			AD			JD		
B			AI			JID		
C			BD			JII		
D			BI			JI		
E			CD			KC		
F			CI			LC		
G			DD			MC		
H			DI			NC		
I			ED			OC		
J			EI			PC		
K			FD			QC		
L			FI			RC		
M			GD			SC		
N			GI			KS		
O			HD			LS		
P			HID			MS		
Q			HII			NS		
R			HI			OS		
S			ID			PS		
T			IID			QS		
U			III			RS		
V			II					
OBSERVACIONES:								

