ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESTUDIO EN MODELO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DEL TRASVASE DEL RIO DAULE AL RIO VINCES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANGEL ABEL OJEDA GARCÍA

angelojedagarcia@hotmail.com

JUAN ESTEBAN TAPIA CAIZA

juan_esteban66@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CIRO GALO MENÉNDEZ ALCÁZAR

ciro.menendez@epn.edu.ec

Quito, junio 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Angel Abel Ojeda García, Juan Esteban Tapia Caiza, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

ANGEL ABEL OJEDA GARCÍA	**JUAN ESTEBAN TAPIA CAIZA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Angel Abel Ojeda Garcia y Juan Esteban Tapia Caiza, bajo mi supervisión.

ING. CIRO MENÉNDEZ

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a todas las personas que forman parte de la Facultad de Ing. Civil de la Escuela Politécnica Nacional, a todos los ingenieros que contribuyeron en este periodo de formación profesional, especialmente a los que forman parte de nuestro tribunal de defensa el Ing. Ciro Menéndez, el Ing. Héctor Fuel y el Dr. Marco Castro, un agradecimiento especial a mi compañero de tesis Juan Esteban Tapia, a nuestro amigo el Ing. Roberto Carlos Silva, con los que se formo un gran grupo de trabajo para el desarrollo de este proyecto.

Angel Abel Ojeda García

AGRADECIMIENTOS

A punto de alcanzar uno de los objetivos de mi vida agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente fueron parte de dicho logro. A mis padres que son base fundamental en mi vida y mis hermanos por el apoyo y cariño incondicional. A todos los Ingenieros de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, los cuales me brindaron sus conocimientos. A mis amigos y compañeros por su lealtad y compañía. A Dianita por su apoyo y amor en cada momento.

Un agradecimiento muy especial a mis directores de tesis, el Ingeniero Ciro Menéndez, el Ingeniero Héctor Fuel y el Dr. Marco Castro. De igual manera a mi amigo Ángel Ojeda y Roberto Silva con quienes se formo un excelente grupo de trabajo y amistad.

Juan Esteban Tapia Caiza

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres que con su esfuerzo del día a día contribuyeron para que yo pueda culminar con esta etapa de mi vida, a mi hijo Gabriel Sebastián que se ha convertido en la persona por la que tengo que luchar y dar todo de mi para ser su mejor ejemplo, a mis hermanas Jenny y Cristina, a todos los amigos y compañeros con los que se compartió experiencias a los largo de este periodo en la facultad.

Angel Abel Ojeda García

DEDICATORIA

En primera instancia dedico este trabajo a mis padres quienes han sido pilares de mi vida y formación como persona, lograron sacar adelante una familia y velar para que nunca me falte nada. A mis hermanos Rodrigo y Daniel quienes me quieren, me apoyan y me brindan su mano a cada momento.

Juan Esteban Tapia Caiza

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es el estudio en modelo hidráulico del TRASVASE DEL RIO DAULE AL RIO VINCES, mediante las construcción de un modelo hidráulico a escala reducido 1:60 , en el laboratorio del CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN RECURSOS HÍDRICOS (CIERHI), de la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL (EPN).

En el capítulo 1, se detallan aspectos generales del proyecto real, como está constituido y su funcionamiento, en el capítulo 2, se presentan las características del flujo en canales a superficie libre, además las ecuaciones de similitud de Froude que son las que utilizaremos para transformar los valores medidos en el modelo y sus equivalentes en prototipo y dar una correcta interpretación a estos.

La construcción del modelo se presenta en el capítulo 3, en este se detalla el proceso constructivo del mismo, los materiales seleccionados en especial con el que se va a modelar el cauce del canal rectificado del trasvase, ya que de este depende el correcto funcionamiento del modelo, en el capítulo 4 calibración del modelo, se verificara si la rugosidad del modelo es la equivalente a la rugosidad de prototipo.

Una vez realizadas las pruebas de calibración, en el capítulo 5, se realizaran las pruebas con diseño original, para diferentes periodos de retorno establecidas por la consultora ACT y la EPN, mencionando que este se diseñó con un periodo de retorno de 100 años (Q=1612 m^3/seg), luego de realizadas estas pruebas se determinó que este no tiene un correcto funcionamiento en la zona de la estructura de regulación, con problemas de altas velocidades a la salida del cuenco disipador.

Luego de realizadas las pruebas con diseño original, y observados los problemas mencionados en el párrafo anterior, en el capítulo 6 análisis de variantes, se presentan diferentes propuestas para mejorar el funcionamiento del cuenco disipador, de aquí la importancia de este capítulo, ya que en este se analizó la variante que será el punto de partida para el diseño final, capítulo 7.

Para finalizar en el capítulo 8, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto para las diferentes etapas del estudio.

ABSTRACT

The object of the present proyect is the study in hydraulic model of the WATER TRANSFER OF DAULE RIVER TO VINCES RIVER, by the construction of a small-scale hydraulic model 1:60, in the laboratory of the CIERHI of the National Polytechnic School (EPN)

In the first chapter, we will find the general aspect details of the real Project, how is it constituted and its operation, in the second chapter, it will be presented the qualities of the flow in a free surface channel, also the similitude equations of Froude, that will be used to transform the measured scores in the model, it equivalences in the prototype and give a correct interpretation of them.

The construction of the model will be presented in the third chapter, the constructive process will be detailed, the selected materials especially the one that will model the course of the corrected drain of the transfer, because from this material depends the correct functioning of the model, in the chapter four, the calibration of the model will be detailed, it will be verify if the model´s pitted is equivalent to the pitted of the prototype.

Once the calibration test are made, in the chapter five, we will make the tests with the original design, for flows with different periods of return established by the consultant ACT and the EPN, mentioning that this design was made with a period of returning of 100 years (Q=1612 m^3/seg), after the tests are made it is determined that this doesn't have a correct operation in the regulation structure zone, with problems of high speeds at the exit of dissipater.

After the tests made with the original design and observed the problems mentioned in the above paragraph, in chapter 6 the variants will be analyzed, and different proposals are presented to improve the functioning of the dissipator, hence the importance of this chapter, because from this chapter the variant was analyzed to be the starting point for the final design, chapter 7.

PRESENTACIÓN

Existen muchos mecanismos que nos permiten solucionar problemas, que resultarían complejos si se los hace mediante métodos matemáticos, en este caso la aplicación de la teoría de los modelos hidráulicos a escala reducida, aplicando las ecuaciones de similitud de Froude, permite prever problemas a priori que se pueden presentar en una estructura en la realidad o prototipo, y dar soluciones que permitan su correcto funcionamiento a futuro.

La construcción de un modelo hidráulico a escala reducido requiere de un trabajo de ingeniería exacto, ya que las dimensiones con las que se trabaja son pequeñas a las comparadas a prototipo.

La correcta interpretación de los resultados obtenidos en la investigación es la tarea del ingeniero. Es el ingeniero quien finalmente debe resolver los problemas con la ayuda del modelo hidráulico estudiado.

CONTENIDO

CAPITULO 1 1

ANTECEDENTES 1

1.1 INTRODUCCIÓN 1

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO TRASVASE DAULE-VINCES 1

1.2.1 COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE DERIVACIÓN 3

1.3 8

1.4 OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN DE LA MODELACIÓN FÍSICA 8

1.4.1 OBJETIVO GENERAL 8

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8

1.4.3 ALCANCE 9

1.4.4 JUSTIFICACIÓN 9

CAPITULO 2 11

GENERALIDADES SOBRE LA MODELACIÓN FÍSICA CON FLUJO LIBRE 11

2.1 INTRODUCCIÓN 11

2.2 GENERALIDADES HIDRÁULICAS DE LOS CANALES ABIERTOS 11

2.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES 11

2.2.2 ECUACIONES FUNDAMENTALES EN EL FLUJO DE CANALES ABIERTOS 11

2.2.3 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN DE UN CANAL 19

2.2.4 CONDICIONES DE CONTROL PARA EL FLUJO EN CANALES 20

2.3 MODELOS DE CANALES A FONDO FIJO 21

2.3.1 OBJETIVOS DE LA MODELACIÓN FÍSICA 21

2.3.2 MODELOS HIDRÁULICOS A SUPERFICIE LIBRE 21

2.4 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE MODELOS DE CANALES 22

2.5 SIMILITUD DINÁMICA RESTRINGIDA Y CRITERIO DE SIMILITUD DE FROUDE 23

2.5.1 LEYES DE MODELACIÓN SEGÚN FROUDE 23

2.6 FACTORES DE SIMILITUD 25
2.6.1 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE LONGITUD: 25
2.6.2 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE VELOCIDAD: 25
2.6.3 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE CAUDAL: 25
2.6.4 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE RUGOSIDAD: 26
2.7 CONDICIONES DE SIMILITUD 26
2.7.1 SIMILITUD GEOMÉTRICA 26
2.7.2 SIMILITUD CINEMÁTICA Y DINÁMICA 27
2.8 LIMITACIONES DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA 28
2.8.1 RESTRICCIÓN EXTERNA 28
2.8.2 EFECTOS DE REYNOLDS 28
2.8.3 OTROS CONSIDERACIONES 28

CAPITULO 3 30

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO 30

3.1 SELECCIÓN DE LA ESCALA GEOMÉTRICA DEL MODELO 30
3.1.1 ANÁLISIS DE LAS ESCALAS 31
3.2 RUGOSIDAD 31
3.3 CONSTRUCCIÓN 32
3.3.1 REPLANTEO Y TRAZADO. 32
3.3.2 MAMPOSTERÍA DE SOPORTE 32
3.3.3 PLATAFORMA DE MADERA. 33
3.3.4 MAMPOSTERÍA DEL CANAL E IMPERMEABILIZACIÓN. 33
3.3.5 ELABORACIÓN DEL CANAL Y TOPOGRAFÍA DE ENTRADA Y SALIDA. 34
3.3.6 ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE ESTRUCTURAS DE REGULACIÓN 36
3.3.7 ESTRUCTURAS DE ALIMENTACIÓN 38
3.3.8 ESTRUCTURAS DE CONTROL DE SALIDA DE CAUDALES 40
3.4 CONCLUSIONES 41

CAPITULO 4 43

CALIBRACIÓN 43

4.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO 43

4.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN 44
4.3 MODELACIÓN NUMÉRICA 44
4.3.1 CAUDAL 737 m^3/s 45
4.3.2 CAUDAL 1143 m^3/s 46
4.3.3 CAUDAL 1612 m^3/s 47
4.4 INSTRUMENTACIÓN 47
4.4.1 VERTEDEROS DE MEDICIÓN 47
4.4.2 LIMNÍMETROS 51
4.4.3 MICRO MOLINETE 51
4.4.4 TRAZADORES 53
4.5 CONDICIONES DE ENTRADA 53
4.6 PRUEBAS ETAPA DE CALIBRACIÓN 55
4.7 HIDRÁULICA DEL CANAL 55
4.8 EJEMPLO DE CÁLCULO 56
4.8.1 ECUACIONES UTILIZADAS 56
4.8.2 PROCESO DE MEDICIÓN 58
4.9 PATRONES DE FLUJO OBSERVADOS 68
4.10 CONSERVACIÓN DE MASA 69
4.11 CONCLUSIONES 70

CAPITULO 5 72

ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS CON DISEÑO PROPUESTO 72

5.1 CONDICIÓN DE BORDE 72
5.2 CAUDALES SELECCIONADOS 73
5.3 PROCESO DE MEDICIÓN 74
5.4 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 76
5.4.1 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADAS 76
5.4.2 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG cOMPLETAMENTE ABIERTAS 89
5.5 EJEMPLO DE CÁLCULO 93
5.5.1 ECUACIONES UTILIZADAS 93
5.6 PROCESO DE MEDICIÓN 95
5.7 CONCLUSIONES 112
5.8 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADAS 112

5.9 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS 114
5.10 RECOMENDACIONES 117

CAPITULO 6 119

ANALISIS DE VARIANTES 119

6.1 MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES AL INGRESO DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN 119
6.1.1 VARIANTE 1: MURO DE ACERCAMIENTO AL VERTEDERO DE REGULACIÓN 119
6.1.2 VARIANTE 2: PARAMENTO DE PILAS 121
6.2 MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES A LA SALIDA DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN 124
6.2.1 VARIANTE 3: PROLONGACIÓN DEL CUENCO DISIPADOR CON UMBRAL DE FONDO 124
6.2.2 VARIANTE 4: UMBRALES DE FONDO ESCALONADOS 125
6.2.3 VARIANTE 5: ENSANCHAMIENTO A LA SALIDA DEL CUENCO DISIPADOR 126
6.3 CONCLUSIONES 128

CAPITULO 7 130

ANÁLISIS DE PRUEBAS CON DISEÑO FINAL 130

7.1 INTRODUCCIÓN 130
7.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO FINAL 130
7.3 CAUDALES SELECCIONADOS Y PROCESO DE MEDICIÓN 134
7.4 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADOS 136
7.4.1 CAUDAL (Q_2*)=224 m^3/seg. 138
7.4.2 CAUDAL (Q_3*)=344 m^3/seg. 144
7.4.3 CAUDAL (Q_1)=350 m^3/seg. 149
7.4.4 FUNCIONAMIENTO DE LA BOCATOMA 154
7.5 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS Y COMPUERTAS RADIALES CERRADAS 155
7.5.1 CAUDAL 1612 m^3/seg. (PFSL N # 04) 156
7.6 EJEMPLO DE CÁLCULO 159

7.6.1 ECUACIONES UTILIZADAS 159
7.6.2 CAUDAL 1220 m^3/seg. (PFSL N # 03) 169
7.6.3 CAUDAL 1143 m^3/seg. (PFSL N # 02) 171
7.6.4 CAUDAL 977 m^3/seg. (PFSL N # 01) 172
7.7 CONCLUSIONES 175
7.7.1 CON STOP LOGS CERRADOS Y NIVEL DEL EMBALSE 16 m.s.n.m.. 175
7.7.2 BOCATOMA 177
7.7.3 SIN STOP LOG Y COMPUERTAS RADIALES COMPLETAMENTE CERRADAS. 177
7.8 RECOMENDACIONES 180
CAPITULO 8 182
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 182
8.1 CONSTRUCCIÓN DE MODELO 182
8.2 CALIBRACIÓN DE MODELO 182
8.3 DISEÑO ORIGINAL 183
8.3.1 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADAS 183
8.3.2 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS 184
8.4 ANÁLISIS DE VARIANTES 184
8.5 DISEÑO FINAL 185
8.5.1 CON STOP LOG CERRADOS Y NIVEL DEL EMBALSE 16 m.s.n.m. 185
8.5.2 BOCATOMA 186
8.5.3 SIN STOP LOG Y COMPUERTAS RADIALES COMPLETAMENTE CERRADAS. 186
8.6 RECOMENDACIONEs 187
CAPITULO 9 189
BIBLIOGRAFÍA 189
ANEXOS 191
ANEXOS 1 192

PLANOS..... 192

ANEXO 2..... 193

DIGITAL 193

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 RECTIFICACIÓN (1), ESTRUCTURA DE REGULACIÓN DE CAUDALES (3), OBRA DE TOMA (2) 4

FIGURA 1.2 VISTA EN PLANTA DE ESTRUCTURAS DE REGULACION (STOP-LOG Y VERTEDEROS) 6

FIGURA 1.3 CORTE LONGITUDINAL VERTEDERO DE REGULACIÓN Y CUENCO DISIPADOR 7

FIGURA 1.4 COMPUERTAS RADIALES 7

FIGURA 2.1 ESQUEMA DE PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE MASA 12

FIGURA 2.2 ESQUEMA DE FLUJO EN UN CANAL 13

FIGURA 2.3 ESQUEMA DE FLUJO PARA LA ECUACIÓN DE ENERGÍA 16

FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES NO UNIFORME PARA DIFERENTES SECCIONES DE CANAL 20

FIGURA 2.5 PERFIL DEL FLUJO A SUPERFICIE LIBRE 22

FIGURA 2.6 SECCIÓN FIJA 22

FIGURA 2.7 REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LAS ESTRUCTURA EN MODELO(A), Y PROTOTIPO (B). 27

FIGURA 3.1 DIMENSIONES VERTEDERO RECTANGULAR DE ALIMENTACIÓN. 38

FIGURA 3.2 DIMENSIONES VERTEDERO TRIANGULAR DE SALIDA. 41

FIGURA 4.1 CALCULO DE VARIABLES CAUDAL 737 m^3/seg (H-CANALES) 45

FIGURA 4.2 CALCULO DE VARIABLES CAUDAL 1143 m^3/seg (H-CANALES) 46

FIGURA 4.3 CALCULO DE VARIABLES Q=1612 m^3/s (H-CANALES) 47

FIGURA 4.4 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO RECTANGULAR PARA EL INGRESO DE CAUDAL 48

FIGURA 4.5 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO TRIANGULAR PARA SALIDA DEL CAUDAL 50

FIGURA 4.6 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CALIBRACIÓN PARA UN Q_{TR100}=1612 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 56

FIGURA 4.7 ESQUEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES Y CALADOS EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL DE RECTIFICACIÓN. 59

FIGURA 4.8 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 0+700 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/s 66

FIGURA 4.9 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+060 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/s 67

FIGURA 4.10 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+320 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/s 67

FIGURA 4.11 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CALIBRACIÓN PARA UN Q_{TR10}=1143 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES..... 67

FIGURA 4.12 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CALIBRACIÓN PARA UN Q_{TR2}=737 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES..... 68

FIGURA 5.1 CURVA DE DESCARGA RIO DAULE DA-8-D 72

FIGURA 5.2 CURVA DE DESCARGA PARA LAS COMPUERTAS RADIALES 74

FIGURA 5.3 ESQUEMA DE COMPUERTAS RADIALES Y VERTEDEROS, PARA ABERTURAS GO, Y YL 74

FIGURA 5.4 PUNTOS DE MEDICIÓN EN CADA SECCIÓN DEL CANAL 76

FIGURA 5.5 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL, CAUDAL 120 m^3/seg. 80

FIGURA 5.6 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL, CAUDAL 240 m3/seg. 84

IGURA 5.7 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES A TRAVÉS DEL CUENCO DISIPADOR Y CANAL (VISTA EN PLANTA) 88

FIGURA 5.8 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO (IZQUIERDA, CENTRAL Y DERECHA) CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL. 88

FIGURA 5.9 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 0+680 PARA UN CAUDAL QTR100= 1612 m^3/s 91

FIGURA 5.10 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+060 PARA UN CAUDAL QTR100= 1612 m^3/s 92

FIGURA 5.11 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+320 PARA UN CAUDAL QTR100= 1612 m^3/s 92

FIGURA 5.12 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN QTR100=1612 m3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES 92

FIGURA 5.13 ESQUEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES Y CALADOS EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL DE RECTIFICACIÓN. 95

FIGURA 5.14 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR20}=1220 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 106

FIGURA 5.15 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR10}=1143 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 108

FIGURA 5.16 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR5}=977 M^3/S EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTE 111

FIGURA 6.1 VISTA EN PLANTA DE VARIANTE 1: MURO DE ACERCAMIENTO AL VERTEDERO DE REGULACIÓN 120

FIGURA 6.2 PILAS DISEÑO ORIGINAL. 122

FIGURA 6.3 VARIANTE PILAS ANGULO 20 GRADOS. 122

FIGURA 6.4 VARIANTE PILAS ANGULO 30 GRADOS. 122

FIGURA 6.5 VISTA EN PLANTA VARIANTE 3: PROLONGACIÓN DEL CUENCO DISIPADOR CON UMBRAL DE FONDO 124

FIGURA 6.6 VISTA EN PLANTA VARIANTE 4: UMBRALES DE FONDO ESCALONADOS 125

FIGURA 6.7 VISTA EN PLANTA VARIANTE 5: ENSANCHAMIENTO A LA SALIDA DEL CUENCO DISIPADOR 126

FIGURA 7.1 MODELO DE PILAS PRESENTADAS POR ACT Y LA EPN PARA EL DISEÑO FINAL. 131

FIGURA 7.2 MODELO ORIGINAL DE LAS PILAS EN LA ETAPA DE DISEÑO ORIGINAL 132

FIGURA 7.3 VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN PARA EL DISEÑO FINAL. 133

FIGURA 7.4 CURVA DE DESCARGA DEL RIO DAULE AB. 1+320. 135

FIGURA 7.5 CURVA DE DESCARGA PARA DIFERENTES ABERTURAS DE GO, DE LA COMPUERTA RADIAL DEL VERTEDERO. 136

FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD 136

FIGURA 7.6 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO PARA CONTROLAR EL CAUDAL EN LA OBRA DE TOMA. 138

FIGURA 7.7 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL PARA Q=120 m^3/seg..... 143

FIGURA 7.8 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL Q= 240 m^3/seg 148

FIGURA 7.9 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL PARA Q=350 m^3/seg..... 153

FIGURA 7.10 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES A LO LARGO DEL CANAL DE DESVIACIÓN. 154

FIGURA 7.11 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 0+680 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/seg 157

FIGURA 7.12 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+060 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/seg 158

FIGURA 7.13 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+320 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/seg 158

FIGURA 7.14 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR100}=1612 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 158

FIGURA 7.15 ESQUEMA DE PUNTOS DE MEDICIÓN PARA LAS PRUEBAS CON STOP LOG ABIERTOS. 161

FIGURA 7.16 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR20} = 1220 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 171

FIGURA 7.17 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR10} = 1143 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 172

FIGURA 7.18 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR5} = 977 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES. 174

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 3.1 ESCALAS DE SELECCIÓN DEL MODELO 30

CUADRO 4.1 CAUDALES SEGÚN PERIODO DE RETORNO 44

CUADRO 4.2 VELOCIDAD, Y CALADO PARA CAUDAL 737 m^3/seg, PROTOTIPO Y MODELO 45

CUADRO 4.3 VELOCIDAD, Y CALADO PARA CAUDAL 1143 m^3/seg, PROTOTIPO Y MODELO 46

CUADRO 4.4 VELOCIDAD, Y CALADO PARA CAUDAL 1616 m^3/seg, PROTOTIPO Y MODELO 47

CUADRO 4.5 LECTURAS LIMNMÉTRICAS MEDIDAS EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg 59

CUADRO 4.6 NUMERO DE REVOLUCIONES (N) EN MODELO MEDIDAS POR EL MICRO MOLINETE PARA Q=1612 m^3/seg 60

CUADRO 4.7 VALORES DE VELOCIDAD EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg ... 61

CUADRO 4.8 VALORES DE VELOCIDAD EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg 63

CUADRO 4.9 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN MODELO PARA Q=1612 M^3/SEG 64

CUADRO 4.10 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA PROTOTIPO PARA Q=1612 M^3/SEG 65

CUADRO 4.11 RESUMEN DE CALADOS, VELOCIDAD PROMEDIO Y NIVEL DE AGUA PARA Q=1612 m^3/seg 65

CUADRO 4.12 COMPARACIÓN “N” MODELO Y “N” PROTOTIPO 68

CUADRO 4.13 CAUDALES PRUEBAS DE CALIBRACIÓN 70

CUADRO 5.1 VELOCIDAD TEÓRICA OBTENIDA EN LA ABSCISA 0+100 77

CUADRO 5.2 VELOCIDAD TEÓRICA OBTENIDA EN LA ABSCISA 0+100 81

CUADRO 5.3 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=1612 m^3/seg..... 89

CUADRO 5.1 LECTURAS LIMNMÉTRICAS MEDIDAS EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg 96

CUADRO 5.2 NUMERO DE REVOLUCIONES (N) EN MODELO MEDIDAS POR EL MICRO MOLINETE PARA Q=1612 m^3/seg 97

CUADRO 5.3 VALORES DE VELOCIDAD EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg ... 98

CUADRO 5.4 VALORES DE VELOCIDAD EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg 100

CUADRO 5.5 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg 101

CUADRO 5.6 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg 102

CUADRO 5.7 RESUMEN DE CALADOS, VELOCIDAD PROMEDIO Y NIVEL DE AGUA PARA Q=1612 m^3/seg 103

CUADRO 5.8 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=1220 m^3/seg..... 104

CUADRO 5.9 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=1143 m^3/seg..... 106

CUADRO 5.10 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=977 m^3/seg..... 109

CUADRO 7.1 LECTURAS LIMNIGRÁFICAS EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg 162

CUADRO 7.2 NUMERO DE REVOLUCIONES (N) EN MODELO MEDIDAS POR EL MICRO MOLINETE PARA Q=1612 m^3/seg 163

CUADRO 7.3 VALORES DE VELOCIDAD EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg . 164

CUADRO 7.4 VALORES DE VELOCIDAD EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg 166

CUADRO 7.5 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg 167

CUADRO 7.6 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg 168

CUADRO 7.7 RESUMEN DE CALADOS, VELOCIDAD Y ELEVACIÓN DE AGUA EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg..... 168

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.1 SITIO EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA..... 2

FOTOGRAFÍA 1.2 UBICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEFINIDAS PREVIAMENTE. 3

FOTOGRAFÍA 3.1 MAMPOSTERÍA DE SOPORTE Y RIOSTRAS PARA LA MESA DEL CANAL DE RECTIFICACIÓN..... 32

FOTOGRAFÍA 3.2 ALFAJÍAS Y PLATAFORMA DE MADERA..... 33

FOTOGRAFÍA 3.3 MAMPOSTERÍA E IMPERMEABILIZACIÓN (CHOVA) DEL CANAL. 34

FOTOGRAFÍA 3.4 PERFILES TRANSVERSALES TOPOGRAFÍA DEL RIO DAULE. 35

FOTOGRAFÍA 3.5 RELLENO DE TERRO – CEMENTO CANAL DE RESTITUCIÓN. 35

FOTOGRAFÍA 3.6 CLAPETA DE REGULACIÓN DE CAUDALES..... 36

FOTOGRAFÍA 3.7 CANAL DE MODELO TERMINADO EN EL LABORATORIO CIERHI 36

FOTOGRAFÍA 3.8 VERTEDEROS Y COMPUERTAS IMPLANTADAS EN EL CANAL 37

FOTOGRAFÍA 3.9 SALIDA DEL FLUJO POR DE LAS TUBERÍAS..... 39

FOTOGRAFÍA 3.10 PANTALLA DE MADERA PARA UNIFORMIZAR EL FLUJO Y PANTALLA CON ORIFICIOS PARA ASEGURAR UNA CORRECTA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO EN EL MODELO. 39

FOTOGRAFÍA 3.11 VERTEDERO TRIANGULAR UBICADO A LA SALIDA DEL CANAL ENCARGADO DE RESTITUIR EL AGUA..... 40

FOTOGRAFÍA 4.1 VERTEDERO RECTANGULAR ESTÁNDAR DE PARED DELGADA. 49

FOTOGRAFÍA 4.2 VERTEDERO TRIANGULAR ESTÁNDAR DE PARED DELGADA UBICADO A LA SALIDA DEL CANAL DE RECTIFICACIÓN..... 50

FOTOGRAFÍA 4.3 LIMNÍMETRO DE PRECISIÓN. 51

FOTOGRAFÍA 4.4 MICRO-MOLINETE C2 CON CONTADOR OTT Z400 52

FOTOGRAFÍA 4.5 TRAZADORES A BASE DE PERMANGANATO DE POTASIO. 53

FOTOGRAFÍA 4.6 ALTERNATIVA PROBADA EN EL INGRESO DE CAUDAL AL MODELO (MALLA PLÁSTICA PERFORADA) 54

FOTOGRAFÍA 4.7 PANTALLA CON ORIFICIOS PARA ASEGURAR UNA CORRECTA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO EN EL MODELO. 54

FOTOGRAFÍA 5.1 COTA AGUAS ABAJO ABSCISA 1+060 M, NIVEL 7.70 m.s.n.m. 77

FOTOGRAFÍA 5.2 NIVEL DE AGUA EN EL EMBALSE 16.07 m.s.n.m. 78

FOTOGRAFÍA 5.3 FUNCIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR Q=120 m3/s 78

FOTOGRAFÍA 5.4 DESARROLLO DEL FLUJO PRINCIPAL AGUAS ABAJO DEL CUENCO DISIPADOR. 79

FOTOGRAFÍA 5.5 CAMBIO DE DIRECCIÓN EN LA VELOCIDAD Y ZONAS MUERTAS A TRAVÉS DEL CANAL 79

FOTOGRAFÍA 5.6 NIVEL 8.78 m.s.n.m. ABSCISA 1+320 m..... 82

FOTOGRAFÍA 5.7 NIVEL DE AGUA EN EL EMBALSE 15.97 m.s.n.m. 82

FOTOGRAFÍA 5.8 FUNCIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR Q=240 m3/s.83

FOTOGRAFÍA 5.9 FLUJO A LA SALIDA DEL CUENCO DISIPADOR Q=240 m3/s. 83

FOTOGRAFÍA 5.10 COTA EMBALSE 16.36 m.s.n.m..... 85

FOTOGRAFÍA 5.11 SEPARACIÓN DE LA LÁMINA DE AGUA AL INGRESO EN LOS VERTEDEROS. 86

FOTOGRAFÍA 5.12 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 9.70 m.s.n.m. 87

FOTOGRAFÍA 5.13 FUNCIONAMIENTO Y SALIDA DEL FLUJO A TRAVÉS DEL CUENCO DISIPADOR Q=350m3/s 87

FOTOGRAFÍA 5.1 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 15.39 m.s.n.m. 90

FOTOGRAFÍA 5.15 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+200 Y PASO A TRAVÉS DE LA BOCATOMA..... 90

FOTOGRAFÍA 5.16 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+680 Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE CIERRE EN LA ABSCISA 0+700 91

FOTOGRAFÍA 5.17 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 13.90 m.s.n.m. .. 104

FOTOGRAFÍA 5.18 NIVEL EN LA ABSCISA 0+200 Y PASO DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA BOCATOMA 105

FOTOGRAFÍA 5.19 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+680 Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE CIERRE EN LA ABSCISA 0+700. 105

FOTOGRAFÍA 5.20 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 13.53 m.s.n.m. .. 107

FOTOGRAFÍA 5.21 TRAZADORES A BASE DE PERMANGANATO DE POTASIO EN LA ABSCISA 0+200 Y PASO A TRAVÉS DE LA BOCATOMA..... 107

FOTOGRAFÍA 5.22 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+680 Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE CIERRE EN LA ABSCISA 0+700 (VISTA POSTERIOR) 108

FOTOGRAFÍA 5.23 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 12.83 m.s.n.m. .. 109

FOTOGRAFÍA 5.24 TRAZADORES A BASE DE PERMANGANATO DE POTASIO EN LA ABSCISA 0+200 Y PASO A TRAVÉS DE LA BOCATOMA..... 110

FOTOGRAFÍA 5.25 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+680 Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE CIERRE EN LA ABSCISA 0+700 (VISTA POSTERIOR) 110

FOTOGRAFÍA 6.1 VARIANTE CON MURO DE ACERCAMIENTO AL VERTEDERO DE REGULACIÓN..... 121

FOTOGRAFÍA 6.2 VARIANTES DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN EN EL PARAMENTO DE LAS PILAS..... 123

FOTOGRAFÍA 6.3 ENSANCHAMIENTO A LA SALIDA DEL CUENCO DISIPADOR. 127

FOTOGRAFÍA 7.1 COLOCACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN DE CAUDALES. 134

FOTOGRAFÍA 7.2 VERTEDERO DE REGULACIÓN DE CAUDALES EN LA OBRA DE TOMA 137

FOTOGRAFÍA 7.3 FUNCIONAMIENTO DE LA BOCATOMA COTA 15.95 m.s.n.m. 139

FOTOGRAFÍA 7.4 FUNCIONAMIENTO DE LOS VERTEDEROS Y EL CUENCO DISIPADOR PARA Q=120 m3/seg. 139

FOTOGRAFÍA 7.5 FLUJO EN LA ENTRADA A LOS VERTEDORES PARA Q=120 m3/seg, FUNCIONAMIENTO DE LA PILAS. 140

FOTOGRAFÍA 7.6 FUNCIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR Q=120 m3/seg. 141

FOTOGRAFÍA 7.7 DESARROLLO DEL FLUJO EN EL CANAL PRINCIPAL AGUAS ABAJO DEL CUENCO DISIPADOR, AB. 1+060 141

FOTOGRAFIA 7.8 NIVEL DE AGUA ABSCISA 1+320 IGUAL A 8.93 m.s.n.m. 144

FOTOGRAFÍA 7.9 NIVEL DE AGUA EN EL EMBALSE 15.99 m.s.n.m. AB. 0+200 SITIO DE EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA DE TOMA 145

FOTOGRAFÍA 7.10 FLUJO EN LA ENTRADA A LOS VERTEDORES PARA Q=240 m3/seg, FUNCIONAMIENTO DE LA PILAS. 146

FOTOGRAFÍA 7.11 FUNCIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR Q=240 m3/seg. 146

FOTOGRAFÍA 7.12 DESARROLLO DEL FLUJO EN EL CANAL PRINCIPAL AGUAS ABAJO DEL CUENCO DISIPADOR, AB. 1+060 147

FOTOGRAFÍA 7.13 NIVEL ABSCISA 1+320 IGUAL A 9.66 m.s.n.m. 149

FOTOGRAFÍA 7.14 NIVEL DE AGUA EN EL EMBALSE 16.10 m.s.n.m., AB. 0+200. 150

FOTOGRAFÍA 7.15 FLUJO EN LA ENTRADA A LOS VERTEDORES PARA Q=240 m^3/seg, FUNCIONAMIENTO DE LA PILAS. 151

FOTOGRAFÍA 7.16 FUNCIONAMIENTO DEL CUENCO DISIPADOR Q=350 m3/seg. 151

FOTOGRAFIA 7.17 DESARROLLO DEL FLUJO EN EL CANAL PRINCIPAL AGUAS ABAJO DEL CUENCO DISIPADOR, AB 1+060. 152

FOTOGRAFIA 7.18 FUNCIONAMIENTO DE LA OBRA DE TOMA PARA Q=104 m^3/seg 155

FOTOGRAFÍA 7.19 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 15.46 Z..... 156

FOTOGRAFÍA 7.20 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+680 Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE CIERRE EN LA ABSCISA 0+700 157

FOTOGRAFÍA 7.21 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 13.94 m.s.n.m. PARA Q=1220 m3/seg. 169

FOTOGRAFIA 7.22 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 1+060 PARA Q=1220 m3/seg. 170

FOTOGRAFÍA 7.23 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 13.70 m.s.n.m. PARA Q=1143 m3/seg. 171

FOTOGRAFÍA 7.24 NIVEL ABSCISA 1+320 EQUIVALENTE A 12.97 m.s.n.m. PARA Q=977 m3/seg. 173

FOTOGRAFÍA 7.25 LÍNEAS DE FLUJO A TRAVÉS DE LA ABSCISA 0+680 Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE CIERRE EN LA ABSCISA 0+700. 173

LISTADO PLANOS

PLANTA Y ELEVACIÓN DERIVADORA RIO DAULE	AR-DD 001
CORTES DERIVADORA RIO DAULE	AR-DD 002
IMPLANTACIÓN GENERAL TRASVASE RIO DAULE - VINCES	PT-TDV-01
ESTRUCTURAS DE CIERRE EN MODELO	PT-TDV-02
ESTRUCTURA DE BOCA-TOMA EN MODELO PLANTA	PT-TDV-03
ESTRUCTURA DE BOCA-TOMA EN MODELO CORTE	PT-TDV-04
IMPLANTACIÓN EN MODELO SIN ESTRUCTURAS	PT-TDV-05
IMPLANTACIÓN EN MODELO CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-06
CORTE LONGITUDINAL SIN ESTRUCTURAS	PT-TDV-07
CORTE LONGITUDINAL CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-08
CORTE TRANSVERSAL DE ESTRUCTURAS DE CIERRE EN MODELO	PT-TDV-09
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL SIN ESTRUCTURAS Q=1612m3/s	PT-TDV-10
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL SIN ESTRUCTURAS Q=1143m3/s	PT-TDV-11
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL SIN ESTRUCTURAS Q=737m3/s	PT-TDV-12
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1612m3/s	PT-TDV-13
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1220m3/s	PT-TDV-14
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1143m3/s	PT-TDV-15
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=977m3/s	PT-TDV-16
PERFIL DE FLUJO VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q: 120,240 Y 350 m3/s	PT-TDV-17
ESTRUCTURA DE CIERRE PROTOTIPO - PLANTA	
ESTRUCTURA DE CIERRE PROTOTIPO -CORTE	ODD-102
ESTRUCTURAS DE CIERRE EN MODELO	ODD-103
IMPLANTACIÓN EN MODELO CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-18
CORTE LONGITUDINAL EN MODELO CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-19
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1612m3/s	PT-TDV-20
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1220m3/s	PT-TDV-21
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1143m3/s	PT-TDV-22
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=977 m3/s	PT-TDV-23

DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=350 m3/s	PT-TDV-24
PERFIL DE FLUJO Y VELOCIDADES VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q= 120 m3/s	PT-TDV-25
PERFIL DE FLUJO Y VELOCIDADES VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q= 240 m3/s	PT-TDV-26
PERFIL DE FLUJO Y VELOCIDADES VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q= 350 m3/s	PT-TDV-27
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN OBRA DE TOMA Q=104 m3/s	PT-TDV-28
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES SALIDA COMPUERTAS DE CIERRE Q=1612m3/s	PT-TDV-29
	PT-TDV-30

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capitulo se describen los aspectos generales del proyecto TRASVASE DAULE-VINCES, además se presentan los objetivos y la justificación de la modelación física del proyecto.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO TRASVASE DAULE-VINCES

La Estructura de derivación en el río Daule es el componente principal del proyecto, en virtud de que a partir de la misma se garantiza el caudal que se requiere trasvasar hacia el delta del río Guayas, cuya columna vertebral la constituye el río Vinces.

Ésta estructura, a más de cumplir con el objetivo del proyecto durante la época de estiaje, deberá interferir lo menos posible en el cauce natural, de manera tal, que durante los meses de lluvia, el río Daule en dicho tramo no cambie su comportamiento natural.

Adicionalmente a lo señalado, es necesario recordar que el río Daule está regulado por el Embalse Daule – Peripa, en donde además existe la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind, por lo que, en los meses de estiaje el caudal del río Daule es mayor a 100 m3/s, muy por encima de los valores existentes en dicho río antes de la construcción de la presa Daule – Peripa, en la que se tenían caudales de hasta 5.0 m3/s en épocas críticas[1].

[1] ACT, Informe de factibilidad proyecto Dauvin

FOTOGRAFÍA 1.1 Sitio emplazamiento de la obra

El estudio previo estableció dos alternativas de ubicación denominadas A y B, desde aguas abajo hacia aguas arriba, respectivamente. La alternativa B, inicialmente planteada, fue descartada durante las primeras semanas del inicio de los estudios, en virtud de que a través de ésta, no resultaba técnicamente viable descargar desde el canal de trasvase hacia el estero San Vicente, razón por la cual se la descartó y en su lugar se planteo la denominada “nueva B”, unos 1500 metros aguas arriba de la alternativa A. adicionalmente, durante el avance de los estudios preliminares, se estableció una nueva alternativa denominada C, ubicada en la curva del río Daule, inmediatamente aguas abajo de la alternativa A[2].

Considerando las alternativas señaladas previamente, se evidencia que la estructura de derivación correspondiente a las alternativas B y C se construirían en la margen izquierda del río, en tanto que la alternativa A sería en la margen derecha del río, situación que, más allá de los aspectos particulares involucradas en cada una de las alternativas, es evidente que hay aspectos positivos y negativos en cada una de ellas.

[2] ACT, Informe de factibilidad proyecto Dauvin

FOTOGRAFÍA 1.2 Ubicación de las alternativas definidas previamente.

A través de analizar las ventajas y desventajas de las tres alternativas, se establece de manera preliminar la alternativa C como la mejor[3].

1.2.1 COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE DERIVACIÓN

La estructura de derivación del río Daule tiene como objetivo fundamental, durante la época de estiaje, derivar hacia el río Vinces, alrededor de 104 m^3/s, de los caudales regulados por el embalse Daule – Peripa.

En el contexto señalado, la estructura en mención, deberá tener la capacidad de elevar el nivel de la superficie del agua a una altura deseada, de tal manera que posibilite el trasvase por gravedad hacia el río Vinces a través de una estructura de Toma, y además, regule los caudales hacia aguas abajo de la estructura de derivación, a efectos de cumplir con los usos demandantes, previamente comprometidos por el embalse Daule – Peripa, tales como el abastecimiento de

[3] ACT, Informe de factibilidad proyecto Dauvin

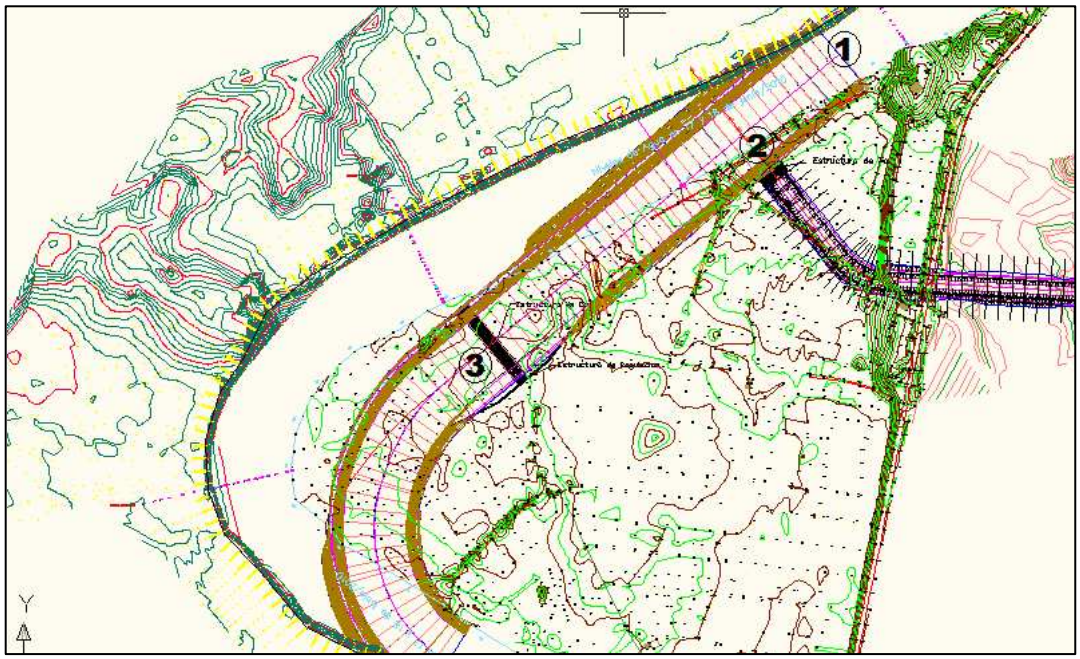
agua cruda a la Planta de Agua Potable de la ciudad de Guayaquil, demandas del Proyecto de Riego de las 17000.00 has., Trasvase a la Península de Santa Elena, Control de la Salinidad, entre otros[4].

La estructura de derivación del río Daule consta de tres componentes perfectamente definidos y diferenciados, que son los siguientes:

- Estructura de Rectificación propiamente dicha.
- Estructura de Regulación de Caudales.
- Obra de Toma.

En la figura 1.1 se muestra la implantación de los componentes del TRASVASE DAULE-VINCES.

FIGURA 1.1 RECTIFICACIÓN (1), ESTRUCTURA DE REGULACIÓN DE CAUDALES (3), OBRA DE TOMA (2)



FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD DAUVIN, 2010

1.2.1.1 Estructura de rectificación

Dadas las circunstancias anotadas y considerando la realidad actual en relación con los caudales disponibles en el río Daule en la época de estiaje, se creyó conveniente que la mejor forma de acometer con la construcción de la estructura de

[4] ACT, Informe de factibilidad proyecto Dauvin

derivación, era realizar la misma fuera del cauce del río y luego de construida rectificar el mismo hacia la estructura construida en seco, más aun, considerando las enormes ventajas que el propio río Daule presenta para esta situación, dada las características meándricas del mismo.

La estructura de rectificación constituye un canal natural trapezoidal con ancho de fondo de 100m, taludes 2:1 y una longitud de 1320 m, la cota de inicio del fondo del canal de rectificación es la 6.5 m.s.n.m. y en la salida es la 6.36 m.s.n.m. en dicha obra se ubicara la obra de toma en la margen izquierda en la abscisa 0+200 m y las estructuras de regulación en la abscisa 0+700 m.

1.2.1.2 Obra de toma

La obra de toma se encuentra emplazada en la margen izquierda del canal de rectificación en la abscisa 0+200 m, ancho de 22.40 m, la cota de fondo de entrada a dicha obra es la 12.10 m.s.n.m.

1.2.1.3 Estructuras de Regulación

La estructura de regulación estará conformada por los denominados Stop log y vertedero de regulación controlado por compuertas radiales, emplazadas en la abscisa 0+700 m, cuyo propósito es elevar el agua durante la época de estiaje hasta la cota 16 m.s.n.m. a efectos de posibilitar el trasvase por gravedad hacia el río Vinces, e interferir lo menos posible con el paso de las crecientes durante la época de lluvias.

El diseño considera un periodo de recurrencia de 100 años y durante el periodo de lluvias deberá tener la capacidad de evacuar los caudales que ocurren durante ese lapso de tiempo.

Los datos básicos considerados en su concepción, a parte de las características geométricas del tramo de río, son las siguientes:

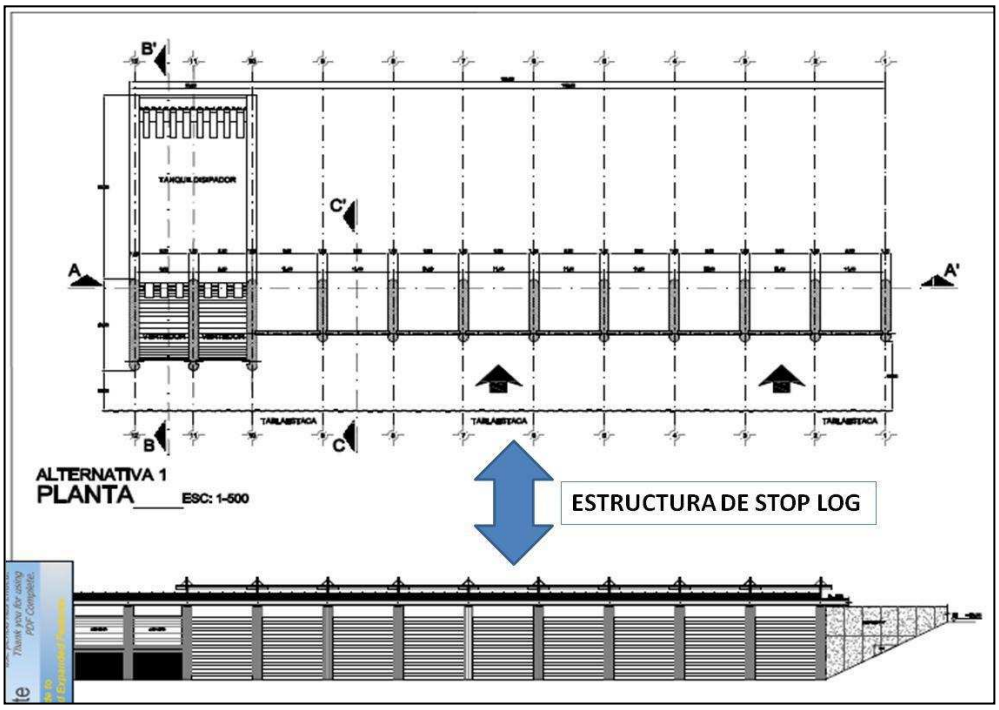
- Caudal (Tr_{100}) = 1612 m3/s
- Nivel máximo del agua para Tr_{100} = 15.40 m.s.n.m.
- Ancho aproximado del río aprovechable = 100.0 m
- Nivel máximo de agua aprovechable para el trasvase = 16.0 m.s.n.m.

A continuación se detalla las características de los elementos que componen la estructura de regulación:

- **Stop - Log**

Se ha considerado conveniente tener una estructura de cierre a través de los denominados Stop – Log de 0.4 metros de altura y 0.60 metros de profundidad, con 9 vanos de 11.50 metros cada uno entre los ejes de las pilas o columnas, cuyo ancho es de 1.6 m de ancho, por lo que el ancho libre del río será de 89.1 metros, la misma que durante los meses de lluvia funcionará al igual que un puente dejando pasar libremente el flujo hacia aguas abajo. Al final de la época de lluvia se colocarán los Stop Log, que como se mencionó, permitirán incrementar los niveles de agua hasta la cota 16 m.s.n.m. y de esa manera posibilitar el trasvase hacia el río Vinces a través de la estructura de toma a ser ubicada en la margen izquierda del río Daule, aguas arriba de ésta estructura.

FIGURA 1.2 VISTA EN PLANTA DE ESTRUCTURAS DE REGULACION (STOP-LOG Y VERTEDEROS)

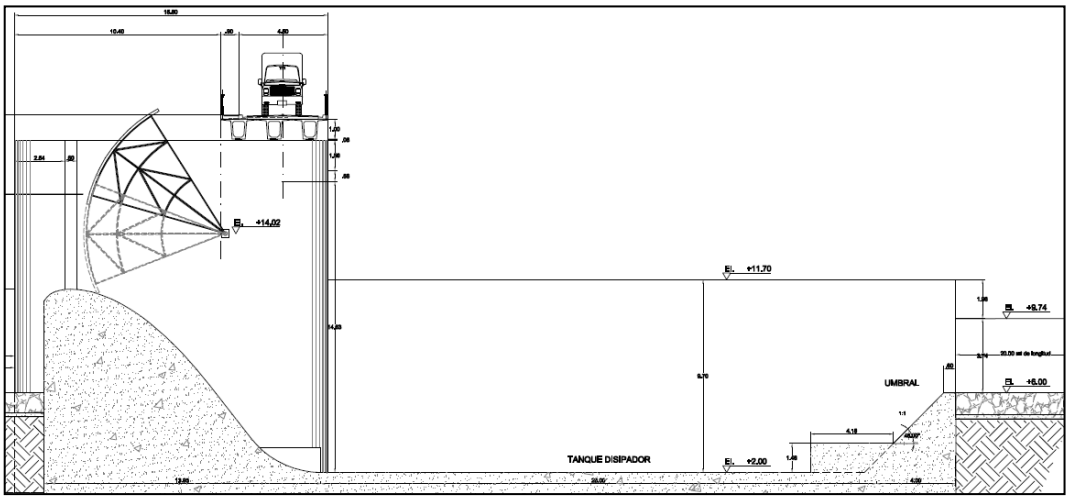


FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD DAUVIN, 2010

- **Vertedero de Regulación y Compuertas Radiales**

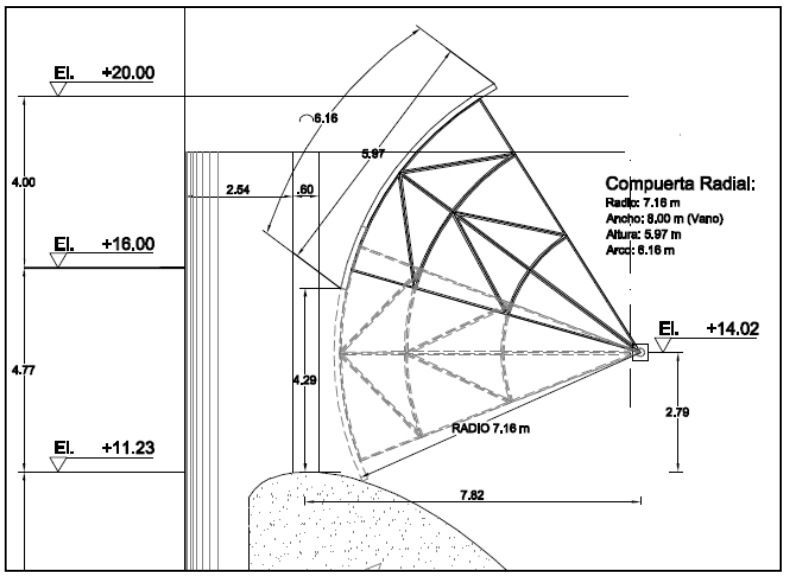
El vertedero de regulación está constituido por dos vanos de 8 metros, la cota de la cresta del vertedor es 11.23 m.s.n.m., considerando que para la máxima descarga es de 350.0 m3/s, con las compuertas radiales tipo TAINTER totalmente abiertas, el nivel máximo alcanzado por el agua corresponde al nivel de operación de la estructura de derivación, establecido en la cota 16.0 m.s.n.m., ver figura 1.3 y 1.4.

FIGURA 1.3 CORTE LONGITUDINAL VERTEDERO DE REGULACIÓN Y CUENCO DISIPADOR



FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD DAUVIN, 2010

FIGURA 1.4 COMPUERTAS RADIALES



FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD DAUVIN, 2010

En el CAPITULO 10(ANEXOS), se presentan los planos otorgados por la consultora ACT, para el diseño del modelo hidráulico en el laboratorio del CIERHI-EPN, ver planos:

NOMBRE DE PLANO	CÓDIGO
PLANTA Y ELEVACIÓN DERIVACIÓN RIO DAULE - VINCES	AR-DD 001
CORTES DERIVACIÓN RIO DAULE - VINCES	AR-DD 002
IMPLANTACIÓN GENERAL TRASVASE RIO DAULE - VINCES	PT-TDV-01

1.3

1.4 OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN DE LA MODELACIÓN FÍSICA

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el comportamiento de flujos de agua en las diferentes estructuras hidráulicas y comprobar su funcionamiento basados en el diseño teórico realizado por los consultores y garantizarlo mediante las modificaciones necesarias, a través de la construcción del modelo físico a escala reducida.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificación del comportamiento de flujo en el canal rectificado del cauce del río Daule para los diferentes caudales propuestos, mediante la calibración del modelo físico.

- Evaluación del comportamiento de las estructuras que conforman la obras de regulación de caudales.

- Evaluación del diseño del cuenco disipador de energía aguas abajo de los vertederos de regulación.

- Estudio de los problemas de flujo que se presenten en el canal rectificado y sus efectos en las obras de toma y regulación.

- Definición de la operación de las estructuras de regulación de niveles y caudales y sus efectos en la obra de toma.

- Dimensionamiento recomendado de las estructuras implementadas en el canal de derivación (Obra de Toma, Estructuras de regulación), en base al análisis de los resultados experimentales en el modelo.

1.4.3 ALCANCE

- Diseño y construcción del Modelo hidráulico del canal correspondiente al cauce rectificado, en donde se analizará, no solamente el comportamiento de la rectificación propiamente dicha, sino también el comportamiento de la misma junto con la implementación de las obras que conforman la Estructura de Regulación del río Daule.

- En el modelo físico se establecerá, de manera inicial, un comportamiento del tramo rectificado a efectos de definir las características del flujo que prevalecen (calibración), para luego establecer el comportamiento del tramo frente a la implementación de las obras contempladas en la estructura de derivación del río Daule.

El estudio comprende la construcción del modelo físico a escala reducida y análisis del comportamiento de flujo en el mismo, el cual consta de tres componentes principales:

- Canal de derivación del cauce rectificado del río Daule
- Estructura de regulación de caudales.
- Obra de toma o derivación del trasvase.

1.4.4 JUSTIFICACIÓN

- Los fenómenos que ocurren en el campo de la hidráulica son tan complejos que no resulta fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos o aproximaciones empíricas. Es necesario entonces recurrir al empleo de técnicas experimentales como herramienta para la obtención de soluciones prácticas aplicadas a problemas de ingeniería.

- El estudio del comportamiento de una estructura mediante la observación de resultados en un modelo físico reducido, es una de las herramientas de

diseño y optimización de los proyectos que debe utilizarse para un mejor aprovechamiento de los escasos recursos del sector.

- Mediante la construcción y evaluación del modelo a escala reducido se pretende optimizar el diseño en prototipo propuesto por los consultores, y de esta manera garantizar el correcto funcionamiento del mismo a futuro, ya en operación.

CAPITULO 2

GENERALIDADES SOBRE LA MODELACIÓN FÍSICA CON FLUJO LIBRE

2.1 INTRODUCCIÓN

El contenido de este capítulo se enfoca en los principios de modelación física a superficie libre en especial a modelos de canales a fondo fijo, antes es importante señalar los principios fundamentales de la hidráulica de canales, para tener un enfoque más práctico de lo que se va a realizar.

2.2 GENERALIDADES HIDRÁULICAS DE LOS CANALES ABIERTOS

2.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El flujo libre se presenta cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y solo están parcialmente envueltos por un contorno sólido.

El conducto por el cual circula agua con flujo libre se llama canal, el que puede ser cerrado o abierto. Las características generales del flujo libre son:

- Presenta una superficie del líquido en contacto con la atmósfera, llamada superficie libre.
- La superficie libre coincide con la línea piezométrica.
- Cuando el fluido es agua a temperatura ambiente, el régimen de flujo es usualmente turbulento. [5]

2.2.2 ECUACIONES FUNDAMENTALES EN EL FLUJO DE CANALES ABIERTOS

A continuación se describen las ecuaciones que se utilizaran en capítulos siguientes en las etapas de calibración del modelo, para el cálculo de los parámetros hidráulicos (Caudal, Velocidad, Perdidas de energía), y físicos (Rugosidad n de

[5] M. E. Guevara a., Flujo libre

Manning), así como también en la etapa de pruebas del modelo con estructuras de regulación.

2.2.2.1 Ecuación de Continuidad [6]

Principio de conservación de la materia

De acuerdo con este, la masa de fluido que en unidad de tiempo entra a un volumen especificado dentro del flujo, una parte se queda almacenada en su interior y el resto sale del volumen. Si el volumen que se estudia es de forma y magnitud constantes (Volumen de control), el almacenaje no puede ser indefinido.

Matemáticamente es preferible tratar con la cantidad neta de masa que sale y que entra, sumadas algebraicamente; así el principio de la conservación de la materia, aplicado a un volumen de control fijo completamente arbitrario dentro del flujo, se expresa en la forma siguiente, ver figura 2.1:

FIGURA 2.1 ESQUEMA DE PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE MASA

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

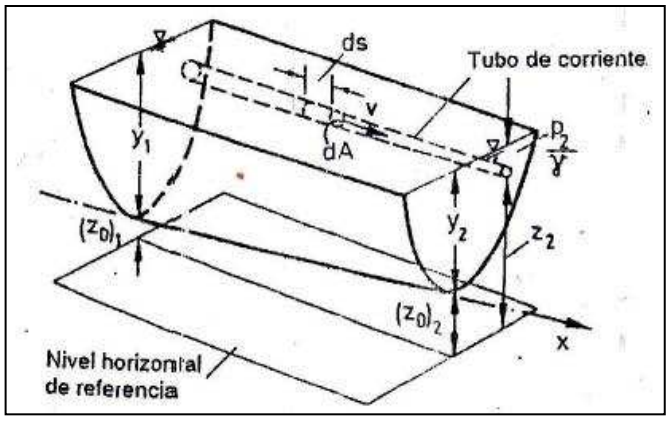
Este principio se aplica lo mismo a un volumen de control de tamaño diferencial que a uno finito, de lo cual se deriva la llamada ecuación de continuidad.

[6] Sotelo, Hidráulica de canales

2.2.2.2 Ecuación de continuidad para un tubo de corriente [7]

Como punto de partida para la derivación de las ecuaciones fundamentales se considera un tubo de corriente, ver figura 2.2. Si se designa a la sección transversal del mismo con dA, con v a la velocidad perpendicular a dA, y bajo la hipótesis de que en una sección cualquiera del tubo de corriente:

FIGURA 2.2 ESQUEMA DE FLUJO EN UN CANAL



FUENTE: HIDRÁULICA DE CANALES -NAUDASCHER.

- El liquido es homogéneo e incompresible (ρ= constante),

Se puede escribir el principio de conservación de masa de la siguiente forma:

$$dQ = v * ndA = vdA = cte \qquad \textbf{(2.1)}$$

Donde n representa el vector normal. Esta ecuación, denominada ecuación de continuidad, expresa que el gasto o caudal dQ (volumen por unidad de tiempo que fluye por un tubo de corriente) debe ser una constante independiente del espacio.

Si se integra esta ecuación en el volumen de control seleccionado dentro del campo total del flujo, entre las secciones transversales 1 y 2, ver figura 2.2, se obtiene la expresión:

$$v = \int_a vda = va = cte \qquad \textbf{(2.2)}$$

O en su lugar:

[7] Naudascher, Hidráulica de canales

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \textbf{(2.3)}$$

Q: Caudal.

$V_{1,2}$: Velocidad en 1 y 2.

$A_{1,2}$: Área en 1 y 2.

2.2.2.3 Ecuación de Energía [8]

Para obtener la ecuación de la energía, se parte de la ecuación del movimiento según Newton para un elemento de masa: dm = ρ ds dA ,ver figura 2.2. Si se realiza el producto escalar de la fuerza dF_s, que actúa sobre el elemento de masa en la dirección del flujo (s), y el desplazamiento ds, se tiene en el segundo miembro de la ecuación de movimiento el cambio correspondiente de energía cinética. Si se limita el análisis del flujo estacionario, o mejor dicho, bajo la hipótesis de que:

- El flujo es estacionario y la presión en cualquier punto no varía en el tiempo.

La ecuación de energía para el elemento dm se escribe de la siguiente forma:

$$dF_s ds = \frac{\rho}{2} ds\ dA\ d(v^2) \quad \textbf{(2.4)}$$

Si el análisis se limita solo a flujos que están determinados fundamentales por la fuerza de gravedad y de presión; es decir, bajo la hipótesis adicional de que:

- Únicamente las fuerzas de gravedad y de presión tienen influencia sobre el flujo.

La fuerza dF_s se puede expresar en función de la presión p y de la altura z del elemento, con un peso especifico γ = ρ g:

$$dF_s = [d(p + \rho g z)/ds]/ds\ dA \quad \textbf{(2.5)}$$

Dada la hipótesis de que:

[8] Naudascher, Hidráulica de canales

- Las secciones trasversales 1 y 2 están ubicadas en zonas donde la distribución de presiones es hidrostática (es decir, en zonas donde las líneas de corriente no tienen curvatura).

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 - \frac{P_2}{\rho g} - z_2 = \frac{1}{2gQ}\left(\int_A {v_2}^3\, dA - \int_A {v_1}^3\, dA\right) \quad \textbf{(2.6)}$$

Al considerar además el coeficiente α de corrección de la carga de velocidad (coeficiente Coriolis), de acuerdo con su definición:

$$\alpha = \frac{1}{A}\int_A \frac{v^3}{V^3}\, dA \quad \textbf{(2.7)}$$

2.2.2.4 Ecuación de energía para un tubo de corriente [9]

La ecuación de energía puede escribirse de la siguiente forma:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{{V_1}^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{{V_2}^2}{2g} + \sum_1^2 h_f \quad \textbf{(2.8)}$$

$Z_{1,2}$: Carga de Posición.

$P_{1,2}/\rho g$: Carga de Presión.

$\alpha_{1,2}$: Coeficiente de Coriolis.

$V_{1,2}$: Velocidad media.

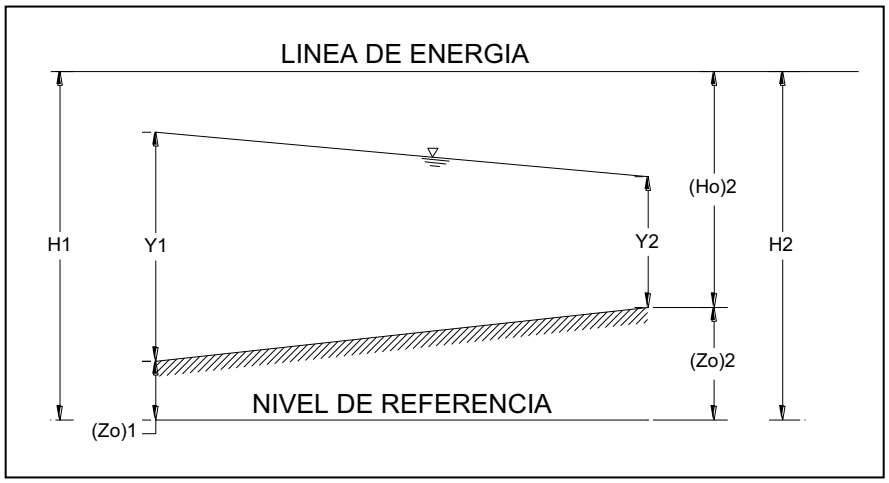
g : Aceleración de la gravedad.

$\sum_1^2 h_f$: Perdidas de energía entre los puntos 1 y 2

[9] Naudascher, Hidráulica de canales

La figura 2.3, representa el esquema de la ecuación de energía, tomando en cuenta los puntos 1 y 2 como puntos de control.

FIGURA 2.3 ESQUEMA DE FLUJO PARA LA ECUACIÓN DE ENERGÍA



FUENTE: HIDRÁULICA DE CANALES -NAUDASCHER.

La suma de estos tres términos (energía potencial, energía de presión y carga de velocidad) se conoce como la carga de energía, H. La ecuación de energía está dada de la siguiente forma:

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{V^2}{2g} = H \qquad \textbf{(2.9)}$$

H: Carga total de energía.

P/ρg: Carga de presión.

$\alpha_{1,2}$: Coeficiente de Coriolis.

$V_{1,2}$: Velocidad media.

g : Aceleración de la gravedad.

Es importante tomar en cuenta que si el valor de α (coeficiente de Coriolis) es diferente a 1, resulta del hecho de que, por lo general la velocidad no se distribuye uniformemente en una sección dada. Para velocidad constante α = 1 el valor de α es tanto mayor cuanto menos uniforme sea la distribución de velocidades.

2.2.2.5 Ecuación de energía para canales abiertos

Si las secciones transversales 1 y 2 están en zonas en donde la distribución de presiones es hidrostática se tiene que en cada sección $z + \frac{P}{\rho g} = constante$, para un canal abierto se tiene:

$$h = z + \frac{P}{\rho g} = z_0 + y \qquad \textbf{(2.10)}$$

h: Altura piezométrica.

P/ρg: Carga de presión.

z: Carga de posición.

y: Profundidad o tirante de agua.

z_o: Altura del fondo del canal.

Ecuación de energía para canales abiertos:

$$Z_o + y + \alpha \frac{V^2}{2g} = H \qquad \textbf{(2.11)}$$

Una magnitud importante en los canales es la denominada energía específica H_o, la cual a diferencia del valor H, representa la altura de la línea de energía con respecto al fondo del canal.

$$H_o = H - Z_o = y + \alpha \frac{V^2}{2g} = y + \alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Esta ecuación última es utilizada generalmente para la solución de problemas prácticos.

2.2.2.6 Ecuación de impulso[10]

La ecuación de impulso o de la cantidad de movimiento se deriva también de la ecuación de movimiento según Newton, para el elemento de masa, ver figura 2.2, dm = ρ ds dA. En este caso se expresa la ecuación de movimiento en forma vectorial.

[10] Naudascher, Hidráulica de canales

$$dF\ dt = \rho\ ds\ dA\ d(v) \quad \textbf{(2.13)}$$

El impulso que actúa sobre este elemento (termino de la izquierda de la ecuación) se iguala con el cambio correspondiente de la cantidad de movimiento (termino de la derecha). La ecuación de impulso para un canal abierto es la siguiente:

$$F = \rho Q(\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) \quad \textbf{(2.14)}$$

F: Fuerza resultante que actúa desde el exterior sobre el volumen de control considerado.

$\beta_{1,2}$: Coeficiente de corrección, de Boussinesq en 1 y 2.

Q: caudal.

$V_{1,2}$: velocidad media en 1 y 2.

El coeficiente β (coeficiente de Boussinesq) se acerca más al valor de 1, cuanto más uniforme sea la distribución de velocidades.

$$\beta = \frac{1}{A}\int_A \frac{v^2}{V^2}\ dA \quad \textbf{(2.15)}$$

Dado que la ecuación de impulso es una ecuación vectorial se puede descomponer la misma en cualquier dirección sea esta x, y, z.

2.2.2.7 Ecuación De Manning

Además de las ecuaciones antes descritas es importante mencionar la ecuación de Manning para el cálculo de canales que se utilizará en el capítulo IV (Calibración del modelo), para calcular el coeficiente de rugosidad (n de Manning) en el modelo, en base a los datos obtenidos de acuerdo a las mediciones realizadas en el laboratorio para diferentes caudales.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad \textbf{(2.16)}$$

V: Velocidad del Flujo.

n: Coeficiente de Manning.

Rh: Radio Hidráulico.

I: Pendiente.

$$n = \frac{1}{V} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad \textbf{(2.17)}$$

$$Rh = \frac{At}{Pm} \quad \textbf{(2.18)}$$

At: Área transversal.

Pm: Perímetro Mojado.

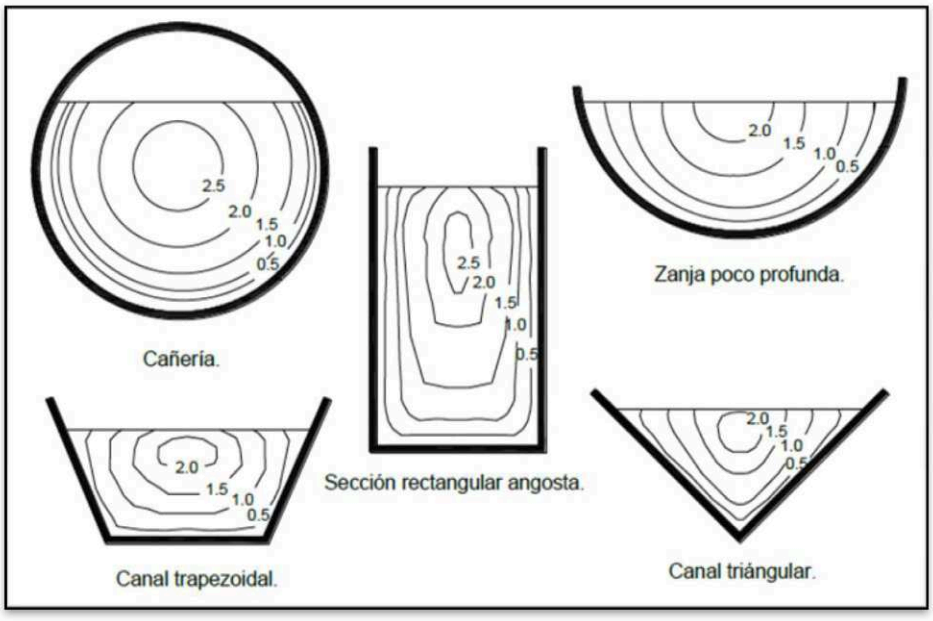
2.2.3 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN DE UN CANAL

Debido a la presencia de una superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en la sección transversal. La velocidad máxima medida en canales comunes, normalmente parece ocurrir debajo de la superficie libre del agua a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad y. La siguiente figura ilustra la configuración general de la distribución de velocidad en varias secciones de canales, en donde se observa que la velocidad va aumentando desde la frontera sólida hasta un punto situado en o por debajo de la superficie libre del agua coincidiendo con la mayor vertical de la sección trasversal o con su línea al centro en el caso de canales prismáticos.[11]

En la figura 2.4 se muestra la distribución de velocidades para diferentes secciones de canal con superficie libre, mediante la medición en el sitio de las velocidades en varios puntos del área hidráulica, y luego interpolando los valores en una curva que une los puntos de igual velocidad, semejante a una curva de nivel en el terreno, y que recibe el nombre de isotaca o isotaquia. Es importante aclarar que la medición de las velocidades se la realizo con el uso de un micro molinete.

[11] M. E. Guevara a., Flujo libre, Distribución de velocidad en la sección de un canal

FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES NO UNIFORME PARA DIFERENTES SECCIONES DE CANAL.



FUENTE: HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES -ARTURO ROCHA.

En los capítulos siguientes en las pruebas de calibración y pruebas con estructuras de regulación, se observara la concordancia de la distribución de velocidades para el canal del proyecto DAULE-VINCES.

2.2.4 CONDICIONES DE CONTROL PARA EL FLUJO EN CANALES

Las condiciones de control para el flujo en canales, como en cualquier otro fenómeno de la naturaleza, se requieren únicamente de los principios de propagación de ondas de perturbación de canales: cada acción sobre el flujo en un canal (como, por ejemplo, una compuerta, un estrechamiento del canal, un umbral) puede considerarse como una fuente de perturbación, desde la cual se propagan ondas. Si el flujo es estacionario, se genera entonces una superficie libre de agua que puede considerarse como el resultado final de esas perturbaciones (esto es, como una onda permanente).

Las condiciones de control pueden ser, en consecuencia, formuladas como sigue:

El flujo sub-crítico $y > y_c$ o bien, $V < V_c$ $\Longrightarrow$ Está controlado desde aguas abajo.

El flujo súper-crítico $y < y_c$ o bien, $V > V_c$ $\Longrightarrow$ Está controlado desde aguas arriba.[12]

2.3 MODELOS DE CANALES A FONDO FIJO

2.3.1 OBJETIVOS DE LA MODELACIÓN FÍSICA

El fin principal de la modelación física es representar los fenómenos ocurridos en el modelo y su correcta interpretación a prototipo, mediante la construcción de un modelo físico reducido, para esto es importante la selección de escalas adecuadas que permitan observar y determinara tanto cualitativa y cuantitativamente los fenómenos presentados en el mismo.

2.3.2 MODELOS HIDRÁULICOS A SUPERFICIE LIBRE

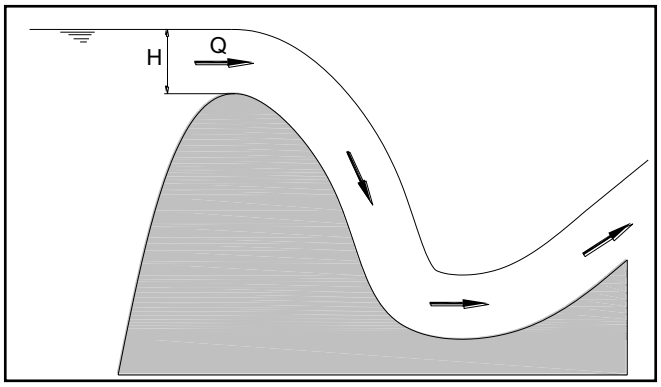
Del análisis de las similitudes particulares y de los correspondientes campos de aplicación se puede concluir que los fenómenos hidráulicos que se presentan en el campo de la ingeniería en su mayoría corresponden a fenómenos con superficie libre y por lo tanto la fuerza que en ellos es predominante es primordialmente la fuerza de la gravedad, obviamente a más de la inercial.

Por lo tanto, la modelación de estructuras hidráulicas con movimiento de agua a superficie libre debe observar la SIMILITUD PARTICULAR DE FROUDE o simplemente SIMILITUD DE FROUDE.

La superficie libre en cuya parte superior limita un liquido, ver figura 2.5, se caracteriza por tener presión constante, normalmente la atmosférica. En este tipo de flujo el agente motor primordial es la gravedad y de allí que claramente el numero de Froude sea de importancia.

[12] HIDRÁULICA DE CANALES, NAUDASCHER, 2001

FIGURA 2.5 PERFIL DEL FLUJO A SUPERFICIE LIBRE



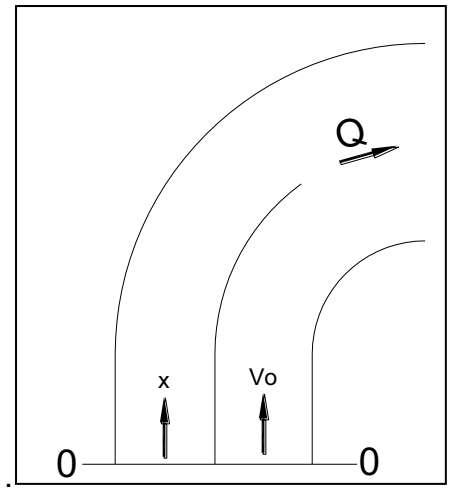
ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

2.4 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE MODELOS DE CANALES

Se trata de un escurrimiento permanentemente variado en un canal no prismático, las variables q intervienen son:

- Las propiedades del fluido: ρ, μ, g.
- Una dirección lineal característica L: como el canal es no prismático y el flujo es variado, ella deberá definirse en una sección fija 0-0, ver figura 2.6. Sea esta longitud L_o. ella puede ser, según los casos, el radio hidráulico R_o, la profundidad y_o o aun otra

FIGURA 2.6 SECCIÓN FIJA



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA.

- La rugosidad k_s del contorno.
- El gasto Q: el puede ser reemplazado por la velocidad media v_o en la sección típica 0-0.
- La pendiente S del fondo: como el canal es no prismático, ella puede ser no constante y habrá que definirla como un valor típico S_o.

Se tendrá entonces el conjunto de parámetros siguientes:

$$\rho, \mu, g, L_o, k_s, v_o, S_o$$

2.5 SIMILITUD DINÁMICA RESTRINGIDA Y CRITERIO DE SIMILITUD DE FROUDE

En la actualidad el número de problemas de hidráulica de canales abiertos que pueden solucionarse adecuadamente mediante técnicas analíticas, es muy limitado, la mayor parte de estos [problemas deben ser solucionados con una combinación de técnicas numéricas y físicas, medidas de campo y modela físico.

La similitud de flujo de un modelo físico a escala reducida exige que se cumplan las siguientes similitudes: geométrica, cinemática y dinámica. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es común que, en un modelo reducido, no se puedan cumplir en forma simultánea con la similitud dinámica de todas las fuerzas que intervienen. Por lo tanto, la similitud en el modelo se restringe únicamente a las fuerzas dominantes, a esto es a lo que se conoce como similitud dinámica restringida.

Es inevitable, sin embargo, la existencia de fenómenos de importancia secundaria que en el modelo no pueden ser simulados en forma exacta. Esta aparente limitación en la técnica de modelación hidráulica se conoce como: “efectos de escala”, y marca diferencias entre los resultados de modelo con el comportamiento real de prototipo. El análisis de los efectos de escala es de igual manera parte importante en la realización de los ensayos experimentales en laboratorio.

2.5.1 LEYES DE MODELACIÓN SEGÚN FROUDE

El número de Froude tiene importancia en flujos con velocidades grandes que ocurren por acción exclusiva de la gravedad; tal es el caso del flujo turbulento a superficie libre, donde los efectos viscosos son despreciables. A medida que aumenta el número de Froude, mayor es la relación inercial de cualquier fuerza; en

tanto disminuye, mayor es el efecto de la fuerza gravitacional. Cuando el flujo es horizontal, la acción del peso desaparece y con ella la influencia del número de Froude.

En este caso debe verificarse la relación entre el número de Froude en prototipo y modelo es decir:

$$Fr_p = Fr_m \quad \textbf{(2.19)}$$

Fr_p : Número de Froude en prototipo.

Fr_m : Número de Froude en modelo.

El parámetro a tomar en cuenta para la definición del tipo de modelo con el que se trabajara es el denominado número de Froude, y en general se representa como la raíz cuadrada de la relación de fuerzas, es decir:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gl}} \quad \textbf{(2.20)}$$

Fr: Numero de Froude.

V: Velocidad media.

g : Gravedad.

l : Longitud característica.

Existen también tipos de modelos que hacen referencia a otros factores a tomar en cuenta, como por ejemplo: el número de Euler, para fenómenos donde son predominantes los cambios de presión; numero de Reynolds, para aquellos flujos a poca velocidad donde las fuerzas viscosas son las más importantes; finalmente, en aquellos problemas de flujo no permanente en los que la periodicidad del fenómeno es importante, el número llamado de Strouhal caracteriza su acción.

2.6 FACTORES DE SIMILITUD

En los fluidos sujetos al efecto de la gravead (flujo a superficie libre) debe asegurarse que junto a la semejanza geométrica también el numero de Froude sea igual en modelo y prototipo.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gl}} = 1 \qquad \textbf{(2.21)}$$

De esto se obtiene la escala para la velocidad con g=1

$$V_p = \left(gL_p\right)^{\frac{1}{2}} = \lambda^{\frac{1}{2}} \qquad \textbf{(2.22)}$$

Con esta relación resultan las siguientes leyes e trasposición de magnitudes o escala de magnitudes, según el criterio de similitud de Froude:

2.6.1 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE LONGITUD:

$$L_m = \frac{L_p}{\lambda} \qquad \textbf{(2.23)}$$

L_p: Longitud en prototipo.

L_m: Longitud en modelo.

λ : Factor de escala.

2.6.2 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE VELOCIDAD:

$$V_m = \frac{V_p}{\lambda^{\frac{1}{2}}} \qquad \textbf{(2.24)}$$

V_p: Velocidad en prototipo.

V_m: Velocidad en modelo.

λ: Factor de escala.

2.6.3 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE CAUDAL:

$$Q_m = \frac{Q_p}{\lambda^{\frac{5}{2}}} \qquad \textbf{(2.25)}$$

Q_p: Caudal en prototipo.

Q_m: Velocidad en modelo.

λ: Factor de escala.

2.6.4 ECUACIÓN DE SIMILITUD DE RUGOSIDAD:

$$n_{prototipo} = n_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{6}} \quad \textbf{(2.26)}$$

n_{modelo}: n Manning en modelo.

$N_{prototipo}$: n Manning en prototipo.

λ: Factor de escala.

Para el caso del modelo del TRASVASE DAULE-VINCES, se trata de un modelo hidráulico a superficie libre con fondo fijo, el cual trabaja por acción de la gravedad, por lo tanto el factor a tomar en cuenta es el numero de Froude.

2.7 CONDICIONES DE SIMILITUD

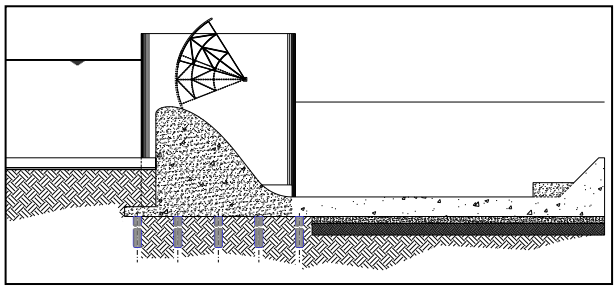
Es posible simular el funcionamiento de una estructura, de un mecanismo o, aún más en general de una estructura llamada prototipo, a través de la construcción de un sistema más pequeño, llamado modelo reducido o simplemente modelo. Esta condición permite decir que los fenómenos en el modelo son similares o están en similitud con los del prototipo. Es importante formular un método cuantitativo que permita determinar los parámetros a investigar de modelo a prototipo y viceversa.

2.7.1 SIMILITUD GEOMÉTRICA

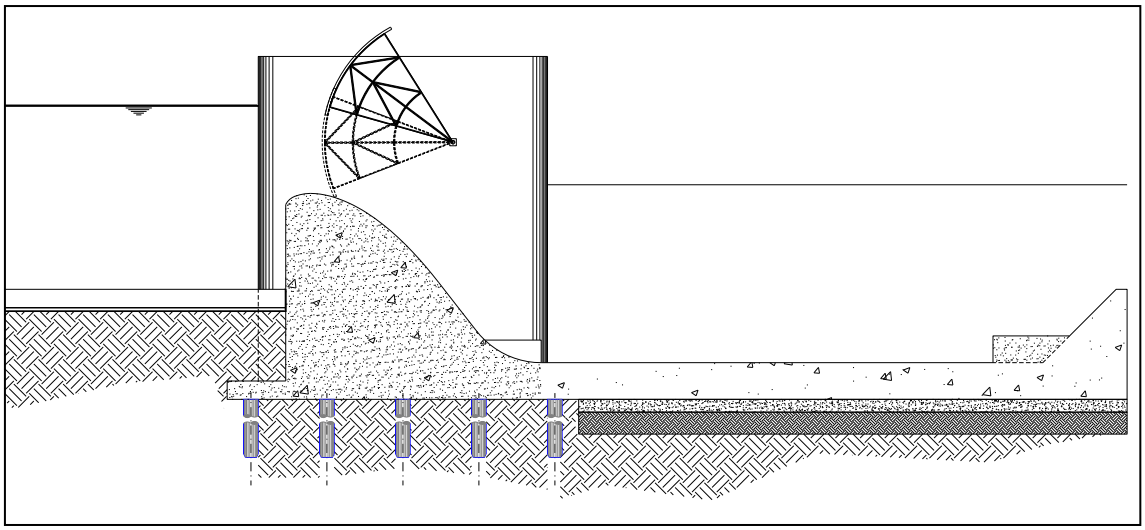
Considerando dos flujos, como los mostrados en la figura 2.7, que se designan como modelo y prototipo. Mientras que el primero tiene, en general, dimensiones menores que el segundo y es el que se reproduce en el laboratorio, el segundo representa la estructura real a construir.

La similitud geométrica implica, de modo estricto, que sea igual la relación de todas las longitudes homologas en los dos sistemas, además se designa con p al prototipo y m al modelo, la similitud geométrica significa que la relación entre las dimensiones del prototipo y modelo están relacionadas por un factor de escala.

FIGURA 2.7 REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LAS ESTRUCTURA EN MODELO(A), Y PROTOTIPO (B).



a) Estructura a construirse en el laboratorio.



b) Estructura real a construirse.

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

2.7.2 SIMILITUD CINEMÁTICA Y DINÁMICA

La similitud cinemática entre dos sistemas de flujo se interpreta como la semejanza geométrica entre las líneas de corriente de ambos flujos, sin distorsión o con ella. La similitud dinámica implica que haya similitud geométrica, además de que sea la misma relación de las fuerzas dinámicas en puntos homólogos.

En la similitud dinámica, al igual que en la similitud geométrica, existen escalas de velocidades, de fuerzas, tiempos, densidades, viscosidades, etcétera, que miden la relación entre las características de los flujos o propiedades de los fluidos utilizados en los mismos y referidos a dos puntos homólogos. La similitud dinámica implica que las propiedades de los fluidos tanto en prototipo y modelo obedezcan a una escala determinada.

2.8 LIMITACIONES DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

2.8.1 RESTRICCIÓN EXTERNA

Espacio del laboratorio, capacidad de las bombas.

2.8.2 EFECTOS DE REYNOLDS

Escala mínima necesaria, para que en los modelos según Froude la corriente permanezca en la zona rugosa ($Re_m<Re_p$), en el prototipo y en modelo.

Existen además otras limitaciones en los modelos físicos como son: tensión superficial, limitaciones por distorsión del modelo, compresibilidad, cavitación, que no se toman en cuenta en la elaboración de este modelo ya que no son de importancia en el mismo.

2.8.3 OTROS CONSIDERACIONES

En la teoría de modelos, el diseño de un modelo a escala reducido está terminado una vez que las diferentes escalas se han calculado. En la realidad esto no es así, ya que deberían tomarse en cuenta otros factores adicionales que son importantes y, a veces, decisivos. A continuación se menciones algunos de ellos.

- Tamaño del modelo en el laboratorio (disponibilidad de espacio).
- Capacidad de flujo (bombas).
- Presiones disponibles.
- Material que se puede conseguir.
- Calificación de los recursos humanos disponibles, lo último, pero lo más importante.

En general los factores que se han enumerado inducirán a construir modelos muy pequeños; pero, además de las leyes de similitud limitan el tamaño mínimo, existe

una limitante practica: un modelo demasiado reducido puede resultar, al límite, imposible de instrumentar, operar incluso construir.

Una vez establecidas las condiciones de similitud entre prototipo y modelo se procederá a determinar los factores a tomarse en cuenta para la construcción del modelo en el laboratorio (CAPITULO 3-CONSTRUCCIÓN DE MODELO).

CAPITULO 3

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

3.1 SELECCIÓN DE LA ESCALA GEOMÉTRICA DEL MODELO

Para la modelación física es primordial la selección de la escala geométrica, para lo cual se toma en cuenta varios factores que darán el punto de partida.

Se tomo en cuenta como factores de importancia y decisivo la disponibilidad de espacio y la capacidad de caudal de las bombas de el laboratorio CIERHI. Se escogió la escala 1:60 para la modelación física a escala reducida no distorsionado con similitud de Froude y de fondo fijo.

En el cuadro 3.1, se presenta en forma resumida una comparación de las principales características del modelo para las escalas 1:50, 1:60: 1:70

CUADRO 3.1 ESCALAS DE SELECCIÓN DEL MODELO

Magnitud Característica	Prototipo	Modelo		
		Escala de Froude		
		1:50	1:60	1:70
Longitudes	**(m)**	**(m)**	**(m)**	**(m)**
Longitud Max	1320	26.40	22.00	18.86
Ancho Canal	100	2.00	1.67	1.43
Calado Max	9.64	0.19	0.16	0.14
Ancho de Pilas	1.6	0.032	0.027	0.023
Altura del Azud	9.23	0.18	0.15	0.13
Compuerta Radial				
Ancho	8	0.16	0.13	0.11
Alto	5.97	0.12	0.10	0.09
Radio	7.16	0.14	0.12	0.10
Ancho Compuertas	9.9	0.20	0.17	0.14

CUADRO 3.1 CONTINUACIÓN

Caudales	**(m3/seg)**	**(Lts/seg)**	**(Lts/seg)**	**(Lts/seg)**
Caudal Tr100	1612	91.19	57.81	39.32
Caudal Tr5	977	55.27	35.04	23.83
Caudal Diseño Vertedero	350	19.79	12.55	8.53
Velocidades	**(m/seg)**	**(m/seg)**	**(m/seg)**	**(m/seg)**
Velocidad Max	1.39	0.20	0.18	0.17
Velocidad Min	1.17	0.17	0.15	0.14
Rugosidad "n" Manning				
Rugosidad canal natural	0.03	0.0156	0.0152	0.0148

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

3.1.1 ANÁLISIS DE LAS ESCALAS

Con el tamaño definido en la escala de Froude se procede a analizar las otras características del modelo (rugosidad, pendiente, etc.) así como el valor de las escalas de las que dependen estas variables.

Tomando en cuenta todas la variables se eligió la escala 1:60 para la construcción del modelo por conveniencia en la implantación física del mismo en laboratorio, en el CAPITULO 10 (ANEXO PLANOS), se presentan los planos de construcción con los que se contruyo el modelo en el laboratorio del CIERHI-EPN, ver planos:

NOMBRE DE PLANO	**CÓDIGO**
ESTRUCTURAS DE CIERRE EN MODELO	PT-TDV-02
ESTRUCTURA DE BOCA-TOMA EN MODELO PLANTA	PT-TDV-03
ESTRUCTURA DE BOCA-TOMA EN MODELO CORTE	PT-TDV-04

3.2 RUGOSIDAD

De acuerdo a la información provista por ACT el valor de "n" de Manning utilizado en los distintos diseños realizados por los consultores, este valor es igual a 0.030.

3.3 CONSTRUCCIÓN

3.3.1 REPLANTEO Y TRAZADO.

Una vez establecida la escala de similitud adecuada el siguiente paso es la construcción del modelo, se procederá con el replanteo y trazado, se realizo con equipo topográfico (estación total) de acuerdo con la implantación del modelo en laboratorio CIERHI, además los planos que muestran el corte longitudinal del modelo que muestra los niveles de construcción, ver CAPITULO 10 (ANEXOS PLANOS):

NOMBRE DE PLANO	**CÓDIGO**
IMPLANTACIÓN EN MODELO SIN ESTRUCTURAS	PT-TDV-05
IMPLANTACIÓN EN MODELO CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-06
CORTE LONGITUDINAL SIN ESTRUCTURAS	PT-TDV-07
CORTE LONGITUDINAL CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-08

3.3.2 MAMPOSTERÍA DE SOPORTE

Son muros verticales continuos que sirven de soporte a la plataforma de madera y por consiguiente al canal del modelo y demás estructuras. Los muros están compuestos por unidades de bloques alivianados prensados de hormigón, ligados artesanalmente mediante mortero. Se colocaron riostras armadas con varilla ϕ 12 de 15 x 5 cm. de sección en la parte superior de la mampostería que garantizan el soporte del canal. Como se puede observar en el fotografía 3.1

FOTOGRAFÍA 3.1 Mampostería de soporte y riostras para la mesa del canal de rectificación.

3.3.3 PLATAFORMA DE MADERA.

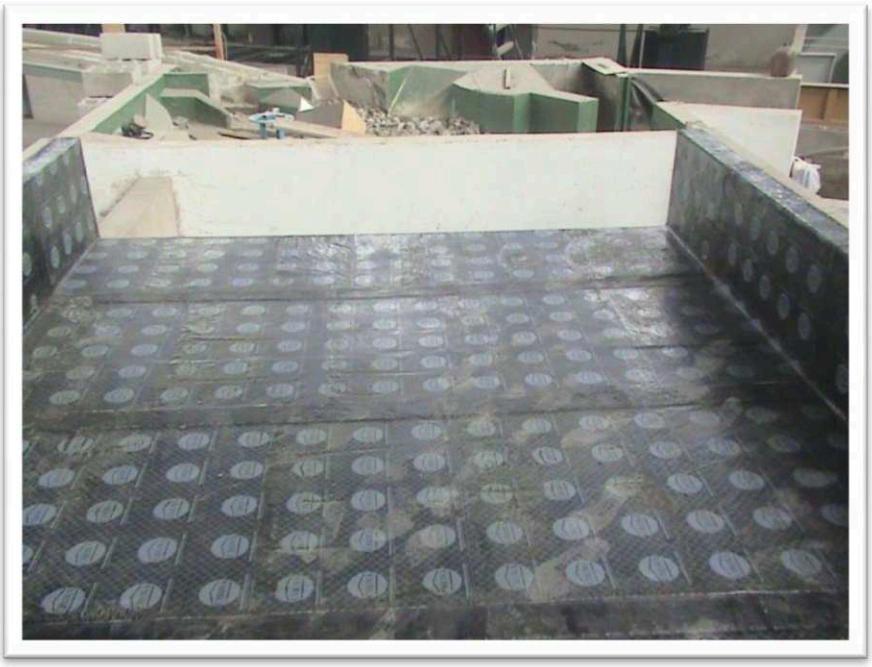
Se colocó una estructura de madera compuesta por alfajías de 8x6 cm. Que sirve de soporte para la plataforma conformada por tableros de madera triplex de 2.44x1.22x0.2 cm unidos mediante tornillos de sujeción. Como se puede observar en la fotografía 3.2.

FOTOGRAFÍA 3.2 Alfajías y plataforma de madera.

3.3.4 MAMPOSTERÍA DEL CANAL E IMPERMEABILIZACIÓN.

Son muros verticales continuos en los cuales se construyó el canal del modelo y demás estructuras. Los muros están compuestos por unidades de bloques alivianados prensados de hormigón, ligados artesanalmente mediante mortero.

La impermeabilización se realizo a base de una membrana impermeable (CHOVA) la cual fue colocada mediante un proceso de calentamiento de la membrana y adicionalmente adherida con pegamento especial (POLIBREA) en las paredes y base de la plataforma donde se ubico el canal. Como se puede observar en la fotografía 3.3.



FOTOGRAFÍA 3.3 Mampostería e impermeabilización (CHOVA) del canal.

3.3.5 ELABORACIÓN DEL CANAL Y TOPOGRAFÍA DE ENTRADA Y SALIDA.

El Canal construido tiene como dimensiones, ancho de la base del Canal 100 m equivalentes a 1.66 m en modelo, Pendiente de los taludes 2:1 que se mantuvo en la construcción del modelo, Longitud del Canal 1320 m equivalentes a 22 m en modelo. Además se simulo la topografía del rio Daule al inicio del canal representando en la realidad a 75 m de la topografía del rio Daule y al final del canal están representados 100 m de la topografía del rio Daule, mediante perfiles transversales levantados en campo proporcionados por la consultora ACT, ver fotografía 3.4y 3.5.

Todas las equivalencias se obtuvieron del cuadro 3.1 descrito en páginas anteriores.

El canal principal fue construido en terro-cemento con una relación cemento/tierra=1/4. Para asegurar un correcto acabado, como se lo puede observar en la fotografía 3.4, también se tomó en cuenta este material de construcción pues su rugosidad “n” = 0.015 [13] (para canales de hormigón con acabado regular), está en el rango necesario para simular correctamente el “n” de Manning Prototipo = 0.030.

[13] Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos

En la salida del canal se coloco una clapeta de regulación de caudales, la misma que controla el nivel de la superficie libre del agua, ver fotografía. 3.6.

FOTOGRAFÍA 3.4 Perfiles transversales topografía del Rio Daule.

FOTOGRAFÍA 3.5 Relleno de Terro – cemento canal de restitución.

FOTOGRAFÍA 3.6 Clapeta de regulación de caudales.

La fotografía 3.7 muestra el modelo construido en laboratorio CIERHI, sin las estructuras de regulación. En el capítulo 4 (CALIBRACIÓN DE MODELO), se realizaran las pruebas correspondientes para verificar el correcto funcionamiento de este, y nos permita verificar el coeficiente de rugosidad (n de Manning), para el modelo.

FOTOGRAFÍA 3.7 Canal de modelo terminado en el laboratorio CIERHI .

3.3.6 ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE ESTRUCTURAS DE REGULACIÓN

Con relación a las obras hidráulicas tanto de regulación como de obra de toma, se escalaron los planos proporcionados por la consultora ACT, en donde se

encontraron los detalles de cada una de las obras, y con esta información técnica se construyeron las estructuras de regulación.

El material escogido para la construcción de los vertederos, fue acrílico debido a la facilidad que tiene este material para obtener la forma necesaria, además que su rugosidad provee el coeficiente necesario para simular correctamente esta estructura.

En cuanto a las pilas tanto para el vertedero como para las compuertas radiales y stop log, se las moldeo en madera para asegurar un correcto acabado.

Las compuertas de la estructura de cierre stop log, se las realizo con acrílico de 6 mm, por facilidad de manipulación al momento de realizar las pruebas, ya que en el prototipo estas están conformadas por partes de 0.4 metros de altura y 0.60 metros de profundidad, con 9 vanos de 11.50 meros cada uno entre los ejes de las pilas o columnas, cuyo ancho es de 1.6 m de ancho, y simular este no tiene importancia en el modelo físico, por lo que se construyeron compuertas de un solo cuerpo, ver fotografía 3.8.

FOTOGRAFÍA 3.8 Vertederos y compuertas implantadas en el canal

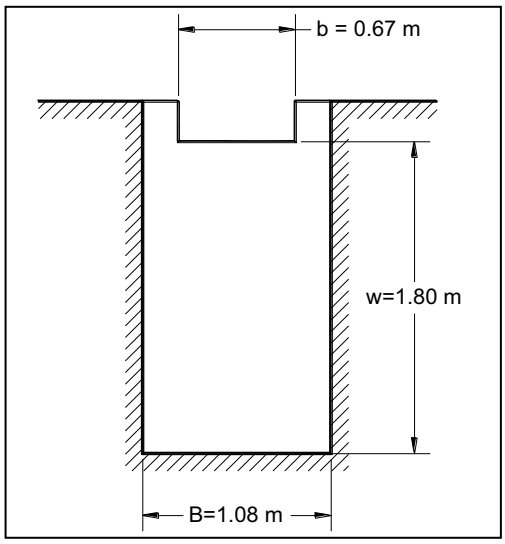
3.3.7 ESTRUCTURAS DE ALIMENTACIÓN

Esta estructura está concebida con la finalidad de proveer el caudal necesario al modelo, por lo cual posee, Tanques de disipación, Vertedero de medición de Caudales, Descarga al tanque de distribución de flujo, Pantallas de Uniformización de flujo.

3.3.7.1 Vertedero Rectangular Para Ingreso De Caudal

Se ubica a la salida del tanque alimentación, su función es regular los caudales de ingreso a modelarse en el canal de rectificación. Se trata de un vertedero rectangular de cresta delgada, sus dimensiones son: w=1.80 m, b=0.67 m, B=1.08 m ver figura 3.1, está construido en madera, sujeto con pernos en sus extremos a las paredes y revestido con pintura para evitar su deterioro.

FIGURA 3.1 DIMENSIONES VERTEDERO RECTANGULAR DE ALIMENTACIÓN.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

3.3.7.2 Tanque De Entrada

El tanque de disipación posee una altura de 1.70 m y un Volumen de 8.65 m^3, en el cual gracias a la pantalla ubicada dentro de este se asegura una correcta disipación de la carga de velocidad del flujo a la salida de las tuberías de alimentación, como se puede observar en la fotografía 3.9.

FOTOGRAFÍA 3.9 Salida del flujo por de las tuberías

Para la uniformización de la entrada se utilizó una pantalla perforada con orificios de 2.54 cm de diámetro espaciados entre sí una distancia de 5.00 cm para asegurar una correcta uniformización del caudal en la entrada del modelo, ver fotografía 3.10

FOTOGRAFÍA 3.10 Pantalla de Madera para uniformizar el flujo y pantalla con orificios para asegurar una correcta distribución del flujo en el modelo.

3.3.8 ESTRUCTURAS DE CONTROL DE SALIDA DE CAUDALES

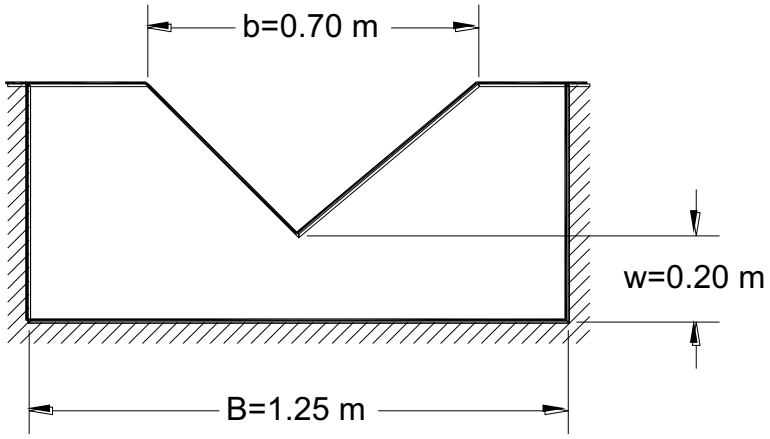
Está concebido como un canal rectangular de 1.25 m de ancho por 0.60 m de alto que en su parte final posee un vertedero triangular con el objetivo de verificar los caudales que transitan por el modelo.

3.3.8.1 Vertedero Triangular Para Salida De Caudal

Se trata de un vertedero triangular de cresta delgada, sus dimensiones son: w=0.20 m, b=0.70 m, B=1.25 m ver figura 3.2. Se ubica al final del canal rectangular de salida, el objetivo de este es comprobar el que el caudal de ingreso sea igual al caudal de salida, está construido en madera, sujeto con pernos en sus extremos a las paredes y revestido con pintura para evitar su deterioro, ver fotografía 3.11.

FOTOGRAFÍA 3.11 Vertedero Triangular ubicado a la salida del canal encargado de restituir el agua

FIGURA 3.2 DIMENSIONES VERTEDERO TRIANGULAR DE SALIDA.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

En el capítulo 4(CALIBRACIÓN DE MODELO), se presentan las curvas de descarga correspondientes para los vertederos de entrada y de salida, así también las ecuaciones seleccionadas para el cálculo de las respectivas curvas.

3.4 CONCLUSIONES

- Es importante que en la construcción de un modelo físico reducido, se tenga cuidado en el dimensionamiento, ya que estas son pequeñas comparadas con el prototipo, por lo que requiere de un trabajo de ingeniería bastante exacto, y de esto dependerá el mejor funcionamiento del modelo.

- La selección de los materiales para la simulación de la rugosidad, es importante ya que este es el aspecto físico primordial en la calibración del modelo, en el capitulo siguiente se verificara que el material seleccionado (terro-cemento), cumpla con la condición de similitud para el modelo.

- Antes de la elaboración y construcción de los vertederos, se debe realizar el dimensionamiento de estos, tomando en cuenta los caudales con los que se van a realizar los ensayos.

- Es importante al momento de construir un modelo, minimizar las pérdidas que se produzcan por filtraciones, ya que estas pueden significar un factor importante al momento de verificar los caudales que transitan por el modelo.

CAPITULO 4

CALIBRACIÓN

4.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo consiste en determinar parámetros físicos, hidráulicos necesarios que permitan que el modelo sea lo más semejante al prototipo, ya que de esto depende una mejor interpretación de resultados entre los dos.

En función del coeficiente de resistencia del prototipo (n_p) y de la escala de geometría (λ) seleccionada se define el coeficiente de resistencia del modelo (n_m), que debe tener y que permite seleccionar el material de construcción del modelo para que su acabado responda al coeficiente de resistencia calculado.

En la fase de calibración del modelo en función de los calados (d) y velocidades (V) para los caudales característicos (Q) medidos se comparan con los valores correspondientes a los del prototipo calculados de tal manera que:

Para una descarga constante Qi=const.

a) Velocidad modelo medida < Velocidad prototipo calculada
   Calados modelo medidos > Calados prototipo calculados

EL MODELO ES MÁS
RUGOSO

b) Velocidad modelo medida > Velocidad prototipo calculada
   Calados modelo medidos < Calados prototipo calculados

EL MODELO ES
MÁS LISO

Las situaciones (a) y (b) obligan a corregir la rugosidad del modelo, sea alisando o incrementando físicamente la rugosidad absoluta respectivamente, hasta que el

modelo alcance la rugosidad establecida por la ecuación de similitud, situación que define la condición de calibración del modelo.

Es necesario complementar el análisis y verificaciones necesarias adicionales para establecer que el modelo alcance en lo posible a ser dinámicamente semejante al prototipo que es el objetivo central de la fase de calibración[14].

4.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN

El proceso de calibración se realizo mediante la modelación numérica en el programa H-CANALES para una sección trapezoidal regular con coeficiente de rugosidad "n" y pendientes conocidos, para los diferentes caudales.

En el cuadro 4.1 se detallan los caudales utilizados para la calibración del modelo, se utilizaron tres caudales acordados con ACT.

CUADRO 4.1 CAUDALES SEGÚN PERIODO DE RETORNO

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	Q PROTOTIPO (m3/s)	Q MODELO (lt/s)
2	737	26.43
10	1143	40.99
100	1612	57.81

FUENTE: INFORME DE FACTIBILIDAD, ACT, OCTUBRE 2010

4.3 MODELACIÓN NUMÉRICA

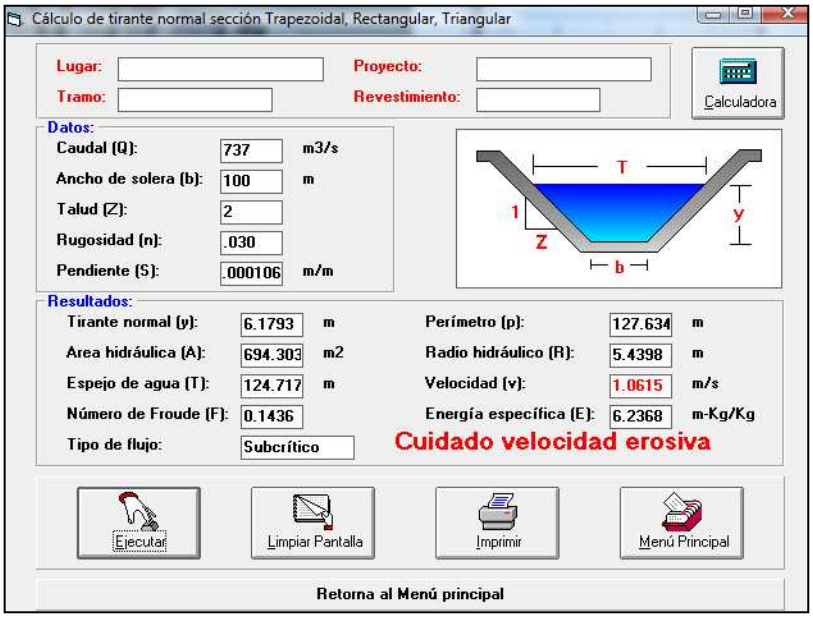
Se calcularon los valores de: Tirante normal y Velocidad para prototipo mediante el programa H-CANALES, estos valores fueron trasformados a modelo y se comprobó estas condiciones de flujo en la etapa de calibración, con el fin de verificar el funcionamiento del modelo en condiciones normales; independientemente de las condiciones de frontera que se tiene de la curva de descarga del rio, condiciones que serán tomadas en cuenta en las etapas siguientes.

Las figuras 4.1 a 4. 3, muestran los valores calculados de los parámetros hidráulicos necesarios para la calibración, para los caudales antes mencionados.

[14] Hidalgo m., Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas

4.3.1 CAUDAL 737 m^3/s

FIGURA 4.1 CALCULO DE VARIABLES CAUDAL 737 m^3/seg (H-CANALES)



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

CUADRO 4.2 VELOCIDAD, Y CALADO PARA CAUDAL 737 m^3/seg, PROTOTIPO Y MODELO

PROTOTIPO		
V =	1.06	m/seg
h normal =	6.18	m

MODELO		
V =	0.14	m/seg
h normal =	0.10	m

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para determinar los valores que se utilizaran en el proceso de calibración del modelo, se utilizara las ecuaciones de similitud de velocidad y de longitud.

$$V_{prototipo} = V_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{modelo} = \frac{V_{prototipo}}{\lambda^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{modelo} = \frac{1.06}{60^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{modelo} = 0.14 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El valor de V_{modelo}= 0.14 m/seg, representa el valor cercano a medirse en el modelo.

$$L_{modelo} = \frac{L_{prototipo}}{\lambda} \ [m]$$

$$L_{modelo} = \frac{6.18}{60} \ [m]$$

$$L_{modelo} = 0.10 \ [m]$$

El valor de L_{modelo}=0.10 m, representa el valor a medirse con la compuerta de regulación colocada a la salida del canal de rectificación en el modelo físico.

4.3.2 CAUDAL 1143 m^3/s

FIGURA 4.2 CALCULO DE VARIABLES CAUDAL 1143 m^3/seg (H-CANALES)

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

CUADRO 4.3 VELOCIDAD, Y CALADO PARA CAUDAL 1143 m^3/seg, PROTOTIPO Y MODELO

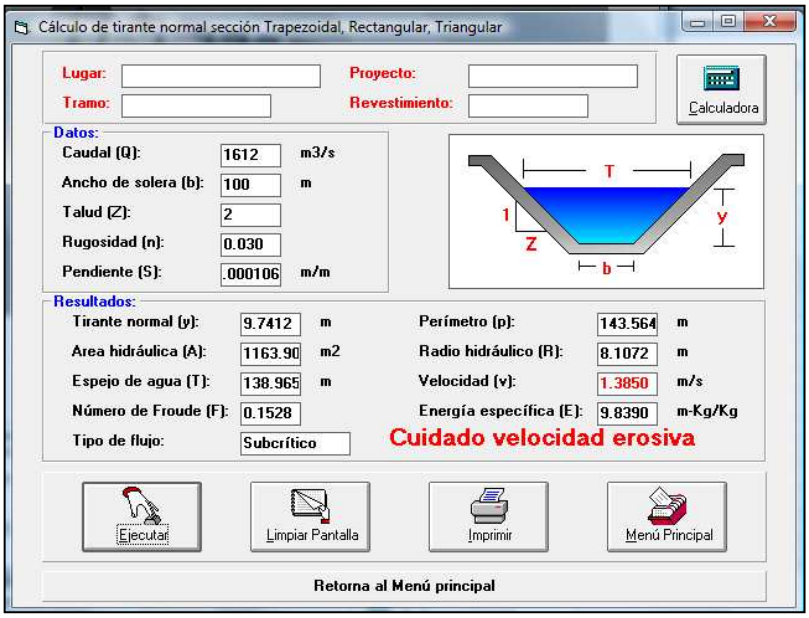
PROTOTIPO		
V =	1.23	m/seg
h normal =	7.98	m

MODELO		
V =	0.16	m/seg
h normal =	0.13	m

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

4.3.3 CAUDAL 1612 m^3/s

FIGURA 4.3 CALCULO DE VARIABLES Q=1612 m^3/s (H-CANALES)



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

CUADRO 4.4 VELOCIDAD, Y CALADO PARA CAUDAL 1616 m^3/seg, PROTOTIPO Y MODELO

PROTOTIPO		
V =	1.39	m/seg
h normal =	9.74	m

MODELO		
V =	0.18	m/seg
h normal =	0.16	m

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

4.4 INSTRUMENTACIÓN

4.4.1 VERTEDEROS DE MEDICIÓN

La medición de los caudales que van a ingresar al modelo se realiza por medio de vertederos estándares de pared delgada, calibrados y verificados mediante aforos volumétricos, La carga sobre los vertederos se mide mediante limnímetros con precisión de 0.1 mm.

4.4.1.1 Vertedero rectangular de alimentación.

Utilizando la ecuación teórica de Rehbock[15], se obtuvo la curva de descarga de este vertedero, que a su vez se ha comprobado con el vertedero triangular ubicado aguas abajo en la salida del canal de restitución.

$$u = \left[0.6035 + 0.0813 * \left(\frac{\mathrm{H}+0.0011}{\mathrm{W}}\right)\right] * \left[1 + \frac{0.0011}{\mathrm{H}}\right]^{\frac{3}{2}} \quad \textbf{(4.1)}$$

$$C = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * u \quad \textbf{(4.2)}$$

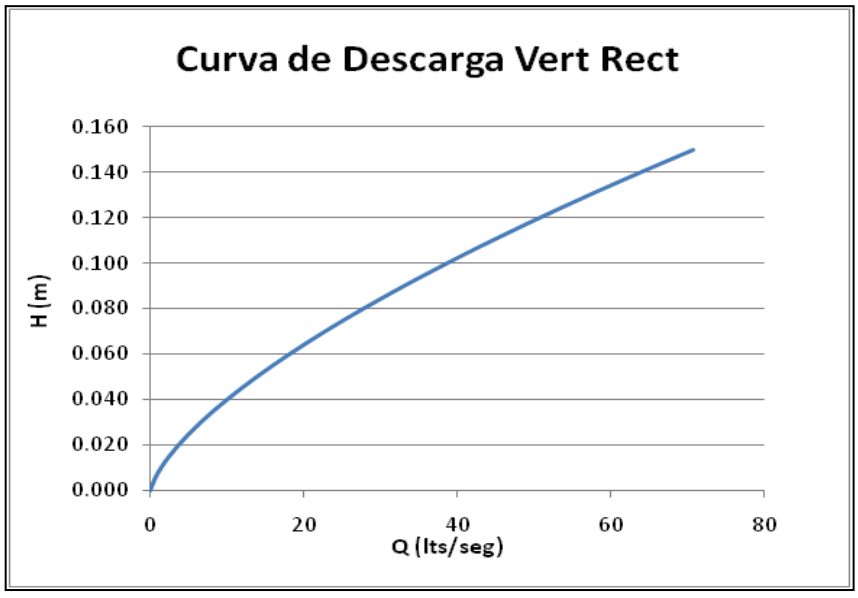
$$Q = Cbh^{3/2} \quad \textbf{(4.3)}$$

Rangos de validez de la ecuación:

0.01 m ≤ h ≤ 0.80 m; b ≥ 0.30 m; w ≥ 0.06 m; h/w ≤ 1.00

La hoja de datos con la que se realizo la figura 4.4 se encuentra en los Anexos Tabla N# 10.1

FIGURA 4.4 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO RECTANGULAR PARA EL INGRESO DE CAUDAL



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

La fotografía 4.1 muestra el vertedero rectangular, ubicado a la entrada del canal de rectificación, que mide el caudal que ingresa al mismo, en el que se ubica un

[15] Sotelo, Hidráulica General

limnímetro que mide la carga de agua sobre el vertedero, controlado por la curva de descarga figura 4.4.

FOTOGRAFÍA 4.1 Vertedero Rectangular estándar de pared delgada.

4.4.1.2 Vertedero Triangular De Salida

Utilizando la ecuación teórica de Hégly[16], se obtuvo la curva de descarga de este vertedero.

$$u = \left[0.5812 + \left(\frac{0.00375}{h}\right)\right] * \left[1 + \frac{h^2}{(B*(h+w))}\right]^2 \quad \textbf{(4.4)}$$

$$Q_R = \frac{8}{15} C_D \sqrt{2g} tan\frac{\theta}{2} H^{5/2} \quad \textbf{(4.5)}$$

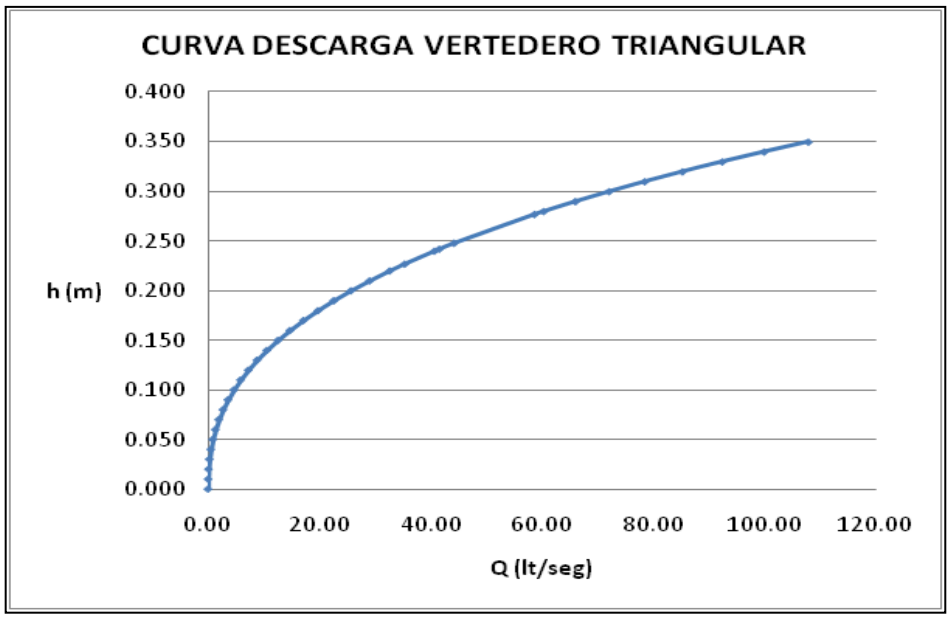
Rangos de validez de la ecuación:

Para θ=90°; 0.10 m ≤ h ≤ 0.50 m y profundidades w pequeñas.

La figura 4.5 representa la curva de descarga del vertedero ubicado a la salida del canal de rectificación, que permite verificar el caudal que sale por el mismo, la tabla de datos para la elaboración de esta curva se encuentra en el CAPITULO ANEXOS, (ver Anexo).

[16] Sotelo, G. ,Hidráulica General

FIGURA 4.5 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO TRIANGULAR PARA SALIDA DEL CAUDAL



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

La fotografía 4.2 muestra el vertedero triangular de restitución, ubicado a la salida del canal de rectificación, que mide el caudal a la salida del mismo, en el que se ubica un limnímetro que permite medir la carga de agua sobre el vertedero, controlado con la curva de descarga figura 4.5

FOTOGRAFÍA 4.2 Vertedero triangular estándar de pared delgada ubicado a la salida del canal de rectificación.

4.4.2 LIMNÍMETROS

Es necesario medir la posición de la superficie del agua (Calados) durante los ensayos hidráulicos. Esto se realiza ajustando manualmente una pequeña punta para que toque la superficie del agua, y leyendo el movimiento vertical en una escala graduada.

Está conformado por un bastidor de montaje se fija a una estructura apropiada de soporte previamente niveladas, y una varilla medidora queda libre para deslizarse hacia arriba y hacia abajo por encima de la superficie del agua, la medición se realiza usando una escala primaria fijada al bastidor de montaje y una escala nonio fijada a la varilla. Los limnímetros usados en los ensayos de laboratorio son de precisión 0.1 mm., ver fotografía 4.3.

FOTOGRAFÍA 4.3 Limnímetro de precisión.

4.4.3 MICRO MOLINETE

Este medidor, que se utiliza para medir y registrar velocidades puntuales bajas en agua y otros fluidos conductivos, utiliza el numero de revoluciones de una hélice calibrada registradas por un contador electrónico, para indicar la velocidad de rotación causada por el flujo del fluido. El pequeño diámetro la hélice permite utilizar el medidor en conductos y canales de reducidas dimensiones. Permite determinar la

velocidad del fluido, mediante la utilización de formulas características de este, en función del número de revoluciones en un tiempo determinado.

4.4.3.1 Características del micro molinete

Molinete C2, con contador OTT Z400 calibrado de fábrica, con hélice # 5, ver fotografía 4.4.

$$n = \frac{N}{t} \tag{4.6}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$Para: n \leq 7.73 : V = 0.0559 * n + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right] \tag{4.7}$$

$$Para: 7.73 \leq n \leq 17.73 : V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right] \tag{4.8}$$

FOTOGRAFÍA 4.4 Micro-Molinete C2 con contador OTT Z400

En el CAPITULO ANEXOS (ver Anexo digital), se presenta el cuadro de valores de velocidad para modelo y prototipo, en función del número de revoluciones medidas por el micro molinete.

4.4.4 TRAZADORES

El patrón de flujo es visualizado mediante trazadores a base de permanganato de potasio debidamente espaciados para tener una buena representación de los patrones de flujo y facilitar su observación en las grabaciones de video y en el registro fotográfico, ver fotografía 4.5.

FOTOGRAFÍA 4.5 Trazadores a base de permanganato de potasio.

4.5 CONDICIONES DE ENTRADA

Un aspecto cuidadosamente analizado fue las condiciones de ingreso del flujo al modelo. El objetivo fue lograr un ingreso de flujo uniforme y estable al río antes del ingreso al canal trapezoidal.

Para lograr este objetivo se probaron distintas opciones con pantallas cubiertas con malla fina, sin tener los resultados deseados se probó también el uso de bloques perforados para tratar de tranquilizar el flujo sin buenos resultados, siendo así necesaria la búsqueda de una solución que provea las condiciones deseadas, la solución se la encontró en la pantalla de madera con perforaciones de 2.5 cm de diámetro y separación de 5 cm entre cada perforación. De la misma forma en el tanque de alimentación se colocó pantallas de madera para orientar el flujo en la dirección requerida.

Con las adecuaciones mencionadas anteriormente se logró el ingreso mejor distribuido del flujo en la entrada del modelo. En la fotografía 4.6 y 4.7 se observa las estructuras colocadas para uniformizar el flujo al ingreso del canal de rectificación.

FOTOGRAFÍA 4.6 Alternativa probada en el ingreso de caudal al modelo (malla plástica perforada)

FOTOGRAFÍA 4.7 Pantalla con orificios para asegurar una correcta distribución del flujo en el modelo.

4.6 PRUEBAS ETAPA DE CALIBRACIÓN

La lectura de niveles de agua (calados), cota de fondo y velocidades en la etapa de calibración, fueron hechas en los tramos del canal y topografía siguientes:

- Perfil del río Daule 5.3
- Encauzamiento abscisa 0+100
- Encauzamiento abscisa 0+200
- Encauzamiento abscisa 0+700
- Encauzamiento abscisa 0+800
- Encauzamiento abscisa 1+060
- Encauzamiento abscisa 1+320
- Perfil del río Daule 7.3

En cuanto a la medición de velocidades puntuales se dividió la sección transversal en 10 partes tomando la velocidad puntual a una altura de 0.6 H desde la superficie del agua.

Además en la Prueba con Tr_{100} se tomaron dos mediciones más en los puntos señalados siendo estas 0.2 H y 0.8 H respectivamente medidas desde la superficie del agua en las abscisas definidas por la consultora ACT y la EPN.

4.7 HIDRÁULICA DEL CANAL

Esta evaluación se orientó a determinar y comparar los coeficientes de rugosidad, niveles de agua (calados) y velocidades entre el modelo y prototipo.

Para ello en cada prueba se midieron caudales, cota de fondo, cota de la superficie de agua, velocidad puntual en las secciones previamente definidas por ACT.

Las cotas de agua y solera fueron determinadas con limnímetros previamente nivelados. En cada sección se hicieron 8 lecturas, la pendiente de la línea de energía y el coeficiente de rugosidad se calculó de acuerdo a lo presentado en la figura 4.6, 4.11 y 4.12, donde se encuentra el resumen de las mediciones y cálculos registrados en la etapa de calibración para cada caudal modelado.

FIGURA 4.6 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CALIBRACIÓN PARA UN Q_{TR100}=1612 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.

CALADO (m)	9.53	9.53	9.47	9.46	9.42	9.45	9.47
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+700	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.47	1.47	1.51	1.50	1.54	1.47	1.61
n(Manning)	0.028	0.028	0.027	0.027	0.026	0.028	0.025
V2/2g(m)	0.110	0.110	0.116	0.114	0.121	0.109	0.132
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	16.03	16.02	15.95	15.89	15.84	15.84	15.83
L.E. (m.s.n.m)	16.14	16.13	16.06	16.00	15.96	15.95	15.96

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

4.8 EJEMPLO DE CÁLCULO

A continuación se presenta un ejemplo detallado de la metodología para el cálculo de los parámetros hidráulicos mostrados en la figura 4.6, tomando en cuenta que en el canal de rectificación no están emplazadas las estructuras de regulación.

Datos del canal de derivación:

Cota entrada = 6.5 m.s.n.m.

Cota salida = 6.36 m.s.n.m.

J = 0.000106061

L = 1320.00 m

B = 100.00 m

Z = 2.00

λ = 60

4.8.1 ECUACIONES UTILIZADAS

$$\mathrm{Vm} = 0.25 * (\mathrm{V}_{0.2} + \mathrm{V}_{0.8} + 2 * \mathrm{V}_{0.6}) \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{seg}}\right] [17]$$

[17] REFERENCIA INTERNET

Vm: Velocidad Media.

$V_{0.2}$ = Velocidad a 0.2h medida desde la superficie del agua.

$V_{0.8}$ = Velocidad a 0.8h medida desde la superficie del agua.

$V_{0.6}$ = Velocidad a 0.6h medida desde la superficie del agua.

Ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

V: Velocidad del Flujo.

n: Coeficiente de Manning.

Rh: Radio Hidráulico.

I: Pendiente.

$$n = \frac{1}{V} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

$$Rh = \frac{At}{Pm} \ [m]$$

At: Área transversal.

Pm: Perímetro Mojado.

Ecuación de Continuidad:

$$Q = V * A \left[\frac{m3}{seg}\right]$$

$$V = \frac{Q}{A} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Ecuaciones de similitud

Velocidad

$$V_{prototipo} = V_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$V_{prototipo}$: Velocidad en prototipo (m/seg).

V_{modelo}: Velocidad en modelo (m/seg).

λ: Factor de escala.

Ecuación de Micro molinete:

$$n = \frac{N}{t}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$n \leq 7.73$$

$$V = 0.0559 * n + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$7.73 \leq n \leq 17.73$$

$$V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Ecuación de similitud de rugosidad

$$\boldsymbol{n_{prototipo} = n_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{6}}} \quad \textbf{(4.9)}$$

n_{modelo}: n Manning en modelo.

$N_{prototipo}$: n Manning en prototipo.

λ: Factor de escala.

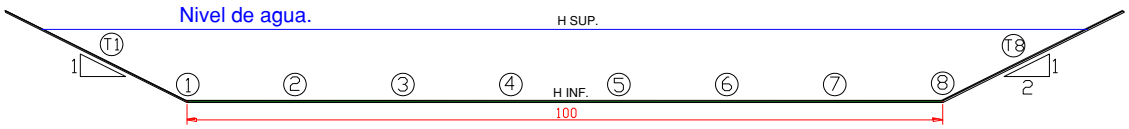
4.8.2 PROCESO DE MEDICIÓN

Las lecturas limnigráficas se tomaron en ocho puntos en la base del canal y una en cada talud para Q = 1612 m^3/seg como se muestra en la figura 4.7.

En cuanto a la medición de velocidades puntuales se dividió la sección transversal en 10 partes tomando la velocidad puntual a una altura de 0.6 H desde la superficie del agua.

Además en la Prueba con Tr_{100} se tomaron dos mediciones más en los puntos señalados siendo estas 0.2 H y 0.8 H respectivamente medidas desde la superficie del agua en las abscisas definidas por ACT.

FIGURA 4.7 ESQUEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES Y CALADOS EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL DE RECTIFICACIÓN.



T1: Velocidad en Talud en punto 1.
T8: Velocidad en Talud en punto 8.

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

A continuación se presentan las tablas de mediciones realizadas en el laboratorio, se tomara como ejemplo la sección transversal en la abscisa 0+680, del canal rectificado.

El cuadro 4.5, muestra los valores de las lecturas limnigráficas tomadas con el limnímetro en modelo.

CUADRO 4.5 LECTURAS LIMNMÉTRICAS MEDIDAS EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	L limni.	PUNTO										
		1	2	3	4	5	6	7	8	T1	T8	H PROM.
PERFIL 5.3	L SUP	38.3	39	39.45	40.1	40.4	40.8	41.35	41.4			
	LINF	32.1	20.2	16.94	22.4	23.87	24.31	30.1	40.7			
	DIF.	6.2	18.1	22.06	17.05	16.23	16.09	10.7	0.65			
0+100	L SUP	37.65	37.74	38	38.02	37.78	37.75	37.62	37.45			
	LINF	21.6	21.65	21.98	22.02	21.94	21.85	21.84	22	7.95	7.95	15.89
	DIF.	16.05	16.09	16.02	16	15.84	15.9	15.78	15.45			
0+200	L SUP	43.4	43.5	43.55	43.55	43.43	43.3	43.05	42.9			
	LINF	27.82	27.9	27.92	27.75	27.58	27.25	27.1	27.1	7.89	7.89	15.78
	DIF.	15.58	15.6	15.63	15.8	15.85	16.05	15.95	15.8			
0+700	L SUP	29.25	29.4	29.35	29.35	29.3	29.2	29.05	29			
	LINF	13.35	13.5	13.23	13.6	13.43	13.45	13.37	13.78	7.89	7.89	15.77
	DIF.	15.9	15.9	16.12	15.75	15.87	15.75	15.68	15.22			
0+800	L SUP	37.8	37.15	37.33	37.4	37.35	37.3	37.2	37.1			
	LINF	21.7	21.5	21.69	21.55	21.52	21.55	21.62	21.9	7.85	7.85	15.70
	DIF.	16.1	15.65	15.64	15.85	15.83	15.75	15.58	15.2			
1+060	L SUP	37.5	37.72	37.52	37.6	37.57	37.43	37.7	37.4			
	LINF	21.8	21.5	21.69	21.9	22.02	21.9	21.74	21.87	7.88	7.88	15.75
	DIF.	15.7	16.22	15.83	15.7	15.55	15.53	15.96	15.53			
1+320	L SUP	29.89	29.65	29.45	29.4	29.34	29.2	29.1	29.05			
	LINF	14.25	13.73	13.6	13.65	13.54	13.4	13.22	13.45	7.89	7.89	15.78
	DIF.	15.64	15.92	15.85	15.75	15.8	15.8	15.88	15.6			
PERFIL 7.3	L SUP	28.31	28.55	28.77	28.91	29.12	29.28	29.33	29.43	29.50		
	LINF	19.18	13.2	13.32	12.7	12.59	11.72	12.18	12.32	18.71		
	DIF.	9.13	15.35	15.45	16.21	16.53	17.56	17.15	17.11	10.79		

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

$$\text{Dif} = \text{Lsup} - \text{Linf}$$

$$\text{Dif} = 29.35 - 13.60\ [\text{cm}]$$

$$\text{Dif} = 15.75\ [\text{cm}]$$

La diferencia de las lecturas limnigráficas superior e inferior representa el calado de agua, se tomo el promedio de los puntos en los que se midió los calados, así tenemos, para la abscisa 0+700:

$$\text{Calado Modelo promedio} = 15.77\ [\text{cm}]$$

$$\text{Calado Prototipo promedio} = 15.77 * 60\ [\text{m}]$$

$$\text{Calado Prototipo promedio} = 9.46\ [\text{m}]$$

Este ultimo valor tomando en cuenta el promedio, de todos los de la abscisa 0+700.

$$\text{Nivel de agua} = 6.5 + 9.46\ [\text{m. s. n. m.}]$$

$$\text{Nivel de agua} = 15.96\ [\text{m. s. n. m.}]$$

El cuadro 4.6 presenta los valores de N medidos en laboratorio con el micromolinete para los puntos ya definidos anteriormente.

CUADRO 4.6 NUMERO DE REVOLUCIONES (N) EN MODELO MEDIDAS POR EL MICRO MOLINETE PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)		N									
				1	2	3	4	5	6	7	8	T1	T8
PERFIL 5.3		h variable depende de la topografia											
		h variable depende de la topografia			94	68	107	106	123	127			
		h variable depende de la topografia											
0+100	15.89	**0.2H**	3.18	95	85	75	90	97	100	107	110		
		0.6H	9.53	88	71	66	81	89	93	96	86	65	84
		0.8H	12.71	79	62	60	73	77	82	82	81		
0+200	15.78	**0.2H**	3.16										
		0.6H	9.47	81	71	78	84	90	96	92	101	72	83
		0.8H	12.63										
0+700	15.77	**0.2H**	3.15	90	83	90	94	99	102	98	105		
		0.6H	9.46	77	77	81	89	88	95	86	93	64	84
		0.8H	12.62	68	70	71	82	77	82	83	88		
0+800	15.70	**0.2H**	3.14										
		0.6H	9.42	73	74	79	88	96	100	96	106	56	93
		0.8H	12.56										
1+060	15.75	**0.2H**	3.15	72	77	85	93	99	107	113	95		
		0.6H	9.45	71	69	72	78	87	93	99	99	51	78
		0.8H	12.60	69	66	64	68	74	82	91	91		
1+320	15.78	**0.2H**	3.16	81	98	103	107	106	98	84	73		
		0.6H	9.47	76	92	97	102	104	101	94	93	46	50
		0.8H	12.62	72	90	93	98	98	98	88	92		
PERFIL 7.3		h variable depende de la topografia											
		h variable depende de la topografia		98	115	111	111	105	97	93	88	20	
		h variable depende de la topografia											

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

Tomando en cuenta las mediciones se realizaron a 0.2, 0.6, 0.8 h medidos desde la superficie libre; h representa el calado de agua:

$$\mathrm{N}(0.2\mathrm{h}) = 94$$

$$\mathrm{N}(0.6\mathrm{h}) = 89$$

$$\mathrm{N}(0.8\mathrm{h}) = 82$$

El cuadro 4.7 muestra los valores de velocidades medidas en el modelo, utilizando el micro molinete, y aplicando la ecuación característica del mismo, en función del número de revoluciones que marca la hélice.

CUADRO 4.7 VALORES DE VELOCIDAD en modelo PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado	h(cm)		V(m/s)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	T1	T8
PERFIL 5.3		h variable depende de la topografia											
		h variable depende de la topografia			0.21	0.16	0.23	0.23	0.26	0.27			
		h variable depende de la topografia											
0+100	15.89	**0.2H**	3.18	0.21	0.19	0.17	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24		
		0.6H	9.53	0.20	0.17	0.16	0.18	0.20	0.21	0.21	0.19	0.15	0.19
		0.8H	12.71	0.18	0.15	0.14	0.17	0.18	0.19	0.19	0.18		
0+200	15.78	**0.2H**	3.16										
		0.6H	9.47	0.18	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.20	0.22	0.17	0.19
		0.8H	12.63										
0+700	15.77	**0.2H**	3.15	0.20	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22	0.23		
		0.6H	9.46	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	0.21	0.19	0.21	0.15	0.19
		0.8H	12.62	0.16	0.16	0.17	0.19	0.18	0.19	0.19	0.20		
0+800	15.70	**0.2H**	3.14										
		0.6H	9.42	0.17	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.21	0.23	0.14	0.21
		0.8H	12.56										
1+060	15.75	**0.2H**	3.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.21		
		0.6H	9.45	0.17	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.22	0.13	0.18
		0.8H	12.60	0.16	0.16	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.20		
1+320	15.78	**0.2H**	3.16	0.18	0.22	0.22	0.23	0.23	0.22	0.19	0.17		
		0.6H	9.47	0.17	0.20	0.21	0.22	0.23	0.22	0.21	0.21	0.12	0.13
		0.8H	12.62	0.17	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22	0.20	0.20		
PERFIL 7.3		h variable depende de la topografia											
		h variable depende de la topografia		0.22	0.25	0.24	0.24	0.23	0.21	0.21	0.20	0.07	
		h variable depende de la topografia											

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

Las velocidades para el modelo se las calcularon con la ecuación para valores de N del micro molinete.

Ecuación de Micro molinete:

$$\mathrm{n} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{t}}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$n \leq 7.73$$

$$V = 0.0559 * n + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$7.73 \leq n \leq 17.73$$

$$V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.2 h desde la superficie libre:

$$\text{Para } N(0.2h) = 94$$

$$n = \frac{94}{30} = 3.13$$

$$V = 0.0559 * 3.13 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.21 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.6 h desde la superficie libre:

$$\text{Para } N(0.6h) = 89$$

$$n = \frac{89}{30} = 2.97$$

$$V = 0.0559 * 2.97 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.20 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.8 h desde la superficie libre:

$$\text{Para } N(0.8h) = 82$$

$$n = \frac{82}{30} = 2.73$$

$$V = 0.0559 * 2.73 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.19 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 4.8 muestra los valores de velocidades en prototipo, utilizando la ecuación de similitud de Froude.

CUADRO 4.8 VALORES DE VELOCIDAD EN prototipo PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado	h(m)		V(m/s)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	T1	T8
PERFIL 5.3		h variable depende de la topografia											
		h variable depende de la topografia			1.61	1.24	1.80	1.79	2.03	2.09			
		h variable depende de la topografia											
0+100	9.53	**0.2H**	1.91	1.63	1.48	1.34	1.55	1.66	1.70	1.80	1.84		
		0.6H	5.72	1.53	1.28	1.21	1.42	1.54	1.60	1.64	1.50	1.19	1.47
		0.8H	7.63	1.40	1.15	1.12	1.31	1.37	1.44	1.44	1.42		
0+200	9.47	**0.2H**	1.89										
		0.6H	5.68	1.42	1.28	1.38	1.47	1.55	1.64	1.58	1.71	1.29	1.45
		0.8H	7.58										
0+700	9.46	**0.2H**	1.89	1.55	1.45	1.55	1.61	1.68	1.73	1.67	1.77		
		0.6H	5.68	1.37	1.37	1.42	1.54	1.53	1.63	1.50	1.60	1.18	1.47
		0.8H	7.57	1.24	1.27	1.28	1.44	1.37	1.44	1.45	1.53		
0+800	9.42	**0.2H**	1.88										
		0.6H	5.65	1.31	1.32	1.40	1.53	1.64	1.70	1.64	1.79	1.06	1.60
		0.8H	7.54										
1+060	9.45	**0.2H**	1.89	1.29	1.37	1.48	1.60	1.68	1.80	1.89	1.63		
		0.6H	5.67	1.28	1.25	1.29	1.38	1.51	1.60	1.68	1.68	0.99	1.38
		0.8H	7.56	1.25	1.21	1.18	1.24	1.32	1.44	1.57	1.57		
1+320	9.47	**0.2H**	1.89	1.42	1.67	1.74	1.80	1.79	1.67	1.47	1.31		
		0.6H	5.68	1.35	1.58	1.66	1.73	1.76	1.71	1.61	1.60	0.92	0.98
		0.8H	7.57	1.29	1.55	1.60	1.67	1.67	1.67	1.53	1.58		
PERFIL 7.3		h variable depende de la topografia											
		h variable depende de la topografia		1.67	1.92	1.86	1.86	1.77	1.66	1.60	1.53	0.54	
		h variable depende de la topografia											

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

Una vez determinadas las velocidades en el modelo, para calcular las velocidades en prototipo se utilizara la ecuación de similitud de Froude.

Velocidad

$$V_{prototipo} = V_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.2 h desde la superficie libre:

$$V_{prototipo} = 0.21 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.61 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.6 h desde

$$V_{prototipo} = 0.20 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.54 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.8 h desde la superficie libre:

$$V_{prototipo} = 0.19 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.44 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 4.9 muestra el valor de velocidades medias medidas en el modelo.

CUADRO 4.9 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado(cm)	V(m/s)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	T1	T8
PERFIL 5.3			0.21	0.16	0.23	0.23	0.26	0.27			
0+100	15.89	0.20	0.17	0.16	0.18	0.20	0.20	0.21	0.20	0.15	0.19
0+200	15.78	0.18	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.20	0.22	0.17	0.19
0+700	15.77	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	0.21	0.20	0.21	0.15	0.19
0+800	15.70	0.17	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.21	0.23	0.14	0.21
1+060	15.75	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.21	0.13	0.18
1+320	15.78	0.18	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.20	0.20	0.12	0.13
PERFIL 7.3		0.22	0.25	0.24	0.24	0.23	0.21	0.21	0.20	0.07	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

La velocidad media se calculara tomando en cuenta los valores medidos a 0.2h, 0.4h y 0.8h mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.25 * (0.21 + 0.20 + 2 * 0.19) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.20 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 4.10 muestra el valor de las velocidades media en prototipo, utilizando la ecuación de similitud de Froude.

CUADRO 4.10 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado(m)	V(m/s)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	T1	T8
PERFIL 5.3			1.61	1.24	1.80	1.79	2.03	2.09			
0+100	9.53	1.52	1.30	1.22	1.43	1.53	1.58	1.63	1.57	1.19	1.47
0+200	9.47	1.42	1.28	1.38	1.47	1.55	1.64	1.58	1.71	1.29	1.45
0+700	9.46	1.38	1.36	1.42	1.53	1.53	1.61	1.53	1.62	1.18	1.47
0+800	9.42	1.31	1.32	1.40	1.53	1.64	1.70	1.64	1.79	1.06	1.60
1+060	9.45	1.28	1.27	1.31	1.40	1.51	1.61	1.71	1.64	0.99	1.38
1+320	9.47	1.36	1.60	1.66	1.73	1.74	1.69	1.55	1.52	0.92	0.98
PERFIL 7.3		1.67	1.92	1.86	1.86	1.77	1.66	1.60	1.53	0.54	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

La velocidad media se calculara tomando en cuenta los valores medidos a 0.2h, 0.4h y 0.8h mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.25 * (1.61 + 1.44 + 2 * 1.54) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 1.53 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 4.11 muestra el resumen de velocidades, y nivel de agua para las diferentes abscisas en el canal de recirculación.

CUADRO 4.11 RESUMEN DE CALADOS, VELOCIDAD PROMEDIO, COEFICIENTE DE MANNING, Y NIVEL DE AGUA PARA Q=1612 m^3/seg, PARA MODELO Y PROTOTIPO

ABSCISA	Calado(cm)	Vm(m/s)	A(m2)	Pm(m)	Rh(m)	Modelo n(Manning)
0+000	15.89	0.19	0.32	2.377	0.133	0.014
0+100	15.89	0.19	0.32	2.377	0.133	0.014
0+200	15.78	0.19	0.31	2.372	0.132	0.014
0+700	15.77	0.19	0.31	2.372	0.132	0.014
0+800	15.70	0.20	0.31	2.369	0.131	0.013
1+060	15.75	0.19	0.31	2.371	0.132	0.014
1+320	15.78	0.21	0.31	2.372	0.132	0.013

ABSCISA	Calado(m)	Vm(m/s)	n(Manning)	Prototipo m.s.n.m.
0+000	9.53	1.47	0.028	16.14
0+100	9.53	1.47	0.028	16.13
0+200	9.47	1.51	0.027	16.06
0+700	9.46	1.50	0.027	16.00
0+800	9.42	1.54	0.026	15.96
1+060	9.45	1.47	0.028	15.95
1+320	9.47	1.61	0.025	15.96

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para la abscisa 0+700:

Vm: Representa el promedio de las velocidades medidas en los 8 puntos en los que se dividió la sección transversal de la base del canal de derivación, tomando en cuenta las velocidades en T1 y T8 (velocidad en talud punto 1, velocidad en talud punto 8, respectivamente).

$$Vm = \frac{1.38 + 1.36 + 1.42 + 1.53 + 1.53 + 1.61 + 1.53 + 1.62 + 1.18 + 1.47}{8} \left[\frac{m}{s}\right]$$

$$Vm = 1.50 \left[\frac{m}{s}\right]$$

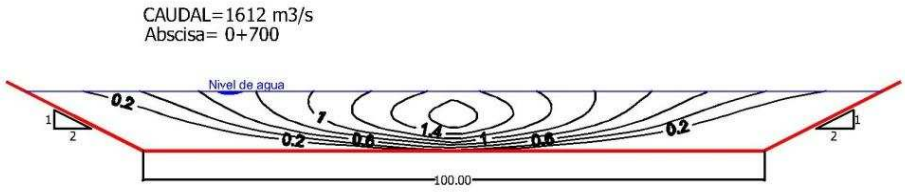
El coeficiente n de Manning, utilizando la ecuación de similitud de Froude:

$$n_{prototipo} = 0.014 * \lambda^{\frac{1}{6}}$$

$$n_{prototipo} = 0.027$$

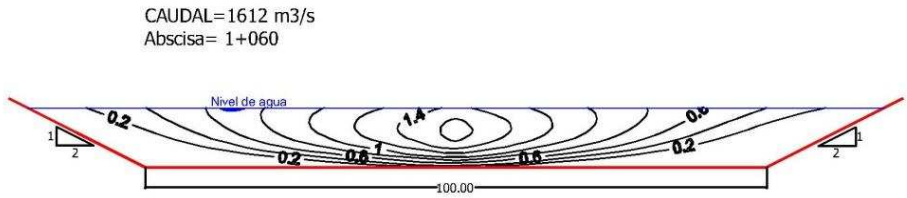
Las figuras 4.8 a 4.10, representan la distribución de velocidades para el caudal de 1612 m3/s, representan una interpolación de velocidades para diferentes puntos en la sección transversal del canal.

FIGURA 4.8 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 0+700 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/s



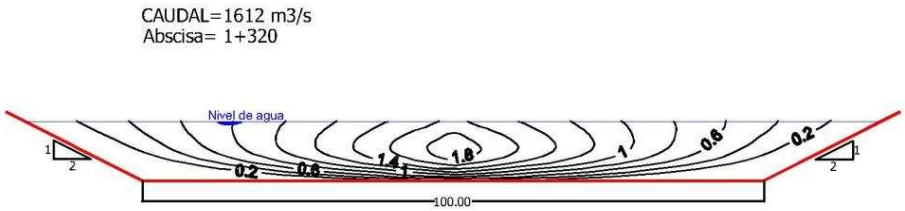
ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 4.9 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+060 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/s



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 4.10 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+320 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/s



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 4.11 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CALIBRACIÓN PARA UN Q_{TR10}=1143 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.

CALADO (m)	7.99	7.99	7.99	8.00	7.94	7.90	7.91
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+700	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.47	1.38	1.39	1.40	1.41	1.33	1.45
n(Manning)	0.025	0.027	0.027	0.027	0.026	0.028	0.025
V2/2g(m)	0.110	0.097	0.099	0.100	0.102	0.090	0.107
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	14.49	14.48	14.47	14.42	14.36	14.29	14.27
L.E. (m.s.n.m)	14.60	14.58	14.57	14.52	14.46	14.38	14.38

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 4.12 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CALIBRACIÓN PARA UN Q_{TR2}=737 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.

CALADO (m)	5.98	5.98	5.96	5.88	5.87	5.90	5.91
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+700	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.47	1.14	1.19	1.19	1.23	1.14	1.22
n(Manning)	0.021	0.027	0.026	0.026	0.025	0.027	0.025
V2/2g(m)	0.110	0.066	0.073	0.073	0.077	0.067	0.076
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	12.48	12.47	12.43	12.30	12.29	12.28	12.27
L.E. (m.s.n.m)	12.59	12.53	12.51	12.38	12.36	12.35	12.35

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

4.9 PATRONES DE FLUJO OBSERVADOS.

CUADRO 4.12 COMPARACIÓN "N" MODELO Y "N" PROTOTIPO

Caudal (m3/seg)	"n" Modelo	"n" Prototipo
737	0.013	0.026
1143	0.013	0.027
1612	0.014	0.027
Promedio	**0.0134**	**0.027**

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Del análisis de las rugosidades, se observa que su variación no responde a ninguna funcionalidad aparente además se observa que no existe excesiva variación de uno con respecto al otro, ver cuadro 4.12. La rugosidad Promedio obtenida de las pruebas para prototipo es:

De la ecuación de similitud de rugosidad:

$$n_{prototipo} = n_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{6}}$$

$$n_{prototipo} = 0.0134 * 60^{\frac{1}{6}}$$

$$n_{prototipo} = 0.027$$

Con un coeficiente de variación

$$Cv = 0.015$$

El valor mínimo registrado es 0.026 y el máximo 0.027, que representan el -1.5% y + 0 % de discrepancia con el valor medio. Adicionalmente el valor medio representa una diferencia del 11% con el valor teórico adoptado

$$n_{prototipo} = 0.030$$

Por último, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning medio en modelo n_{modelo}=0.0134 es muy cercano al valor representativo de n_m=0.015, del cuadro 3.1 (CAPITULO 3-CONTRUCCION DEL MODELO)

4.10 CONSERVACIÓN DE MASA

El chequeo correspondiente a la conservación de masa se realizó a través de la verificación de los caudales de entrada y salida del modelo.

Aquí se pudo concretar que tanto el vertedero rectangular con el triangular están correctamente calibrados debido que las mediciones obtenidas entre ellos discrepan en el orden de 2.56 % obteniendo variaciones máximas del orden de 1.48 lts/seg para el caudal Tr_{100}, en los otros caudales estos valores bajan haciendo que el error relativo disminuya aún más.

La diferencia que existe entre los caudales teóricos y los modelados son menores teniendo como máximo el error de 0.19 %, lo que demuestra que se realizaron las pruebas con los caudales requeridos para una acertada aproximación de los flujos en el prototipo.

A continuación se presenta un resumen de los caudales registrados en las pruebas de calibración, ver cuadro 4.13.

CUADRO 4.13 CAUDALES PRUEBAS DE CALIBRACIÓN

Cero Vertedero Rectangular = 1.49 cm
Cero Vertedero Triangular = 23.17 cm

Prueba Tr (años)	Q Teórico Prot . (m3/s)	Q Teórico Mod. (lt/s)	Lect. Vertedero Rectangular (cm)	Lect. Vertedero Triangular (cm)	H Vertedero Rectangular (cm)	H Vertedero Triangular (cm)	Q Vertedero Rectangular (lt/s)	Q Vertedero Triangular (lt/s)	Error Relativo 1 (%)	Error Relativo 2 (%)
5	737	26.43	9.25	43.71	7.76	20.54	26.48	26.45	0.11	0.19
10	1143	40.99	11.91	47.56	10.42	24.39	41.04	40.62	1.02	0.12
100	1612	57.81	15.49	50.97	14.00	27.80	57.76	56.28	2.56	-0.08

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

$$Error\ Relativo\ 1 = \left(\frac{Q_{Rec} - Q_{Tri}}{Q_{rec}}\right) * 100$$

$$Error\ Relativo\ 2 = \left(\frac{Q_{Rec} - Q_{Toe\ Mod}}{Q_{Teo\ Mod}}\right) * 100$$

En el CAPITULO 10 (ANEXOS PLANOS), se encuentran los planos que muestran el perfil de velocidades, y la implantación de las diferentes mediciones para las abscisas y puntos acordados por la consultora ACT y la EPN, para los caudales establecidos en la etapa de calibración, recordando que en el canal de rectificación no se encuentran emplazadas las obras de regulación, ver planos:

NOMBRE DE PLANO	CÓDIGO
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL SIN ESTRUCTURAS Q=1612m3/s	PT-TDV-10
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL SIN ESTRUCTURAS Q=1143m3/s	PT-TDV-11
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL SIN ESTRUCTURAS Q=737m3/s	PT-TDV-12

4.11 CONCLUSIONES

- Una vez terminadas las pruebas de calibración, se puede concluir que el modelo responde satisfactoriamente a las condiciones necesarias para cumplir con el criterio de similitud restringida de Froude. Es decir el modelo representa al prototipo y los resultados que se obtendrán luego con las pruebas del diseño original serán las que se esperen en prototipo, los resultados serán una aproximación cuantitativa a la realidad.

- De lo observado en el cuadro 4.13, el coeficiente de rugosidad n de Manning es igual a 0.134 para modelo, y aplicando la ecuación de similitud de Froude para prototipo es 0.027 que se acerca al valor de 0.030 que fue el valor presentado por los consultores, lo que significa que se puede considerar al modelo como calibrado, y que va cumplir satisfactoriamente con los fenómenos que ocurran en prototipo, además de cumplir con la condición de similitud es importante que se tomen en cuenta las condiciones de borde que al momento de realizar los ensayos,(curva de descarga del rio Daule).

- Es importante mencionar que en la etapa de calibración no se tomo en cuanta la curva de descarga del rio Daule, como condición de borde, se la realizo tomando en cuenta que el canal funcione en condiciones normales, con el valor de Yn, como condición de borde, mediante la compuerta de cierre ubicada a la salida del canal de rectificación y regulando el caudal para este valor, utilizando el programa H-Canales se calcularon los parámetros hidráulicos necesarios para comparar los valores medidos en el modelo y que estos se acerquen a los calculados por el programa.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS CON DISEÑO PROPUESTO

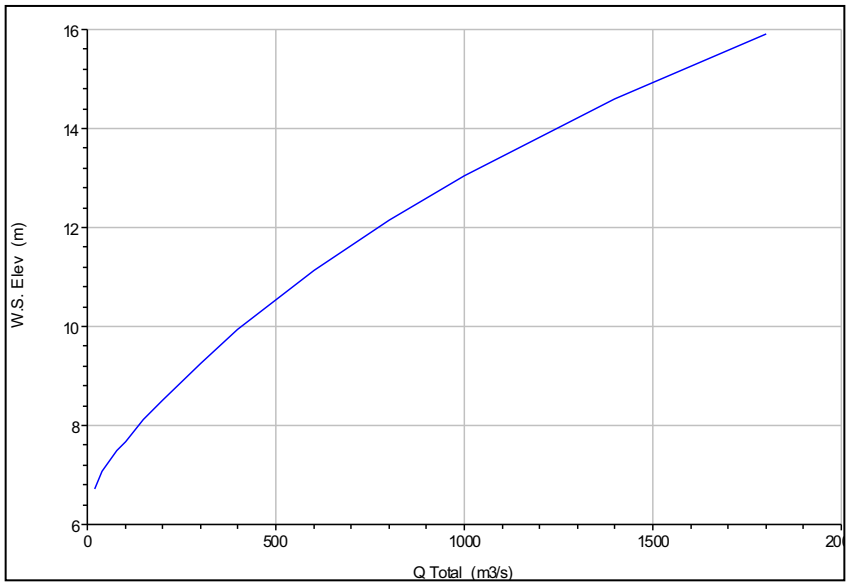
Una vez realizadas las pruebas de calibración, y demostrado que el modelo hidráulico va a tener un comportamiento semejante a prototipo, se presentan las pruebas realizadas y análisis de las mismas con el diseño original propuesto por la consultora ACT, con la obra de toma y la estructura de regulación implantadas en el canal de rectificación.

De acuerdo con la información otorgada por la consultora ACT, la condición de regulación para caudales está dada por la curva de descarga a la salida del canal de rectificación, en la abscisa 1+320.

5.1 CONDICIÓN DE BORDE

Para la etapa de pruebas con diseño original propuesto, se tomo como condición de borde los niveles de agua a la salida del canal, abscisa 1+320, dichos niveles se los

FIGURA 5.1 CURVA DE DESCARGA RIO DAULE DA-8-D



FUENTE: INFORME DE FACTIBILIDAD, ACT, DICIEMBRE 2010

obtuvo de la curva de descarga del Rio Daule (DA-8-D), ver figura 5.1, provista por ACT para los diferentes caudales que se detallaran más adelante, esta condición en

el modelo hidráulico es representada por una clapeta de regulación colocada a la salida del canal, que controla los niveles requeridos para los diferentes caudales.

5.2 CAUDALES SELECCIONADOS

Para las pruebas del diseño original propuesto, se seleccionaron 7 caudales que representan satisfactoriamente el rango de caudales que ocurrirán en la vida útil del Trasvase Daule-Vinces.

Uno de los caudales seleccionados es el Q TR_{100} = 1612 m^3/s que representa el caudal con tiempo de retorno de 100 años, es decir el caudal máximo que transitará por la obra en 100 años con lo cual se estudiara a las diferentes estructuras y su comportamiento para un caudal de estas características.

Los caudales seleccionados fueron:

Con las compuertas Stop Log completamente abiertas y las compuertas radiales de los vertederos cerradas:

- Tr_5=977 m^3/s
- Tr_{10}=1143 m^3/s
- Tr_{20}=1220 m^3/s
- Tr_{100}=1612 m^3/s

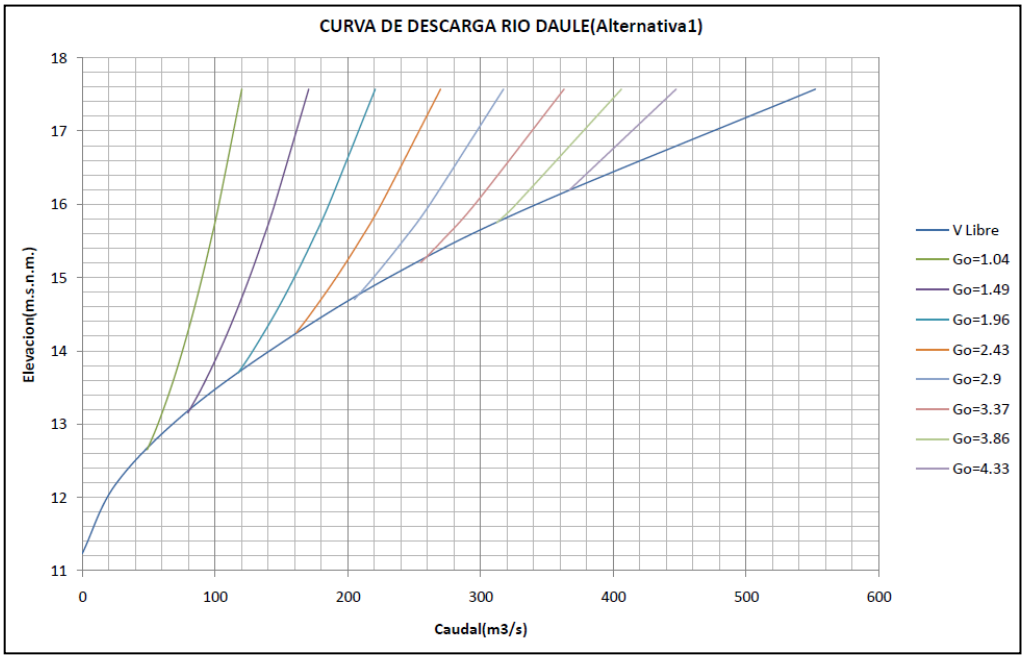
Con las compuertas Stop Log cerradas y control de niveles con los vertederos y compuertas radiales:

- Q_1=120 m^3/s
- Q_2=240 m^3/s
- Q_3=350 m^3/s

Siendo el caudal Q_3 el caudal de diseño de los vertederos.

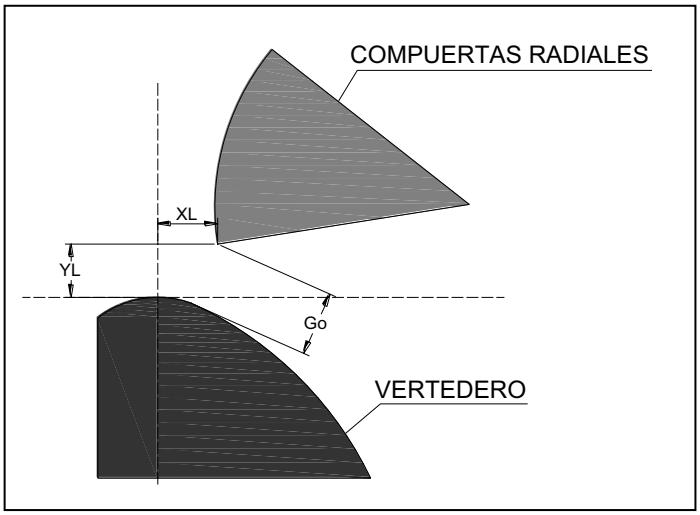
Para las pruebas con las compuertas Stop Log cerradas y el control de niveles con las compuertas radiales, se presenta la curva de descarga en función de la abertura Go, para diferentes caudales, ver figura 5.2 que permite regular el nivel de agua (16 m.s.n.m.). Por la dificultad que presenta la regulación de las compuertas con la abertura Go, se utilizo la abertura vertical Y_L, que representa la abertura desde la cresta de vertedero, hasta el labio inferior de la compuerta, ver figura 5.3

FIGURA 5.2 CURVA DE DESCARGA PARA LAS COMPUERTAS RADIALES



FUENTE: INFORME DE FACTIBILIDAD, ACT, DICIEMBRE 2010

FIGURA 5.3 ESQUEMA DE COMPUERTAS RADIALES Y VERTEDEROS, PARA ABERTURAS GO, Y YL



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.3 PROCESO DE MEDICIÓN

Al igual que en la etapa de calibración se midieron niveles de agua (calados), cota de fondo y velocidades en las secciones definidas por la consultora ACT y la EPN,

con un cambio en la abscisa 0+700 ya que en esta sección se encuentran emplazadas las obras de regulación por lo que las mediciones se las hizo en la abscisa 0+680.

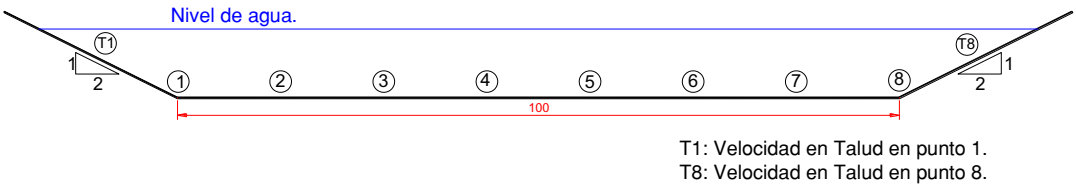
- Perfil del río Daule 5.3
- Encauzamiento abscisa 0+100
- Encauzamiento abscisa 0+200
- Encauzamiento abscisa 0+680
- Encauzamiento abscisa 0+800
- Encauzamiento abscisa 1+060
- Encauzamiento abscisa 1+320
- Perfil del río Daule 7.3

Todas las pruebas realizadas se corrieron con caudal constante es decir con flujo permanente.

En cada prueba se midieron los siguientes datos:

- Caudales de entrada y salida, en el vertederos de ingreso y en el de restitución respectivamente.
- Niveles de la superficie del agua y del fondo en las secciones antes descritas.
- Registro fotográfico y video del funcionamiento del canal y estructura de regulación.
- Distribución de flujo en las secciones mediante el uso de trazadores a base de permanganato de potasio.
- Velocidades puntuales en los 10 puntos definidos por ACT a una profundidad H = 0.6 h, medida desde la superficie del agua, para todos los caudales, ver figura 5.4.
- Velocidad puntual a H = 0.2 h y H = 0.8 h, medidas desde la superficie de agua, para el caudal Tr_{100}=1612 m^3/seg.

FIGURA 5.4 PUNTOS DE MEDICIÓN EN CADA SECCIÓN DEL CANAL



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.4 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.4.1 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADAS

Estas pruebas se realizaron con un rango de caudales que varía entre 120 m^3/s hasta 350 m^3/s, el objetivo principal de la realización de estas pruebas es comprobar el correcto funcionamiento de los vertederos y de las estructuras disipadoras colocadas al pie de los vertederos, además regular el nivel aguas arriba de la estructura de regulación (16 m.s.n.m.).

5.4.1.1 CAUDAL 120 m^3/s (Q_1)

Debido a las condiciones requeridas en esta prueba fue necesario la operación de las compuertas radiales para que el nivel en el embalse llegue a la cota necesaria (16.00 m.s.n.m.), el Y_L requerido para lograr este nivel fue de 1.44 m. que directamente se refiere a una abertura G_o equivalente a 1.49 m, el nivel aguas abajo de la superficie del agua fue 7.70 m.s.n.m. ver fotografía 5.1, obtenido de la curva de descarga del Rio Daule en la abscisa 1+320, la cota en el embalse obtenida con estas condiciones fue el 16.07 m.s.n.m. en el embalse, ver fotografía 5.2.

Las velocidades aguas arriba de las obras de cierre (stop log) no fueron obtenidas, debido a que en dicho tramo funciona como un embalse, y estas no representan un factor importante en el diseño de las estructura de regulación, en donde la velocidades son muy bajas, las cuales están fuera del rango de medición del micro molinete que el laboratorio posee

Estas velocidades están en el orden de 0.016 m/s, el cual está fuera del rango de medición del micro molinete, como se demuestra en el cuadro 5.1.

CUADRO 5.1 VELOCIDAD TEÓRICA OBTENIDA EN LA ABSCISA 0+100

	Prueba	Unidad
Caudal	120	m^3/seg
Nivel	16.07	msnm
Área	995.25	m^2
V Prot	0.121	m/seg
V Mod	0.016	m/seg

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$Vprototipo = \frac{120\ m3/s}{995.25\ m2}$$

$$Vprototipo = 0.121\ m/s$$

$$Vmodelo = \frac{Vprot}{\lambda^{\frac{1}{2}}}$$

$$Vmodelo = 0.016\ m/s$$

FOTOGRAFÍA 5.1 Cota aguas abajo abscisa 1+060 m, nivel 7.70 m.s.n.m.

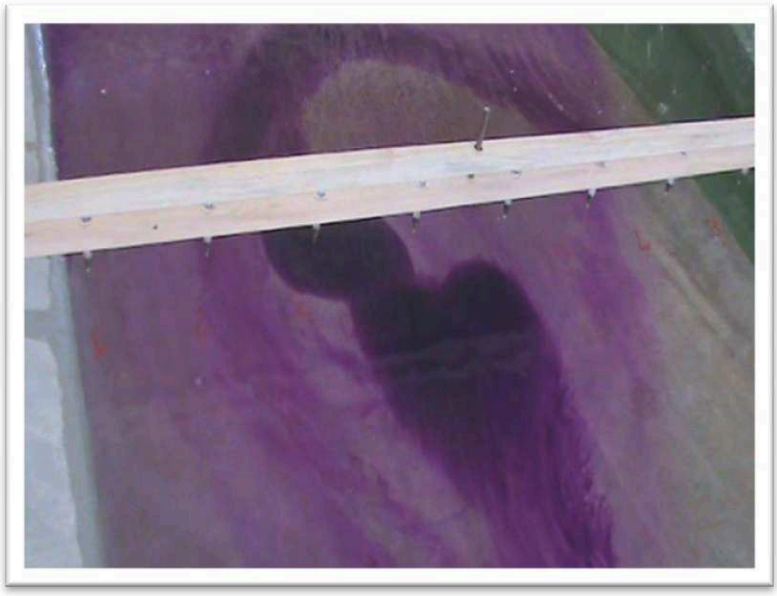
FOTOGRAFÍA 5.2 Nivel de agua en el embalse 16.07 m.s.n.m.

Se observa que existen velocidades altas al final del cuenco del orden de 4.70 m/s, además de una aceleración del flujo aguas abajo del cuenco disipador en una franja paralela al muro de transición, la misma que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060, para luego reflejarse aguas abajo, como se aprecia en las fotografías 5.3 y 5.4.

FOTOGRAFÍA 5.3 Funcionamiento del cuenco disipador Q=120 m3/s

FOTOGRAFÍA 5.4 Desarrollo del flujo principal aguas abajo del cuenco disipador.

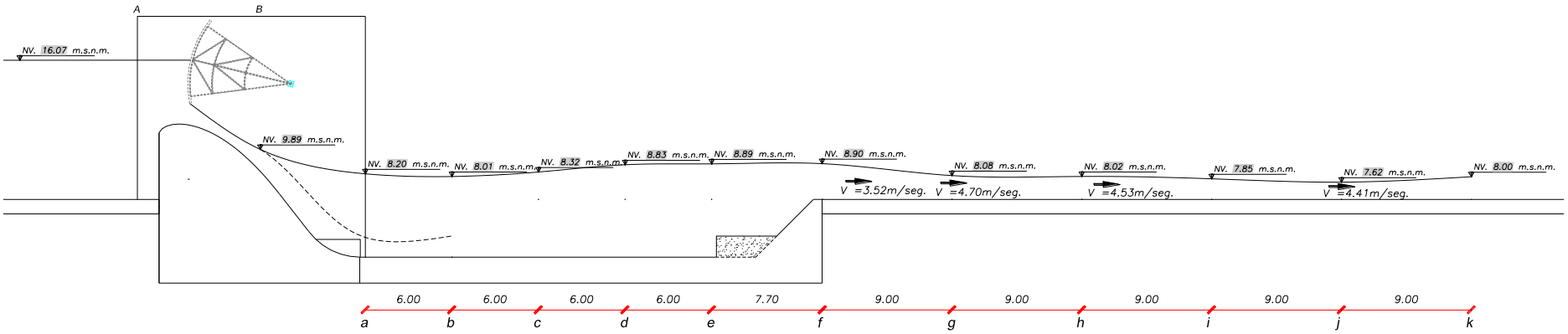
En el resto del canal se producen efectos debido a la excesiva velocidad con la que sale el flujo, siendo algunos de estos, el cambio de la dirección de velocidad entre la abscisa 0+700 y la 0+800 con presencia de zonas muertas entre los puntos 3 y 6 marcados en el canal, la presencia de zonas con velocidades cercanas a 0 o zonas muertas en las abscisas 1+060 a 1+320, ver fotografía 5.5



FOTOGRAFÍA 5.5 Cambio de dirección en la velocidad y zonas muertas a través del canal

En la figura 5.5 se observa el perfil de flujo en el vertedero y las velocidades obtenidas a lo largo de este para el caudal 120 m^3/seg.

FIGURA 5.5 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL, CAUDAL 120 m^3/seg.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.4.1.2 CAUDAL 240 m^3/s (Q_2)

Debido a las condiciones requeridas en esta prueba fue necesario la operación de las compuertas radiales para que el nivel en el embalse llegue a la cota necesaria (16.00 m.s.n.m.), el Y_L requerido para lograr este nivel fue de 2.65 m. que directamente se refiere a una abertura G_o equivalente a 2.69 m, el nivel aguas abajo de la superficie del agua fue 8.78 m.s.n.m. ver fotografía 5.6, obtenido de la curva de descarga del Rio Daule (DA-8-D) en la abscisa 1+320, el nivel obtenido con estas condiciones fue el 15.97 m.s.n.m. aguas arriba de las obras de regulación (Stop Log). ver fotografía 5.7.

Las velocidades aguas arriba de las obras de cierre (stop log) no fueron obtenidas, debido a que en dicho tramo funciona como un embalse, en donde la velocidades son muy bajas, las cuales están fuera del rango de medición del micro molinete que el laboratorio posee.

Estas velocidades están en el orden de 0.031 m/seg, el cual está fuera del rango de medición del micro molinete, como se demuestra en el cuadro 5.2.

CUADRO 5.2 VELOCIDAD TEÓRICA OBTENIDA EN LA ABSCISA 0+100

	Prueba	Unidad
Q	240	m3/seg
H	15.97	msnm
Área	991.84	m2
V Prot	0.242	m/seg
V Mod	0.031	m/seg

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

$$V = \frac{Q}{A}$$

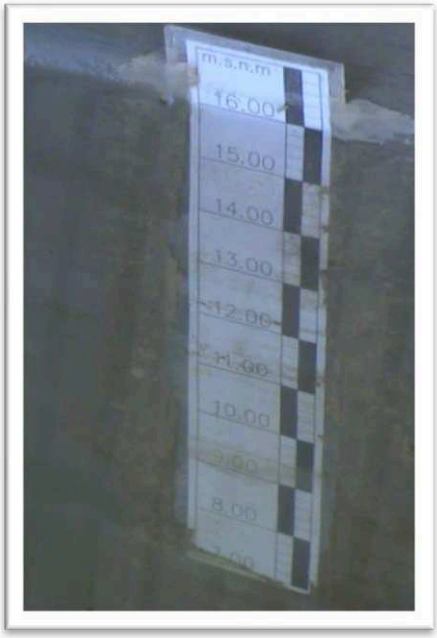
$$Vprototipo = \frac{240\ m3/s}{995.25\ m2}$$

$$Vprototipo = 0.242\ m/s$$

$$Vmodelo = \frac{Vprot}{\lambda^{\frac{1}{2}}}$$

$$Vmodelo = 0.031\ m/s$$

FOTOGRAFÍA 5.6 Nivel 8.78 m.s.n.m. abscisa 1+320 m



FOTOGRAFÍA 5.7 Nivel de agua en el embalse 15.97 m.s.n.m.

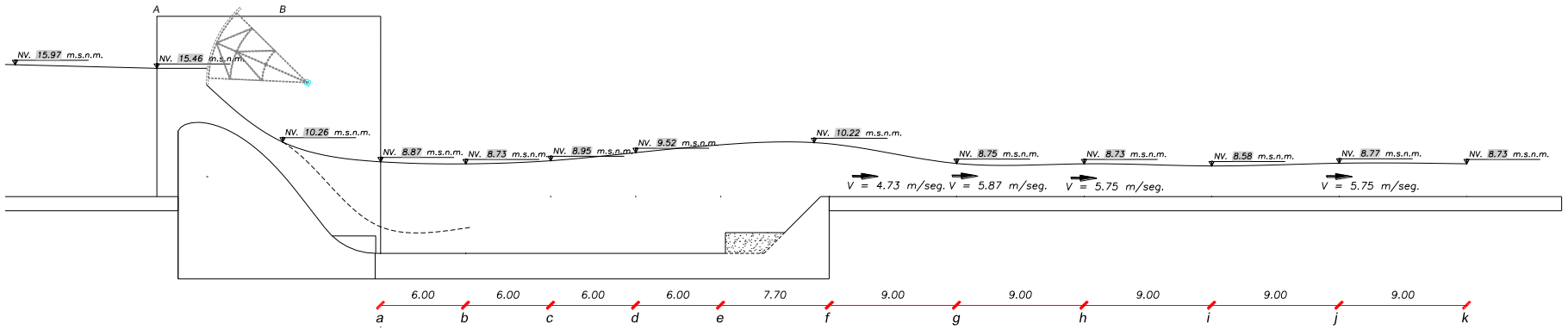
Se observa que existen velocidades altas al final del cuenco del orden de 5.87 m/s, además de una aceleración del flujo aguas abajo del cuenco disipador en una franja paralela al muro de transición, la misma que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060 la misma que se refleja aguas abajo, como se aprecia en las fotografías 5.8 y 5.9.

FOTOGRAFÍA 5.8 Funcionamiento del cuenco disipador Q=240 m3/s.

FOTOGRAFÍA 5.9 Flujo a la salida del cuenco disipador Q=240 m3/s.

En la figura 5.6 se observa el perfil de flujo en el vertedero y las velocidades obtenidas a lo largo de este para el caudal 240 m^3/seg.

FIGURA 5.6 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL, CAUDAL 240 m3/seg.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.4.1.3 CAUDAL 350 m^3/s (Q_3)

El nivel del embalse en esta prueba se logró cuando se estabilizo el mismo. Para esta prueba las compuertas radiales están completamente abiertas y los vertederos trabajan a su máxima capacidad, es decir a la capacidad de diseño, el nivel de agua en el embalse fue 16.36 m.s.n.m. Ver fotografía 5.10

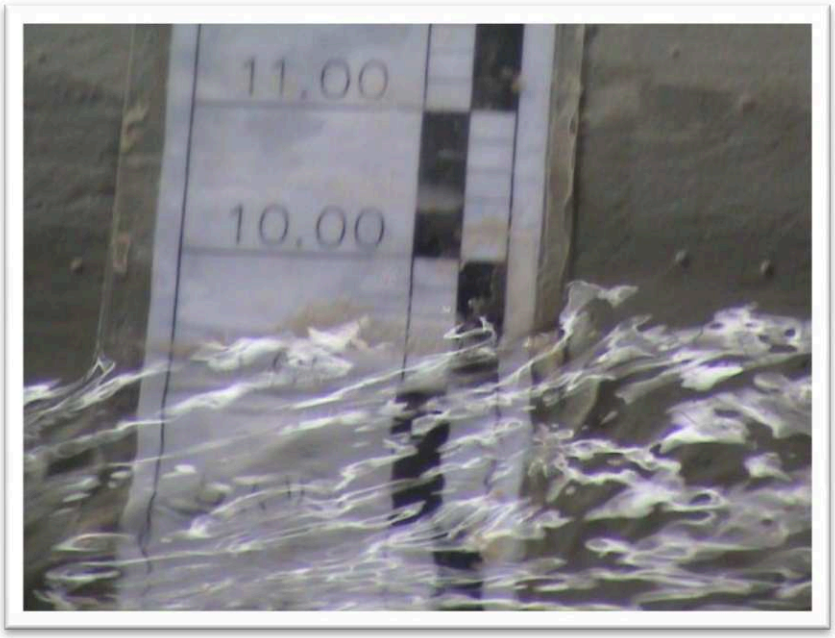
Al igual que en las dos pruebas anteriores las velocidades desde la abscisa 0+000 a la abscisa 0+700, no pudieron ser obtenidas por no estar en el rango de mediciones de los equipos del laboratorio, además de ser bajas y no representan un factor importante en el diseño de la estructura de regulación, por el efecto de embalse que se genera al cerrar los stop log y forzar que el flujo transite a través de los vertederos.

FOTOGRAFÍA 5.10 Cota embalse 16.36 m.s.n.m.

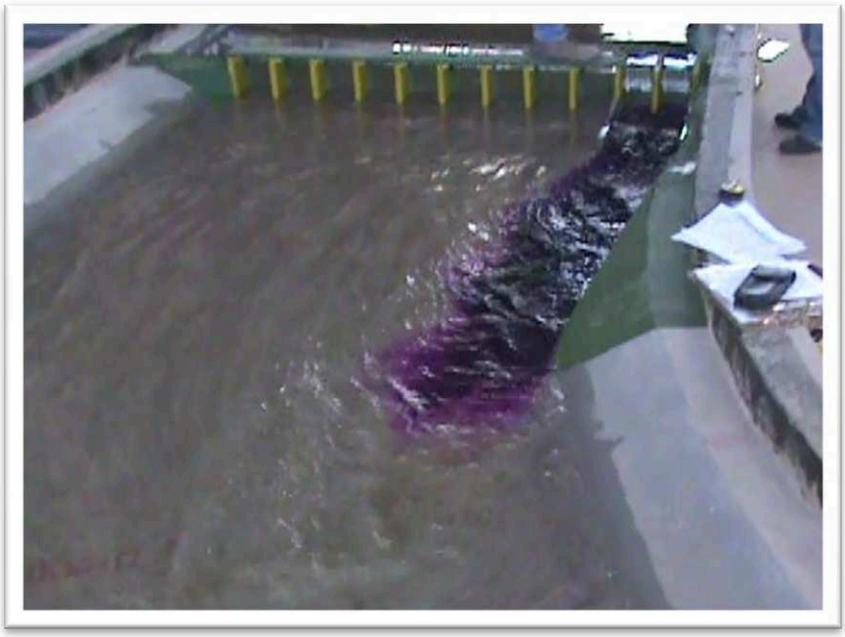
FOTOGRAFÍA 5.11 Separación de la lámina de agua al ingreso en los vertederos.

Como se observa en la Fotografía 5.11 existe una separación en la lámina del flujo en el ingreso de los vertederos, produciendo que el ancho efectivo del vertedero no sea el calculado (8 m en cada vano), esto se traduce en un aumento de calado aguas arriba, como se demostró en la prueba realizada, donde el nivel aguas arriba de las obras de cierre fue 16.36 m.s.n.m.

Existen velocidades altas al final del cuenco del orden de 7.36 m/s (ver figura 5.4), además se observa una sobre elevación al final del cuenco que alcanza el nivel 10.90 m.s.n.m. para luego descender al nivel 9.35 m.s.n.m. en una franja paralela al muro de transición, la misma que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060 para luego reflejarse aguas abajo, como se aprecia en las fotografías 5.12 y 5.13.



FOTOGRAFÍA 5.12 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 9.70 m.s.n.m.



FOTOGRAFÍA 5.13 Funcionamiento y salida del flujo a través del cuenco disipador Q=350m3/s

En la figura 5.7 y 5.8 se observa el perfil de flujo en el vertedero y las velocidades obtenidas a lo largo de este para el caudal 350 m^3/seg.

IGURA 5.7 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES A TRAVÉS DEL CUENCO DISIPADOR Y CANAL (VISTA EN PLANTA)

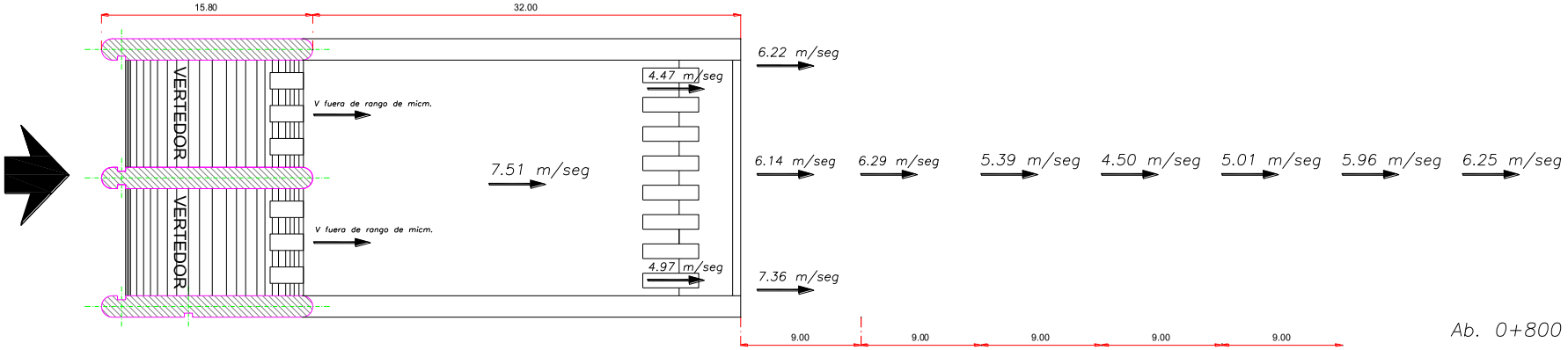
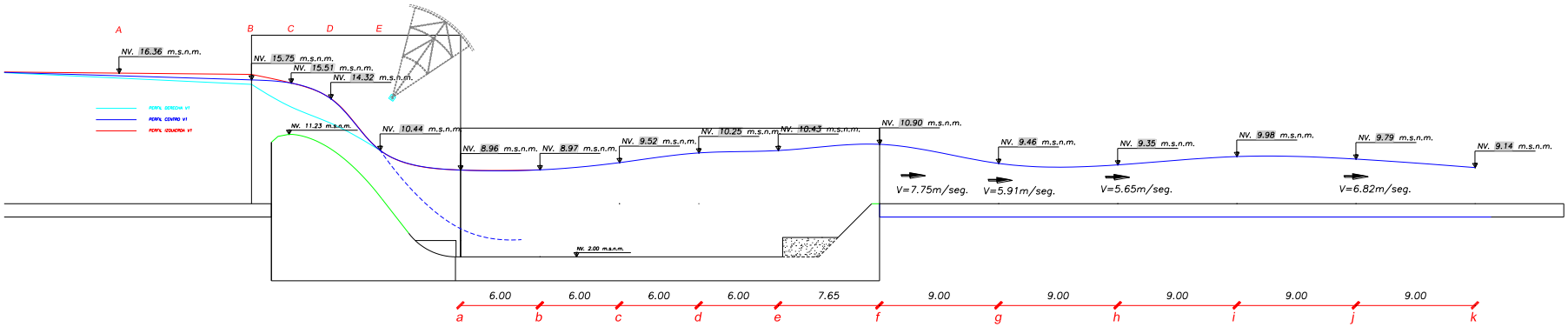


FIGURA 5.8 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO (IZQUIERDA, CENTRAL Y DERECHA) CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.4.2 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS

El objetivo de las pruebas realizadas es conocer el comportamiento del canal y las obras de cierre cuando por ellas pasen caudales mayores a 350 m^3/s que es el máximo caudal que puede transitar por los vertederos.

Se obtuvieron los valores de calado en tres puntos de cada sección y la velocidad en los ocho puntos definidos previamente.

5.4.2.1 CAUDAL 1612 m^3/s (PSA N # 01)

El nivel en la abscisa 1+320 fue controlado de acuerdo con la información provista por ACT en la curva de descarga característica del Rio Daule (DA-8-D), el nivel a regular fue 15.40 m.s.n.m., obteniendo un nivel de 15.38, que representa satisfactoriamente la condición de borde requerida. Ver fotografía 5.14.

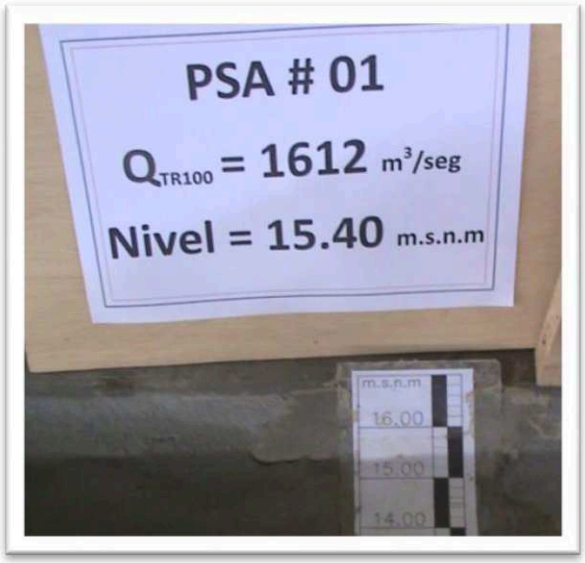
Cabe mencionar que para esta prueba a parte de la velocidad tomada a H = 0.6 D, se tomaron las mediciones a H = 0.8 D y H = 0.2 D, medidas desde la superficie de agua.

El cuadro 5.3 muestra los niveles obtenidos en la prueba de caudal 1612 m^3/seg para diferentes abscisas del canal de rectificación.

CUADRO 5.3 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA (m)	Nivel m.s.n.m.
Perfil 5.3	Varia con la Topografía
0+100	15.52
0+200	15.49
0+680	15.46
0+800	15.33
1+060	15.33
1+320	15.38
Perfil 7.3	Varia con la Topografía

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA



FOTOGRAFÍA 5.1 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 15.39 m.s.n.m.

Al analizar los patrones de flujo obtenidos en las pruebas de trazadores, se concluye que las estructuras de cierre no generan un impacto fuerte en el flujo, existe un aumento de velocidad al pasar el caudal por ellas, pero esto se produce por la disminución del área al pasar el flujo por las pilas, y estructura de regulación, ver fotografías 5.15 y 5.16.

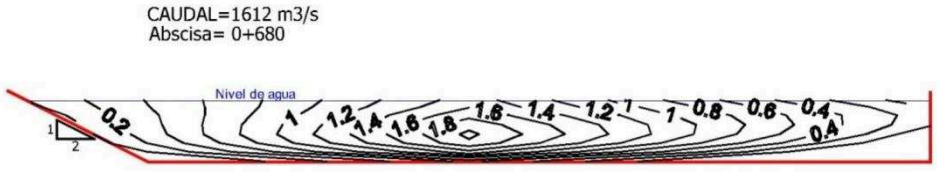
Las velocidades son mayores en la margen izquierda del canal siendo el valor medido máximo el de 1.98 m/s en la abscisa 0+200.

FOTOGRAFÍA 5.15 Líneas de flujo a través de la abscisa 0+200 y paso a través de la bocatoma

FOTOGRAFÍA 5.16 Líneas de flujo a través de la abscisa 0+680 y funcionamiento de las estructuras de cierre en la abscisa 0+700

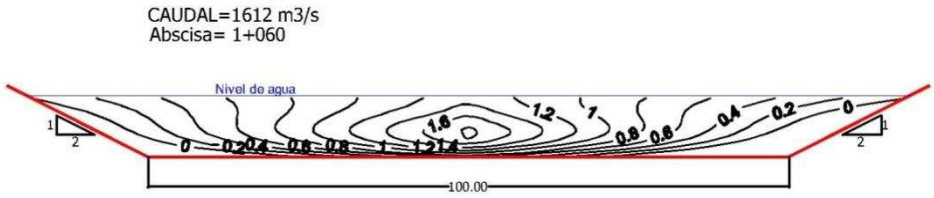
Las figuras 5.9 a 5.11, representan la distribución de velocidades para el caudal de 1612 m3/s, representan una interpolación de velocidades para diferentes puntos en la sección transversal del canal.

FIGURA 5.9 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 0+680 PARA UN CAUDAL QTR100= 1612 m^3/s



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 5.10 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+060 PARA UN CAUDAL QTR100= 1612 m^3/s

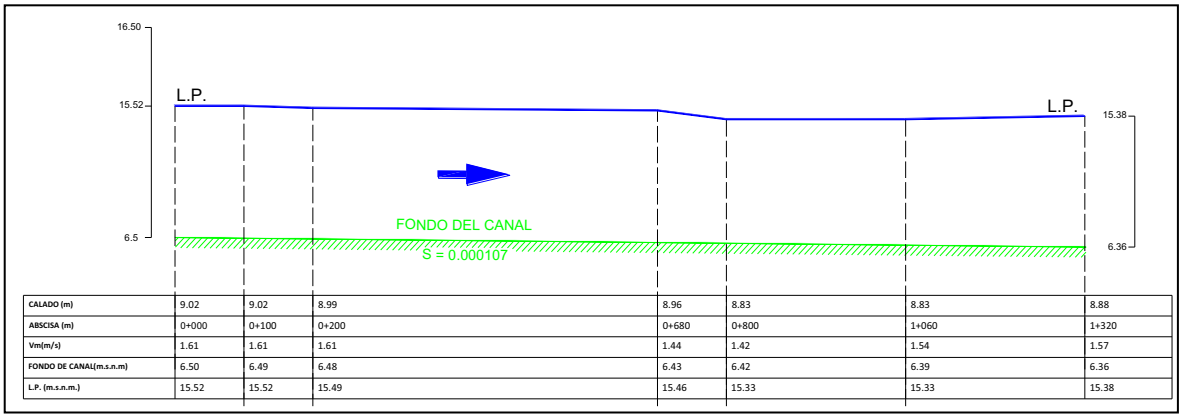


ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 5.11 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+320 PARA UN CAUDAL QTR100= 1612 m^3/s

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 5.12 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN QTR100=1612 m3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES



CALADO (m)	9.02	9.02	8.99	8.96	8.83	8.83	8.88
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.61	1.61	1.61	1.44	1.42	1.54	1.57
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	15.52	15.52	15.49	15.46	15.33	15.33	15.38

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.5 EJEMPLO DE CÁLCULO

A continuación se presenta un ejemplo detallado de la metodología para el cálculo de los parámetros hidráulicos mostrados en la figura 5.12, tomando en cuenta que en el canal de rectificación están emplazadas las estructuras de regulación.

Datos del canal de derivación:

Cota entrada = 6.5 m.s.n.m.

Cota salida = 6.36 m.s.n.m.

J = 0.000106061

L = 1320.00 m

B = 100.00 m

Z = 2.00

λ = 60

5.5.1 ECUACIONES UTILIZADAS

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Vm: Velocidad Media.

$V_{0.2}$ = Velocidad a 0.2h medida desde la superficie del agua.

$V_{0.8}$ = Velocidad a 0.8h medida desde la superficie del agua.

$V_{0.6}$ = Velocidad a 0.6h medida desde la superficie del agua.

Ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

V: Velocidad del Flujo.

n: Coeficiente de Manning.

Rh: Radio Hidráulico.

I: Pendiente.

$$\mathrm{n} = \frac{1}{\mathrm{V}} * \mathrm{Rh}^{\frac{2}{3}} * \mathrm{I}^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathrm{Rh} = \frac{\mathrm{At}}{\mathrm{Pm}}\ [\mathrm{m}]$$

At: Área transversal.

Pm: Perímetro Mojado.

Ecuación de Continuidad:

$$Q = V * A\ \left[\frac{m3}{seg}\right]$$

$$V = \frac{Q}{A}\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Ecuaciones de similitud

Velocidad

$$V_{prototipo}\ = V_{modelo}\ * \lambda^{\frac{1}{2}}\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$V_{prototipo}$: Velocidad en prototipo (m/seg).

V_{modelo}: Velocidad en modelo (m/seg).

λ: Factor de escala.

Ecuación de Micro molinete:

$$n = \frac{N}{t}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$n \leq 7.73$$

$$V = 0.0559 * n + 0.033\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$7.73 \leq n \leq 17.73$$

$$V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

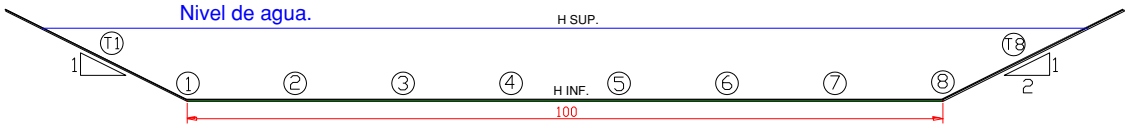
5.6 PROCESO DE MEDICIÓN

Las lecturas limnigráficas se tomaron en ocho puntos en la base del canal y una en cada talud para Q = 1612 m^3/seg como se muestra en la figura 5.13.

En cuanto a la medición de velocidades puntuales se dividió la sección transversal en 10 partes tomando la velocidad puntual a una altura de 0.6 H desde la superficie del agua.

Además en la Prueba con Tr_{100} se tomaron dos mediciones más en los puntos señalados siendo estas 0.2 H y 0.8 H respectivamente medidas desde la superficie del agua en las abscisas definidas por ACT.

FIGURA 5.13 ESQUEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES Y CALADOS EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL DE RECTIFICACIÓN.



T1: Velocidad en Talud en punto 1.
T8: Velocidad en Talud en punto 8.

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

A continuación se presentan las tablas de mediciones realizadas en el laboratorio, se tomara como ejemplo la sección transversal en la abscisa 0+680, del canal rectificado.

CUADRO 5.1 LECTURAS LIMNIMÉTRICAS MEDIDAS EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	L Limnimetro	PUNTO										MODELO h prom.	PROTOTIPO NIVEL AGUA m.s.n.m.
		T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T2		
0+100	L SUP			37.5			42.92		42.67			15.04	15.52
	LINF			22.43			27.89		27.66				
	DIF.			15.07			15.03		15.01				
0+200	L SUP			49.65			49.55		49.35			14.99	15.49
	LINF			34.75			34.62		34.22				
	DIF.			14.9			14.93		15.13				
0+680	L SUP		41.47	41.37	41.39	41.3	41.12	40.74	40.78	40.25		14.93	15.46
	LINF		26.42	26.38	26.38	26.39	26.27	25.9	25.94	25.33			
	DIF.		15.05	14.99	15.01	14.91	14.85	14.84	14.84	14.92			
0+800	L SUP			36.63			36.52		36.67			14.71	15.33
	LINF			21.68			21.46		21.64				
	DIF.			14.95			15.06		15.03				
1+060	L SUP			28.2			28.33		28.02			14.71	15.33
	LINF			13.25			13.26		13				
	DIF.			14.95			15.07		15.02				
1+320	L SUP			28.73			28.65		28.2			14.79	15.38
	LINF			13.77			13.6		13.23				
	DIF.			14.96			15.05		14.97				

ABSCISA	L Limnimetro	PUNTO									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	L SUP		37.55	37.97	38.82	39.20	39.70	40.03	40.23		
	LINF		34.19	21.20	16.98	22.63	24.36	24.50	28.75		
	DIF.		3.36	16.77	21.84	16.57	15.34	15.53	11.48		
PERFIL 7.3	L SUP	27.95	28.13	28.40	28.58	28.87	28.92	28.95	28.97	29.00	28.85
	LINF	24.57	13.85	13.92	13.37	13.28	13.25	12.40	12.30	12.93	17.63
	DIF.	3.38	14.28	14.48	15.21	15.59	15.67	16.55	16.67	16.07	11.22

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

$$Dif = Lsup - Linf$$

$$Dif = 41.3 - 26.39\ [cm]$$

$$Dif = 14.91\ [cm]$$

La diferencia de las lecturas limnigráficas superior e inferior representa el calado de agua, se tomo el promedio de los puntos en los que se midió los calado, así tenemos, para la abscisa 0+680:

$$\text{Calado Modelo promedio} = 14.93\ [\text{cm}]$$

$$\text{Calado Prototipo promedio} = 14.91 * 60\ [\text{m}]$$

$$\text{Calado Prototipo promedio} = 8.96\ [\text{m}]$$

Este ultimo valor tomando en cuenta el promedio, de todos los puntos de la abscisa 0+680.

$$\text{Nivel de agua} = 6.5 + 8.96\ [\text{m. s. n. m.}]$$

$$\text{Nivel de agua} = 15.46\ [\text{m. s. n. m.}]$$

El cuadro 5.2 presenta los valores de N medidos en laboratorio con el micro molinete para los puntos ya definidos anteriormente.

CUADRO 5.2 NUMERO DE REVOLUCIONES (N) EN MODELO MEDIDAS POR EL MICRO MOLINETE PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	N									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	*h Variable depende de la topografia*											
					93	69	118	127	129	154		
PERFIL 7.3	*h Variable depende de la topografia*											
				110	131	124	120	114	105	103	92	

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)		N									
				T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	15.04	**0.2h**	3.01										
		0.4h	6.01	98	103	57	66	87	105	113	107	112	90
		0.8h	12.03										
0+200	14.99	**0.2h**	3.00										
		0.4h	5.99	96	105	66	75	91	101	106	100	115	84
		0.8h	11.99										
0+680	14.93	**0.2h**	2.99		64	84	93	97	107	100	93	85	
		0.4h	5.97	48	75	91	101	101	115	113	108	91	0
		0.8h	11.94		89	93	108	115	131	128	118	76	
0+800	14.71	**0.2h**	2.94										
		0.4h	5.89	42	81	93	99	106	105	108	109	84	0
		0.8h	11.77										
1+060	14.71	**0.2h**	2.94		66	70	76	80	88	97	101	95	
		0.4h	5.89	54	73	82	83	93	103	108	110	100	84
		0.8h	11.77		77	84	95	111	117	125	116	105	
1+320	14.79	**0.2h**	2.96		79	100	103	107	107	102	97	93	
		0.4h	5.92	50	81	103	110	111	114	109	103	95	53
		0.8h	11.83		80	111	117	117	113	106	88	68	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

Tomando en cuenta las mediciones se realizaron a 0.2, 0.6, 0.8 h medidos desde la superficie libre; h representa el calado de agua:

$$N(0.2h) = 115$$

$$N(0.6h) = 101$$

$$N(0.8h) = 97$$

El cuadro 5.3 muestra los valores de velocidades medidas en el modelo, utilizando el micromolinete, y aplicando la ecuación característica del mismo, en función del número de revoluciones que marca la hélice.

CUADRO 5.3 VALORES DE VELOCIDAD EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	V(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	*h Variable depende de la topografia*											
					0.21	0.16	0.25	0.27	0.27	0.32		
PERFIL 7.3	*h Variable depende de la topografia*											
				0.24	0.28	0.26	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)		V(m/s)									
				T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	15.04	**0.2H**	3.01										
		0.6H	6.01	0.22	0.22	0.14	0.16	0.20	0.23	0.24	0.23	0.24	0.20
		0.8H	12.03										
0+200	14.99	**0.2H**	3.00										
		0.6H	5.99	0.21	0.23	0.16	0.17	0.20	0.22	0.23	0.22	0.25	0.19
		0.8H	11.99										
0+680	14.93	**0.2H**	2.99		0.15	0.19	0.21	0.21	0.23	0.22	0.21	0.19	
		0.6H	5.97	0.12	0.17	0.20	0.22	0.22	0.25	0.24	0.23	0.20	
		0.8H	11.94		0.20	0.21	0.23	0.25	0.28	0.27	0.25	0.17	
0+800	14.71	**0.2H**	2.94										
		0.6H	5.89	0.11	0.18	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.24	0.19	
		0.8H	11.77										
1+060	14.71	**0.2H**	2.94		0.16	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.21	
		0.6H	5.89	0.13	0.17	0.19	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.22	0.19
		0.8H	11.77		0.18	0.19	0.21	0.24	0.25	0.27	0.25	0.23	
1+320	14.79	**0.2H**	2.96		0.18	0.22	0.22	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	
		0.6H	5.92	0.13	0.18	0.22	0.24	0.24	0.25	0.24	0.22	0.21	0.13
		0.8H	11.83		0.18	0.24	0.25	0.25	0.24	0.23	0.20	0.16	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

Las velocidades para el modelo se las calcularon con la ecuación para valores de N del micromolinete.

Ecuación de Micro molinete:

$$n = \frac{N}{t}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$n \leq 7.73$$

$$V = 0.0559 * n + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$7.73 \leq n \leq 17.73$$

$$V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.2 h desde la superficie libre:

$$Para\ N(0.2h) = 115$$

$$n = \frac{115}{30} = 3.83$$

$$V = 0.0559 * 3.13 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.25 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.6 h desde la superficie libre:

$$Para\ N(0.6h) = 101$$

$$n = \frac{101}{30} = 3.36$$

$$V = 0.0559 * 2.97 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.22 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.8 h desde la superficie libre:

$$Para\ N(0.8h) = 97$$

$$n = \frac{97}{30} = 3.23$$

$$V = 0.0559 * 2.73 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.21 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 5.4 muestra los valores de velocidades en prototipo, utilizando la ecuación de similitud de Froude.

CUADRO 5.4 VALORES DE VELOCIDAD EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (m)	h(cm)	V(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	*h Variable depende de la topografia*											
					1.60	1.25	1.96	2.09	2.12	2.48		
PERFIL 7.3	*h Variable depende de la topografia*											
				1.84	2.15	2.05	1.99	1.90	1.77	1.74	1.58	

ABSCISA	Calado (m)	h(cm)		V(m/s)									
				T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	9.02	**0.2H**	1.80										
		0.6H	3.61	1.67	1.74	1.08	1.21	1.51	1.77	1.89	1.80	1.87	1.55
		0.8H	7.22										
0+200	8.99	**0.2H**	1.80										
		0.6H	3.60	1.64	1.77	1.21	1.34	1.57	1.71	1.79	1.70	1.92	1.47
		0.8H	7.19										
0+680	8.96	**0.2H**	1.79		1.18	1.47	1.60	1.66	1.80	1.70	1.60	1.48	
		0.6H	3.58	0.95	1.34	1.57	1.71	1.71	1.92	1.89	1.81	1.57	
		0.8H	7.16		1.54	1.60	1.81	1.92	2.15	2.10	1.96	1.35	
0+800	8.83	**0.2H**	1.77										
		0.6H	3.53	0.86	1.42	1.60	1.68	1.79	1.77	1.81	1.83	1.47	
		0.8H	7.06										
1+060	8.83	**0.2H**	1.77		1.21	1.27	1.35	1.41	1.53	1.66	1.71	1.63	
		0.6H	3.53	1.04	1.31	1.44	1.45	1.60	1.74	1.81	1.84	1.70	1.47
		0.8H	7.06		1.37	1.47	1.63	1.86	1.94	2.06	1.93	1.77	
1+320	8.88	**0.2H**	1.78		1.40	1.70	1.74	1.80	1.80	1.73	1.66	1.60	
		0.6H	3.55	0.98	1.42	1.74	1.84	1.86	1.90	1.83	1.74	1.63	1.02
		0.8H	7.10		1.41	1.86	1.94	1.94	1.89	1.79	1.53	1.24	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

Una vez determinadas las velocidades en el modelo, para calcular las velocidades en prototipo se utilizara la ecuación de similitud de Froude.

Velocidad

$$V_{prototipo} = V_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.2 h desde la superficie libre:

$$V_{prototipo} = 0.25 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.92 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.6 h desde

$$V_{prototipo} = 0.22 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.71 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.8 h desde la superficie libre:

$$V_{prototipo} = 0.21 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.66 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 5.5 muestra el valor de velocidades medias medidas en el modelo.

CUADRO 5.5 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	Vm(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	h Variable depende de la topografia				0.21	0.16	0.25	0.27	0.27	0.32		
PERFIL 7.3	h Variable depende de la topografia			0.24	0.28	0.26	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	

ABSCISA	Calado (cm)	Vm(m/s)									
		T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	15.04	0.22	0.22	0.14	0.16	0.20	0.23	0.24	0.23	0.24	0.20
0+200	14.99	0.21	0.23	0.16	0.17	0.20	0.22	0.23	0.22	0.25	0.19
0+680	14.93	0.12	0.17	0.20	0.22	0.23	0.25	0.24	0.23	0.19	0.00
0+800	14.71	0.11	0.18	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.24	0.19	0.00
1+060	14.71	0.13	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.24	0.24	0.22	0.19
1+320	14.79	0.13	0.18	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.22	0.20	0.13

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

La velocidad media se calculara tomando en cuenta los valores medidos a 0.2h, 0.4h y 0.8h mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.25 * (0.25 + 0.21 + 2 * 0.22) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.23 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 5.6 muestra el valor de las velocidades media en prototipo, utilizando la ecuación de similitud de Froude.

CUADRO 5.6 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (m)	h(cm)	Vm(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	h Variable depende de la topografia		-	-	1.60	1.25	1.96	2.09	2.12	2.48	-	-
PERFIL 7.3	h Variable depende de la topografia		-	1.84	2.15	2.05	1.99	1.90	1.77	1.74	1.58	-

ABSCISA	Calado (m)	Elev. Agua (m.s.n.m.)	Vm(m/s)									
			T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	9.02	15.52	1.67	1.74	1.08	1.21	1.51	1.77	1.89	1.80	1.87	1.55
0+200	8.99	15.49	1.64	1.77	1.21	1.34	1.57	1.71	1.79	1.70	1.92	1.47
0+680	8.96	15.46	0.95	1.35	1.55	1.71	1.75	1.94	1.89	1.80	1.49	0.00
0+800	8.83	15.33	0.86	1.42	1.60	1.68	1.79	1.77	1.81	1.83	1.47	0.00
1+060	8.83	15.33	1.04	1.30	1.40	1.47	1.62	1.74	1.84	1.83	1.70	1.47
1+320	8.88	15.38	0.98	1.41	1.76	1.84	1.86	1.87	1.79	1.67	1.52	1.02

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

La velocidad media se calculara tomando en cuenta los valores medidos a 0.2h, 0.4h y 0.8h mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.25 * (1.92 + 1.66 + 2 * 1.71) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 1.75 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

El cuadro 5.7 muestra el resumen de velocidades, y nivel de agua para las diferentes abscisas en el canal de recirculación.

CUADRO 5.7 RESUMEN DE CALADOS, VELOCIDAD PROMEDIO Y NIVEL DE AGUA PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado(m)	Vm(m/s)	Nivel Agua m.s.n.m.
0+000	9.02	1.61	15.52
0+100	9.02	1.61	15.52
0+200	8.99	1.61	15.49
0+680	8.96	1.44	15.46
0+800	8.83	1.42	15.33
1+060	8.83	1.54	15.33
1+320	8.88	1.57	15.38

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para la abscisa 0+680:

Vm: Representa el promedio de las velocidades medidas en los 8 puntos en los que se dividió la sección transversal de la base del canal de derivación, tomando en cuenta las velocidades en T1 y T8 (velocidad en talud punto 1, velocidad en talud punto 8, respectivamente).

$$Vm = \frac{0.95 + 1.35 + 1.55 + 1.71 + 1.75 + 1.94 + 1.89 + 1.80 + 1.49 + 0.00}{8} \left[\frac{m}{s}\right]$$

$$Vm = 1.44 \left[\frac{m}{s}\right]$$

5.6.1.1 CAUDAL 1220 m^3/s (PSA N # 02)

El nivel en la abscisa 1+320 fue controlado de acuerdo con la información provista por ACT, en la curva de descarga característica del Río Daule (DA-8-D), el nivel regulado fue 13.90 m.s.n.m. ver fotografía 5.17 y 5.18

El cuadro 5.8 muestra los niveles obtenidos en la prueba de caudal 1220 m^3/seg para diferentes abscisas del canal de rectificación.

CUADRO 5.8 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=1220 m^3/seg

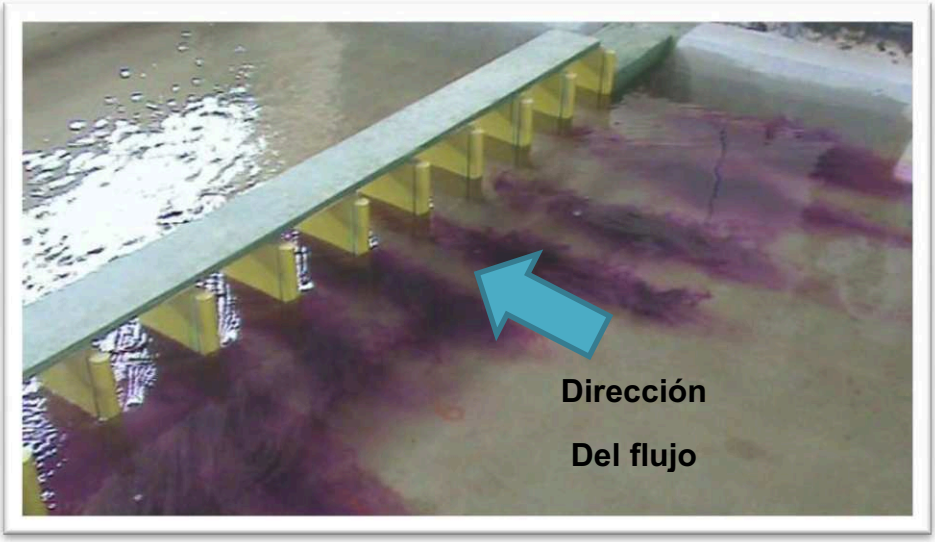
ABSCISA (m)	Nivel m.s.n.m.
Perfil 5.3	Varia con la Topografía
0+100	14.06
0+200	13.94
0+680	13.73
0+800	13.68
1+060	13.91
1+320	14.04
Perfil 7.3	Varia con la Topografía

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FOTOGRAFÍA 5.17 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 13.90 m.s.n.m.

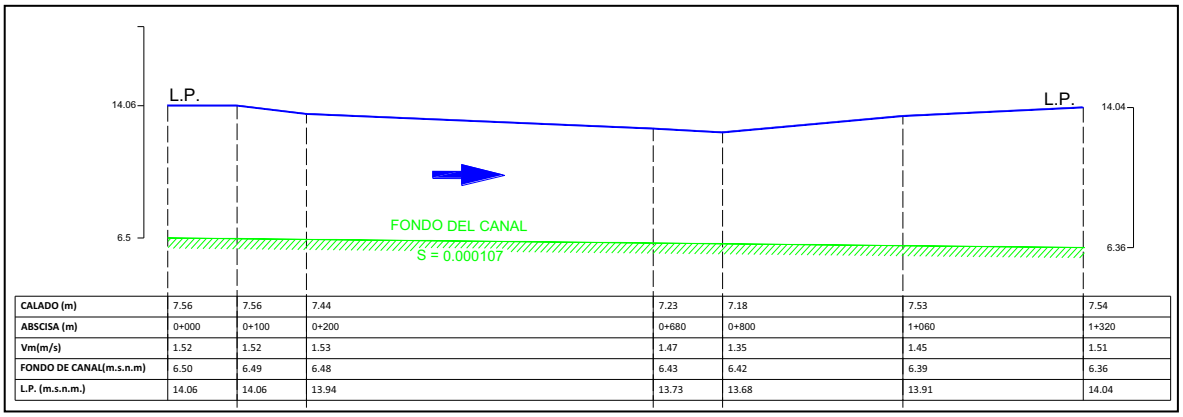
FOTOGRAFÍA 5.18 Nivel en la abscisa 0+200 y paso del flujo a través de la bocatoma

Al analizar los patrones de flujo obtenidos en las pruebas de trazadores, se concluye que las estructuras de cierre no generan un impacto fuerte en el flujo, existe un aumento de velocidad al pasar el caudal por ellas, pero esto se produce por la disminución del área generando así el efecto antes descrito, ver fotografía 5.19.



FOTOGRAFÍA 5.19 Líneas de flujo a través de la abscisa 0+680 y funcionamiento de las estructuras de cierre en la abscisa 0+700.

FIGURA 5.14 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR20}=1220 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.



CALADO (m)	7.56	7.56	7.44	7.23	7.18	7.53	7.54
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.52	1.52	1.53	1.47	1.35	1.45	1.51
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	14.06	14.06	13.94	13.73	13.68	13.91	14.04

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.6.1.2 CAUDAL 1143 m^3/seg (PSA N # 03)

El nivel en la abscisa 1+320 fue controlado de acuerdo con la información provista por los consultores en la curva de descarga característica del Río Daule (DA-8-D), el nivel regulado fue 13.45 m.s.n.m., ver fotografía 5.20

El cuadro 5.9 muestra los niveles obtenidos en la prueba de caudal 1143 m^3/seg para diferentes abscisas del canal de rectificación.

CUADRO 5.9 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=1143 m^3/seg

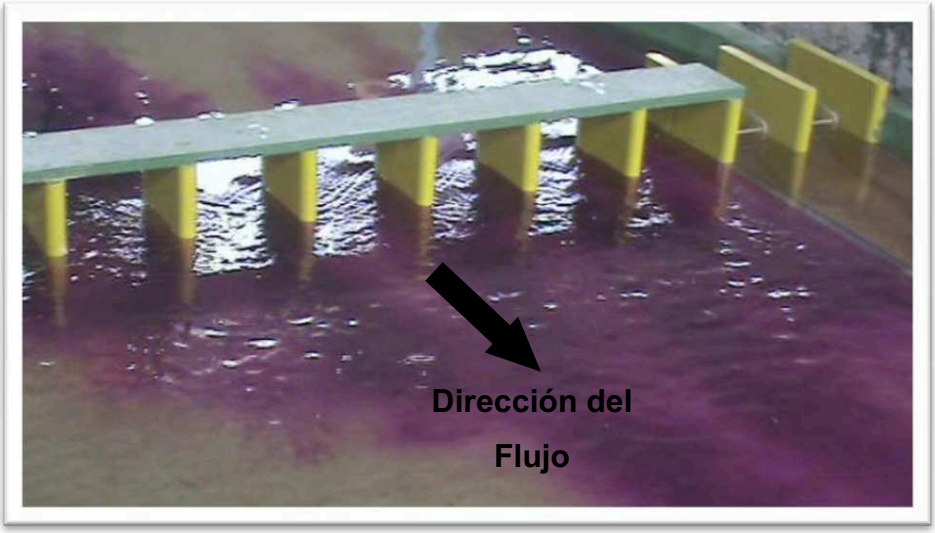
ABSCISA (m)	Nivel m.s.n.m.
Perfil 5.3	Varia con la Topografía
0+100	13.62
0+200	13.5
0+680	13.48
0+800	13.4
1+060	13.54
1+320	13.53
Perfil 7.3	Varia con la Topografía

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FOTOGRAFÍA 5.20 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 13.53 m.s.n.m.

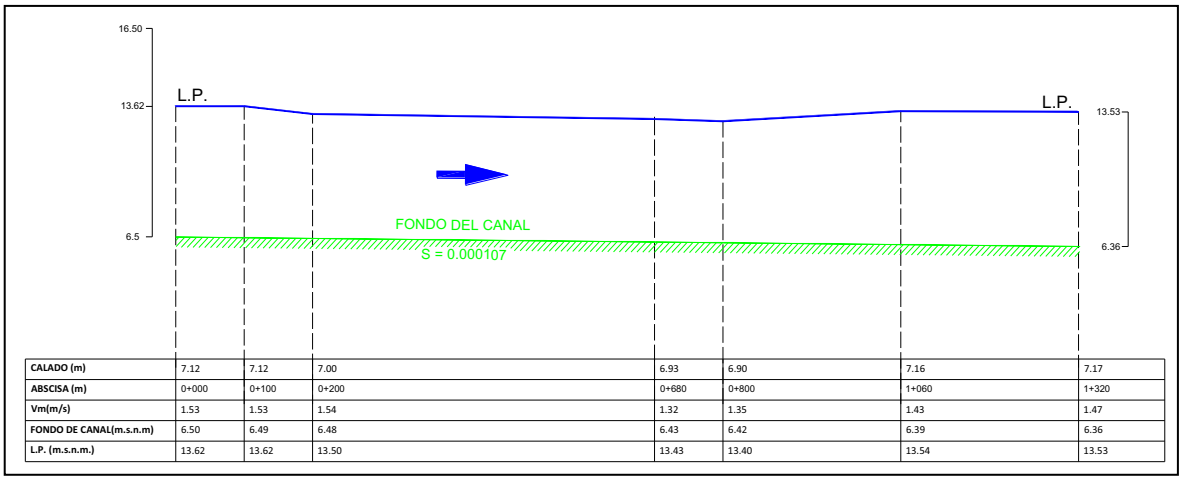
Al igual que las anteriores pruebas se sigue manteniendo similares condiciones, las velocidades son mayores en la margen izquierda del canal, este dato concuerda con lo obtenido en la etapa de calibración. Ver fotografía 5.21y 5.22.

FOTOGRAFÍA 5.21 trazadores a base de permanganato de potasio en la abscisa 0+200 y paso a través de la bocatoma



FOTOGRAFÍA 5.22 Líneas de flujo a través de la abscisa 0+680 y funcionamiento de las estructuras de cierre en la abscisa 0+700 (vista posterior)

FIGURA 5.15 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR10}=1143 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.



CALADO (m)	7.12	7.12	7.00	6.93	6.90	7.16	7.17
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.53	1.53	1.54	1.32	1.35	1.43	1.47
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	13.62	13.62	13.50	13.43	13.40	13.54	13.53

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

5.6.1.3 CAUDAL 977 m^3/seg (PSA N # 04)

El nivel en la abscisa 1+320 fue controlado de acuerdo con la información provista por los consultores en la curva de descarga característica del Río Daule (DA-8-D), el nivel regulado fue 12.83 m.s.n.m. Ver fotografía 5.23.

El cuadro 5.10 muestra los niveles obtenidos en la prueba de caudal 977 m^3/seg para diferentes abscisas del canal de rectificación.

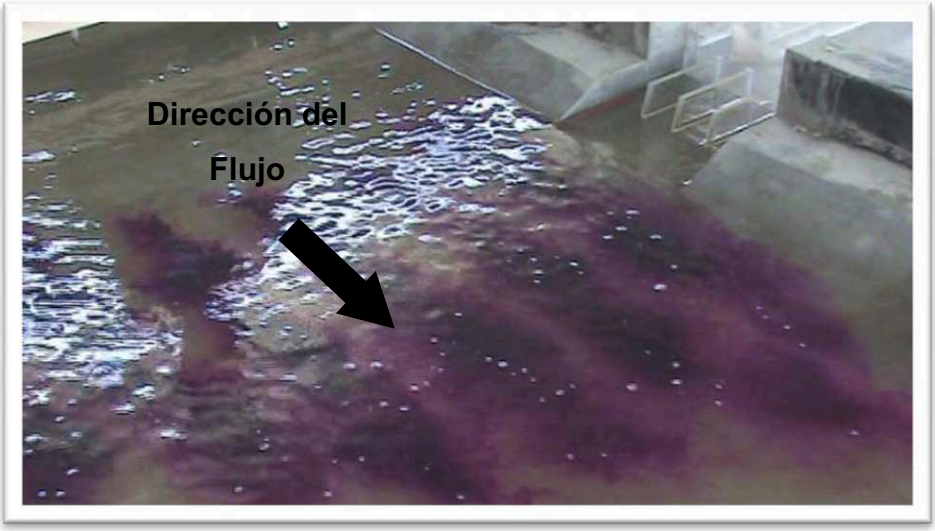
CUADRO 5.10 ELEVACIÓN DE AGUA PARA Q=977 m^3/seg

ABSCISA (m)	Nivel m.s.n.m.
Perfil 5.3	Varia con la Topografía
0+100	12.99
0+200	12.97
0+680	12.93
0+800	12.8
1+060	12.83
1+320	12.83
Perfil 7.3	Varia con la Topografía

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FOTOGRAFÍA 5.23 nivel abscisa 1+320 equivalente a 12.83 m.s.n.m.

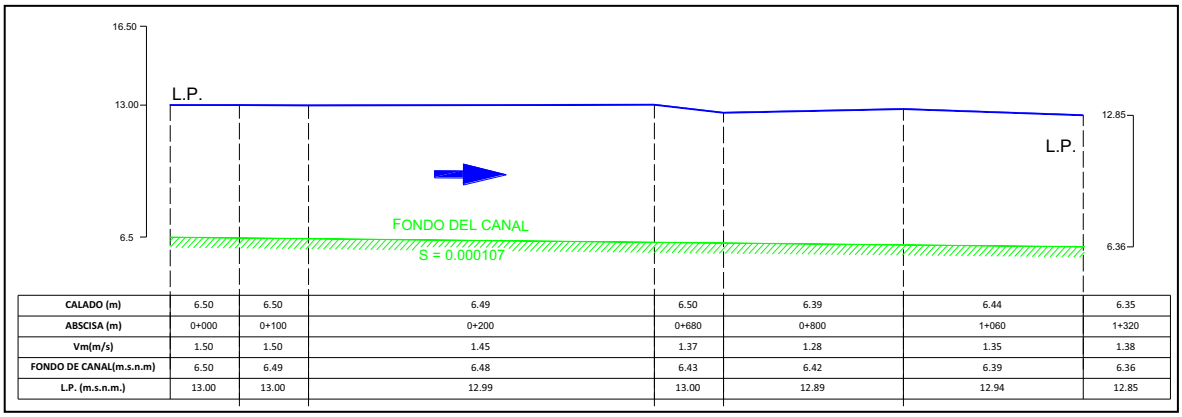
Al igual que las anteriores pruebas se sigue manteniendo similares condiciones, las velocidades son mayores en la margen izquierda del canal, este dato concuerda con lo obtenido en la etapa de calibración. Ver fotografía 5.21 y 5.22.



FOTOGRAFÍA 5.24 Trazadores a base de permanganato de potasio en la abscisa 0+200 y paso a través de la bocatoma.

FOTOGRAFÍA 5.25 líneas de flujo a través de la abscisa 0+680 y funcionamiento de las estructuras de cierre en la abscisa 0+700 (vista posterior)

FIGURA 5.16 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR5}=977 m^3/s EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTE



CALADO (m)	6.50	6.50	6.49	6.50	6.39	6.44	6.35
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.50	1.50	1.45	1.37	1.28	1.35	1.38
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	13.00	13.00	12.99	13.00	12.89	12.94	12.85

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

En el CAPITULO 10 (ANEXOS), se presentan los cuadros de datos para todas las pruebas que se realizaron en esta etapa, ver ANEXO 3.

En el CAPITULO 10 (ANEXOS PLANOS), se encuentran los planos que muestran el perfil de velocidades, y la implantación de las diferentes mediciones para las abscisas y puntos acordados por la consultora ACT y la EPN, para los caudales establecidos en la etapa diseño original, recordando que en el canal de rectificación encuentran emplazadas las obras de regulación, ver planos:

NOMBRE DE PLANO	CODIGO
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1612m3/s	PT-TDV-13
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1220m3/s	PT-TDV-14
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1143m3/s	PT-TDV-15
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=977m3/s	PT-TDV-16
PERFIL DE FLUJO VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q: 120,240 Y 350 m3/s	PT-TDV-17

5.7 CONCLUSIONES

5.8 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADAS

- Para 350 m^3/seg las compuertas radiales permanecieron completamente abiertas sin embargo el nivel en el embalse alcanzo la cota 16.36 por arriba de la cota 16.00 m.s.n.m. propuesta por ACT, debido a la contracción del flujo en la entrada a los vertederos con una reducción del ancho efectivo L_e y un incremento de la carga H en 0.36 m. sobre la cota 16 m.

- Como se indica en la figura 5.8 (Corte del Vertedero) y la figura 5.7 (Vista en Planta del vertedero), en el cuenco disipador, se observa un flujo macro turbulento con fluctuaciones propias de un Fr_1 del orden de 4.1, determinando un nivel medido de 10.90 m.s.n.m. a la salida del cuenco disipador, y un abatimiento de la lámina de agua al descargar el flujo en el canal, con velocidades que varían entre 7.36 y 6.14 m/seg., la velocidad teórica calculada es del orden de 6 m/seg para un ancho de 17.60 m., para luego continuar aguas abajo con velocidades entre 6.29 y 6.25 m/seg. Esto se debe a que el nivel del flujo en el canal es la cota 9.70 m.s.n.m. contra los 10.90 m.s.n.m. a la salida del cuenco disipador, generándose de esta forma un barrido del flujo aguas abajo, como consecuencia de una mayor fuerza específica.

- Por otro lado a la salida del cuenco disipador, por efecto del muro de transición el flujo toma una dirección paralela a dicho muro generándose una corriente dirigida hacia la curvatura externa y otra corriente en sentido opuesto al flujo aguas abajo de los Stop Log.

- Para 240 m^3/seg con el nivel 16.03 m.s.n.m. y con una abertura de compuerta G_o= 2.69 m, se observó en el cuenco disipador similares efectos de macro turbulencia y elevaciones máximas en la descarga del cuenco disipador del orden de 10.22 m.s.n.m. y velocidades que varían entre 5.87 y 5.75 m/seg en el flujo principal que descarga en el canal. Lo cual se debe a que el nivel del flujo en el canal es la cota 8.78 m.s.n.m.

contra los 10.22 m.s.n.m. a la salida del cuenco disipador, generándose también de esta forma un barrido del flujo aguas abajo, como consecuencia de una mayor fuerza especifica en esa zona del canal. También se observa flujo principal hacia la curvatura externa y un flujo secundario hacia los Stop Log aguas abajo.

- Para 120 m^3/seg con el nivel 15.97 m.s.n.m. y con una abertura de compuerta G_o= 1.49 m, se observó en el cuenco disipador similares efectos de macro turbulencia y elevaciones máximas en la descarga del cuenco disipador del orden de 8.90 m.s.n.m. y velocidades que varían entre 4.70 y 4.41 m/seg en el flujo principal que descarga en el canal. Lo cual se debe a que el nivel del flujo en el canal es la cota 7.62 m.s.n.m. contra los 8.90 m.s.n.m. a la salida del cuenco disipador, generándose también de esta forma un barrido del flujo aguas abajo, como consecuencia de una mayor fuerza especifica en esa zona del canal. También se observa flujo principal hacia la curvatura externa y un flujo secundario hacia los Stop Logs aguas abajo.

- La diferencia de nivel en la descarga contra el nivel del flujo en el canal rectificado en todos los casos varía entre 1.20 y 1.44 m, por lo que la fuerza específica del flujo sigue siendo mayor en la descarga del flujo proveniente del cuenco disipador, con relación al flujo en el canal.

- Por otro lado, la alta velocidad del flujo proveniente del cuenco disipador contra la baja velocidad del flujo en el canal rectificado genera poco intercambio de cantidad de movimiento entre estos dos flujos (flujo rápido y flujo lento), que influyen en los patrones de flujo antes descritos dentro de la masa de agua del canal rectificado.

- La transición de la pared izquierda ubicada aguas abajo del cuenco disipador dirige el flujo hacia la curva externa del canal y genera un desprendimiento del flujo principal al interceptar con el talud del canal, lo cual es contraproducente para conseguir una mejor distribución del flujo aguas abajo.

- De la figura 5.5 a la figura 5.8 se observa que al final del cuenco disipador se produce un efecto similar a un vertedor de cresta ancha, es decir un cambio de flujo de régimen subcrítico (Final del cuenco disipador) a régimen cuasi crítico, lo que genera un incremento de velocidades. Así por ejemplo para Q=350 m^3/seg la elevación del flujo al final del cuenco disipador es 10.90 m.s.n.m. y en el canal es la elevación 9.35 m.s.n.m. con un descenso de 1.55 m y con velocidades del orden 5.65 m/seg y Fr igual a 1.05 (régimen cuasi crítico).

5.9 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS

Los caudales ensayados fueron de Tr_5=977 m^3/seg, Tr_{10}=1143 m^3/seg, Tr_{20}=1220 m^3/seg, Tr_{100}=1612 m^3/seg y las compuertas radiales cerradas.

- Para Tr_{100}=1612 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 15.48 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 15.42 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 15.40 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la clapeta de regulación de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba como aguas abajo utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos sin obras, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración, variando entre 1.42 a 1.83 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra que las obras de regulación no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados.

- Para Tr_{20}=1220 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 13.73 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 13.68 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 14.04 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la clapeta de regulación de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba como aguas abajo utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos sin obras, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración, variando entre 1.28 a 1.76 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra que las obras de regulación no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados.

- Para Tr_{10}=1143 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 13.48 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 13.40 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 13.53 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la clapeta de regulación de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba como aguas abajo utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos sin obras, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración, variando entre 1.38 a 1.80 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra que las obras de regulación no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados.

- Para Tr_5=977 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 12.93 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 12.80 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 12.83 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la clapeta de regulación de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba como aguas abajo utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos sin obras, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración, variando entre 1.27 a 1.77 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra que las obras de regulación no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados.

- El cuenco disipador para los caudales ensayados en esta etapa permaneció ahogado, sin que genere ninguna perturbación en los patrones de flujo.

5.10 RECOMENDACIONES

Tomando en consideración las características del funcionamiento de las obras de regulación correspondientes al diseño propuesto por ACT y ensayado en el modelo con una escala 1:60, y de los resultados obtenidos, se recomienda:

- En las pilas de los vertederos, se recomienda que la pila derecha y central en sentido del flujo dispongan de un paramento inclinado en su parte frontal hacia aguas arriba, en un ángulo con respecto a la vertical que varié entre 25 y 30 Grados, con objeto de incrementar el ancho efectivo de los vanos del vertedor y disminuir la carga H. Esta característica del flujo se observó en ensayos previos realizados.

- Encausar el flujo de acercamiento hacia los vertedores de regulación mediante la prolongación de la pila derecha, en longitudes y configuración que serán ensayadas cualitativamente en la segunda etapa del proyecto.

- En vista de que el caudal máximo regulado por los vertedores (350 m^3/seg) no se reparte uniformemente a todo lo ancho del canal a la salida del cuenco disipador debido al cambio brusco de sección, por lo contrario, este se concentra en un ancho similar al del cuenco, obteniendo velocidades medidas que varían entre 6.22 y 7.36 m/seg, y que determinan una aceleración del flujo, con características de un flujo con tendencia cuasi-critico, por lo que, en función de lo cual, será necesario disminuir dichas velocidades implementando, entre otras soluciones, una transición en planta, al final del cuenco disipador, que vaya incrementando el ancho de manera gradual hasta un ancho que arroje velocidades manejables. Igualmente se recomienda una transición en contrapendiente del fondo que empate al fondo del disipador con el fondo del rio. Se espera que el resultado será el mantener luego del resalto hidráulico, un flujo subcrítico hasta la entrega final del rio.

- Al incrementar el ancho del cuenco disipador se prevé una disminución de la elevación del calado conjugado al final del resalto hidráulico, menor

a la determinada por las condiciones de borde aguas abajo, y por consiguiente un resalto hidráulico sumergido y confinado en el cuenco disipador.

- De las observaciones del patrón de flujo generado por la transición de la pared izquierda ubicada aguas abajo del cuenco disipador, esta trabaja como un deflector dirigiendo el flujo hacia la curva externa del canal, por lo que debe ser mejorada con un ángulo de deflexión menor para evitar el desprendimiento del flujo principal en la curva interna del canal, o una transición divergente que encauce de mejor manera el flujo.

- De pruebas cualitativas realizadas en el modelo levantando las dos compuertas de la margen derecha de las obras de regulación, se observó una mejor distribución del flujo en el tramo de la curva sin que exista desprendimiento del mismo como en el caso anterior, aclarando que el flujo estuvo siempre concentrado hacia la margen derecha de la curva y con flujo rápido. Por lo que otra opción para mejorar el patrón de flujo, sería implantar los vertederos en la margen derecha del canal, sin que esto garantice una disminución en las velocidades de descarga.

- Se considera que al disminuir las velocidades en la descarga del flujo del cuenco disipador hacia el canal para el caudal de diseño de los vertedores, también se logrará mejorar los flujos para los caudales menores de 240 y 120 m^3/seg.

CAPITULO 6

ANALISIS DE VARIANTES

De lo observado en el capitulo anterior ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS CON EL DISEÑO PROPUESTO, se presentan graves problemas hidráulicos (velocidades altas en la salida del cuenco disipador del orden de 7.5 m/s para Q = 350 m^3/s, lo que no puede ser controlado aguas abajo del mismo), y se deben buscar alternativas en el modelo físico que permitan a priori solucionar los problemas que se presenten en el prototipo, a continuación se detallaran variantes que permitan mejorar su funcionamiento.

Se realizaron pruebas cualitativas y cuantitativas, en la entrada y salida del flujo de la estructura de regulación donde se presentan mayores problemas, en las diferentes estructuras (pilas, cuenco disipador) para comprobar cuál de estas alternativas generaba los mejores resultados.

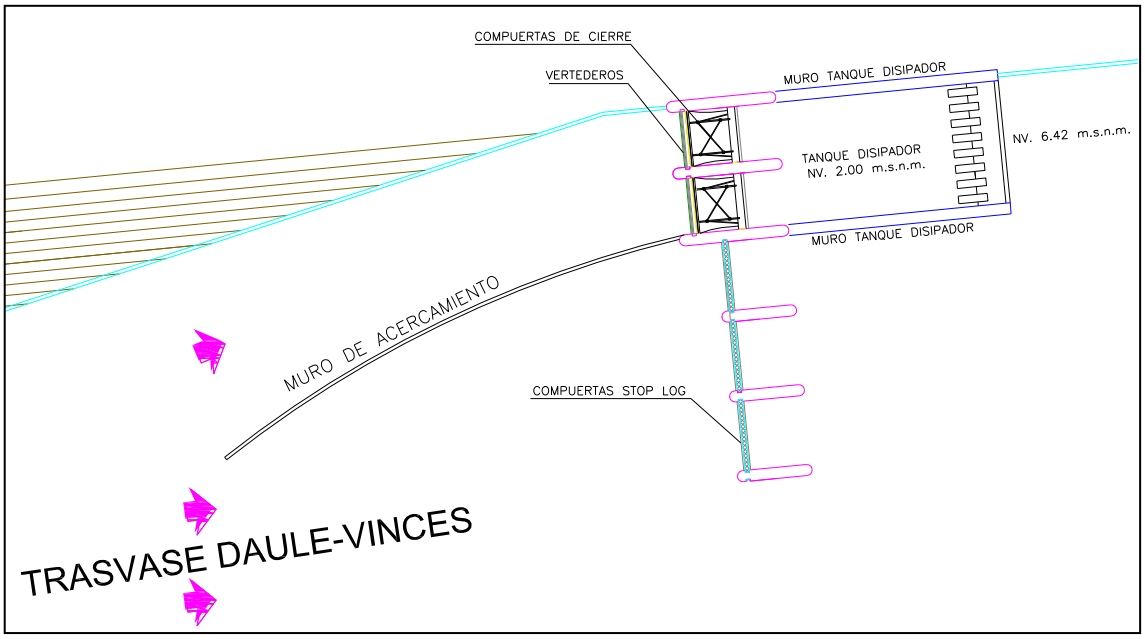
6.1 MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES AL INGRESO DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN

Para mejorar el flujo de acercamiento a las pilas de los vertederos, se realizaron pruebas expeditivas para analizar la mejor propuesta, que contribuya al correcto comportamiento hidráulico de estas.

6.1.1 VARIANTE 1: MURO DE ACERCAMIENTO AL VERTEDERO DE REGULACIÓN

Esta alternativa permite encausar el flujo de acercamiento hacia los vertederos de regulación mediante la construcción de un muro aguas arriba de los vertederos con el objetivo de mejorar el comportamiento hidráulico de las pilas y mejorar el ancho efectivo del flujo en el vertedero, ver figura 6.1.

FIGURA 6.1 VISTA EN PLANTA DE VARIANTE 1: MURO DE ACERCAMIENTO AL VERTEDERO DE REGULACIÓN



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

6.1.1.1 Evaluación y resultados observados

De las observaciones del ensayo, videos, y fotografías realizadas se puede concluir lo siguiente:

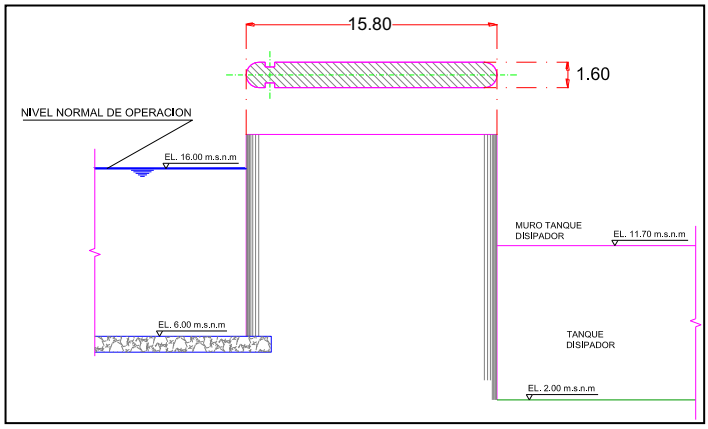
- La prueba cualitativa realizada con la prolongación de la pila derecha (Muro de acercamiento), generó una leve mejora en el comportamiento hidráulico de la pila, pero no mejoró las condiciones deseadas al ingreso del flujo, ya que lo que se pretende es aumentar el ancho efectivo del flujo en el vano del vertedor.

FOTOGRAFÍA 6.1 Variante con muro de acercamiento al vertedero de regulación.

6.1.2 VARIANTE 2: PARAMENTO DE PILAS

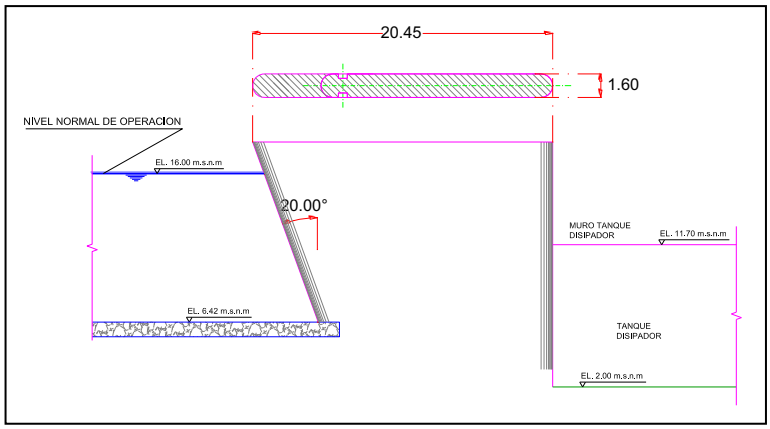
La alternativa propuesta consiste en la construcción de un paramento inclinado en su parte frontal hacia aguas arriba, en un ángulo con respecto a la vertical que varié entre 20 y 30 Grados, con objeto de mejorar el acercamiento del flujo, permitiendo que la lamina de agua se mantenga lo más uniforme, de esta manera incrementar el ancho efectivo del flujo en los vanos del vertedero, y disminuir la carga H para conseguir la cota aguas arriba de las estructuras de regulación (16 m.s.n.m.). En la figura 6.2 se muestra el diseño original planteado por los consultores, en las figura 6.3 y 6.4, se muestra las variantes propuestas por la EPN con un ángulo de inclinación del paramento de 20 y 30 grados respectivamente.

FIGURA 6.2 PILAS DISEÑO ORIGINAL.



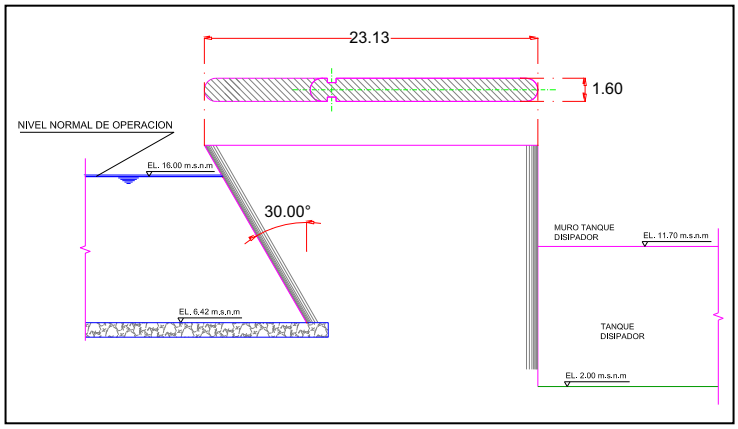
ELABORADO POR: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD

FIGURA 6.3 VARIANTE PILAS ANGULO 20 GRADOS.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 6.4 VARIANTE PILAS ANGULO 30 GRADOS.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

6.1.2.1 Evaluación y resultados observados

De las observaciones del ensayo, videos, y fotografías realizadas se puede concluir lo siguiente:

El paramento inclinado en la parte frontal de las pilas del vertedero, mejora notablemente el perfil de flujo en las pilas, ver fotografía 6.2.

FOTOGRAFÍA 6.2 Variantes del ángulo de inclinación en el paramento de las pilas.

Al analizar las dos variantes que fueron probadas en laboratorio se concluye:

- El paramento con un ángulo de inclinación igual a 30 grados presentó un mejor comportamiento hidráulico que el paramento con inclinación de 20 grados, todas estas pruebas cualitativas fueron realizadas en presencia de los consultores que también observaron este hecho. El planteamiento de esta variante es válido ya que representa un mejor acercamiento del flujo hacia los vertederos, optimizando el funcionamiento de la estructura de regulación.

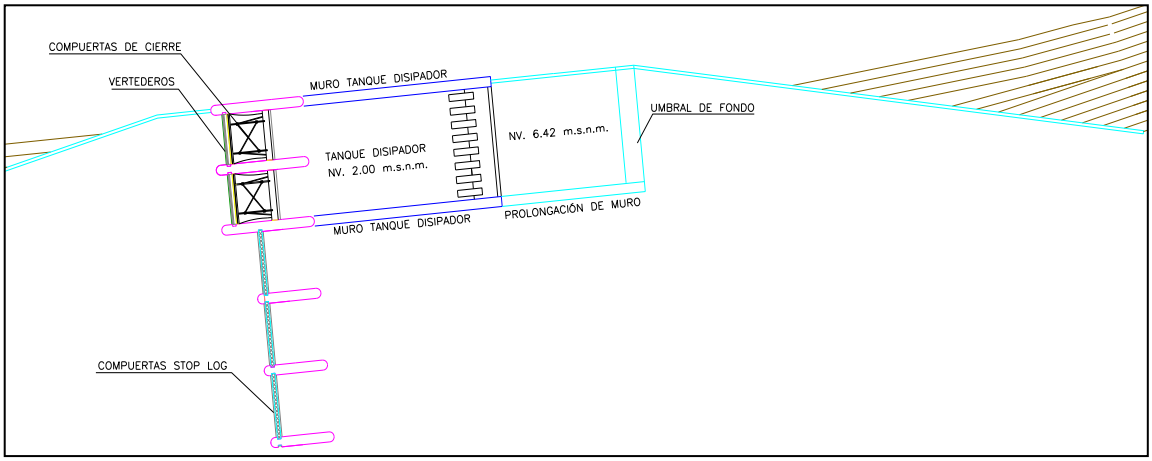
6.2 MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES A LA SALIDA DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN

Se plantearon alternativas que permitan mejorar el comportamiento hidráulico del cuenco disipador, además controlar el flujo aguas abajo del mismo, disminuyendo la velocidad y mejorando su distribución la salida.

6.2.1 VARIANTE 3: PROLONGACIÓN DEL CUENCO DISIPADOR CON UMBRAL DE FONDO

Se probaron varias alternativas para confinar de mejor manera el resalto hidráulico en el cuenco disipador, se incrementó el largo del cuenco disipador y se colocó un umbral de fondo al final del mismo, ver figura 6.5.

FIGURA 6.5 VISTA EN PLANTA VARIANTE 3: PROLONGACIÓN DEL CUENCO DISIPADOR CON UMBRAL DE FONDO



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

6.2.1.1 Evaluación y resultados observados

De las observaciones del ensayo, videos, y fotografías realizadas se puede concluir lo siguiente:

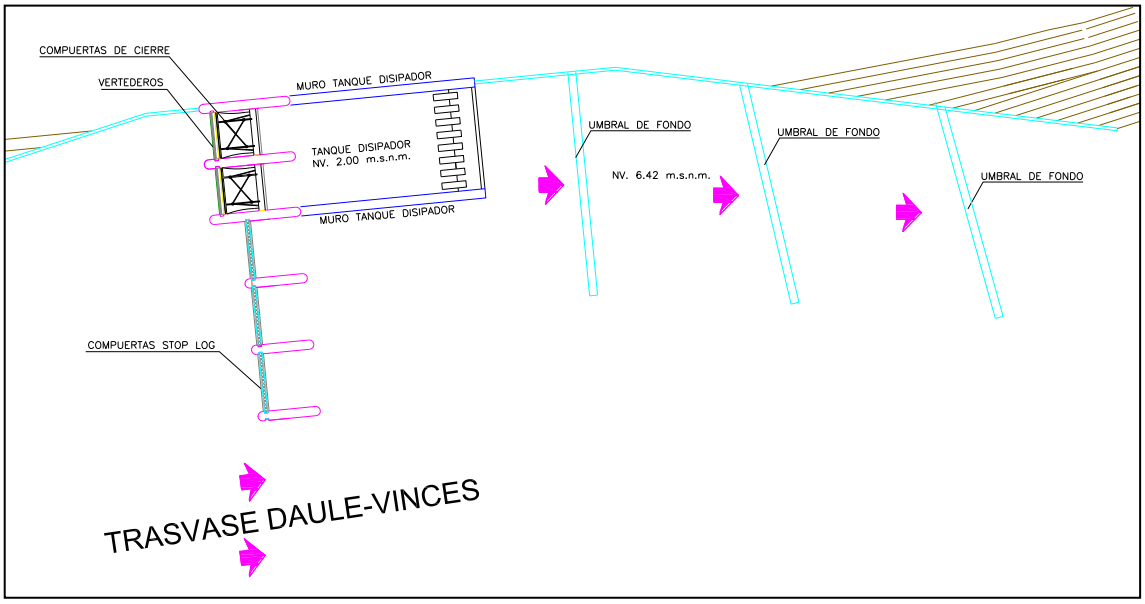
- En el análisis de esta variante se comprobó que el efecto se trasmitía aguas abajo de la prolongación, y se observan los mismos fenómenos hidráulicos correspondientes al abatimiento de la lámina de flujo (velocidades altas a la salida del cuenco disipador). Esta variante no es

válida ya que no se soluciona el problema principal de las altas velocidades y la concentración del flujo a la salida del cuenco disipador.

6.2.2 VARIANTE 4: UMBRALES DE FONDO ESCALONADOS

Se colocaron varios umbrales de fondo transversales (espigones) a la salida del cuenco disipador de diferentes longitudes y en diferentes abscisas para mejorar el comportamiento del flujo aguas abajo del cuenco disipador, al igual que las pruebas anteriores estas fueron de carácter cualitativo, ver figura 6.6.

FIGURA 6.6 VISTA EN PLANTA VARIANTE 4: UMBRALES DE FONDO ESCALONADOS



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

6.2.2.1 Evaluación y resultados observados

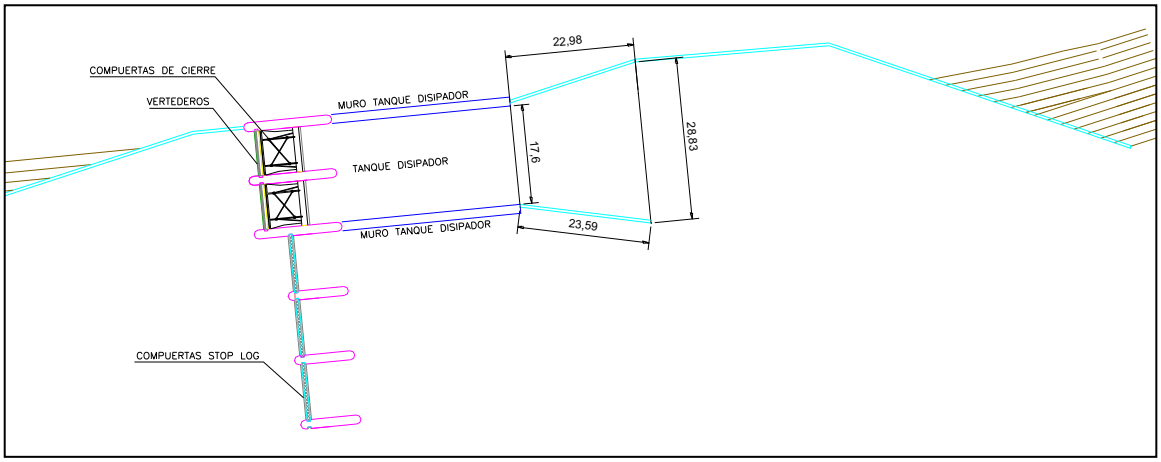
De las observaciones del ensayo, videos, y fotografías realizadas se puede concluir lo siguiente:

- Para los umbrales en el fondo del canal, se observó una mejor distribución de la pluma aguas abajo del cuenco, pero las velocidades se mantenían altas, además se generaron efectos parecidos a las primeras pruebas cualitativas con el cuenco alargado, es decir que el efecto se trasmitía aguas abajo de los umbrales.

6.2.3 VARIANTE 5: ENSANCHAMIENTO A LA SALIDA DEL CUENCO DISIPADOR

Se trata de la construcción de una transición a la salida del cuenco disipador, consiste en una transición en planta, al final del mismo, que vaya incrementando el ancho de manera gradual, conservando el ancho original del cuenco disipador (17.60 m a 28.8 m), con una transición en contrapendiente que enlace el extremo del fondo del cuenco disipador (Nv. 2.00 m.s.n.m.), con el cauce del canal (Nv. 6.42 m.s.n.m.), esta prueba fue de carácter cuantitativo ya que con el uso del micro molinete se pudieron medir las velocidades a la salida de la transición propuesta, ver figura 6. 7.

FIGURA 6.7 VISTA EN PLANTA VARIANTE 5: ENSANCHAMIENTO A LA SALIDA DEL CUENCO DISIPADOR



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

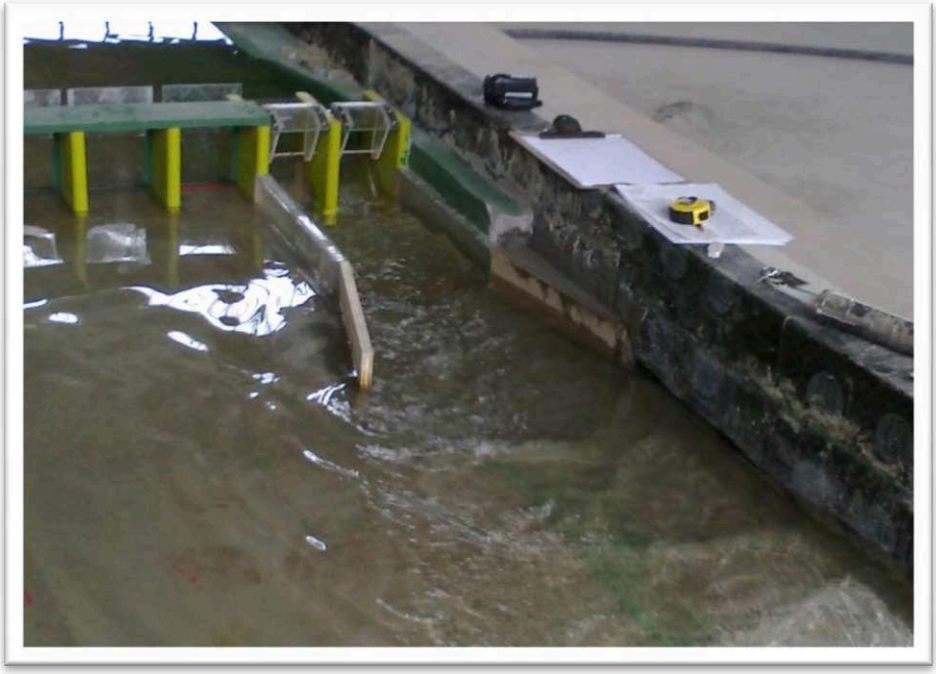
6.2.3.1 Evaluación y resultados observados

De las observaciones del ensayo, videos, y fotografías realizadas se puede concluir lo siguiente:

En la prueba cuantitativa realizada con la transición gradual del ancho original del cuenco correspondiente 17.6 m a 28.8 m, en contra pendiente desde la cota de la base del cuenco (2.00 m.s.n.m.) hasta el fondo del canal (6.42 m.s.n.m.), se obtuvieron los siguientes resultados:

- Como se observa en la fotografía 6.3, el resalto es mejor confinado en el cuenco disipador, no presenta la macro turbulencia observada en las

pruebas similares realizadas con el diseño original ni tampoco en las pruebas expeditivas antes mencionadas.



FOTOGRAFÍA 6.3 Ensanchamiento a la salida del cuenco disipador.

- Es considerable el decremento producido en la velocidad en la salida del cuenco disipador, que en su configuración inicial se obtuvieron velocidades entre 6 y 7 m/seg, en esta prueba la velocidad máxima fue del orden de 4.81 m/seg en el centro del cuenco y 4.2 m/seg en los extremos produciéndose así un decremento del 31% entre sus velocidades máximas (7 y 4.81 m/seg.).
- El calado en la salida del vertedero fue de 5.5 cm en modelo que es equivalente a 3.3 m en prototipo, el caudal unitario en esta prueba fue q=8.68 m^3/seg, por consiguiente el Yc = 1.972 m, que comparado con el calado obtenido de 3.3 m, se observa que el flujo ya no se encuentra en un régimen cuasi crítico, lo que contribuye al mejoramiento del comportamiento hidráulico.

$$Yc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

Yc: Calado critico.

q: Caudal Unitario.

g: Aceleración de la gravedad.

$$Yc = \sqrt[3]{\frac{8.68^2}{9.81}}$$

$$Yc = 1.972\, m.$$

6.3 CONCLUSIONES

De lo observado en las pruebas del análisis de variantes se puede concluir que:

- La prueba cualitativa realizada con la prolongación de la pila derecha y central generó una leve mejora en el comportamiento hidráulico de la pila, pero no satisfizo las condiciones deseadas al ingreso del flujo, esto es aumentar el ancho efectivo del flujo en el vano del vertedor.

- El paramento inclinado en la parte frontal de las pilas del vertedero, mejora notablemente el ancho efectivo del flujo entre las pilas al ingreso del vertedero de regulación.

- El paramento con un ángulo de inclinación igual a 30 grados en la parte frontal de las pilas, presentó un mejor comportamiento hidráulico que el paramento con inclinación de 20 grados.

- Para el cuenco alargado, se comprobó que el efecto se trasmitía aguas abajo del alargamiento, y se observaba los mismos fenómenos hidráulicos correspondientes al abatimiento de la lámina de flujo (velocidades altas luego del cuenco disipador), por tanto esta opción no es válida para solucionar el problema principal de las altas velocidades a la salida del cuenco disipador.

- Para los umbrales (espigones) en el fondo del canal aguas abajo del cuenco disipador, se observó una mejor distribución de la pluma, pero

las velocidades se mantenían altas, además generábamos efectos parecidos a las primeras pruebas cualitativas con el cuenco alargado, es decir que el efecto se trasmitía aguas abajo de los umbrales.

- En la prueba expeditiva realizada con la transición gradual del ancho original del cuenco correspondiente 17.6 m a 28.8 m, en contra pendiente desde la cota de la base del cuenco hasta el fondo del canal, se obtuvo velocidad en la salida de la transición igual a 4.81 m/seg en el centro del cuenco y 4.2 m/seg en los extremos produciéndose así un decremento del 31% entre sus velocidades máximas medidas en el diseño original. Esta prueba cualitativa dio lugar al diseño de una variante final con una configuración similar. En el CAPITULO 7 (DISEÑO FINAL), se presenta el dimensionamiento definitivo, para esta variante.

CAPITULO 7

ANÁLISIS DE PRUEBAS CON DISEÑO FINAL

7.1 INTRODUCCIÓN

En el capitulo anterior ANÁLISIS DE VARIANTES, se presentaron diferentes opciones que permitan mejorar el funcionamiento hidráulico en caso particular de la estructura de regulación, en donde, el problema principal es las altas velocidades a la salida del cuenco disipador, y la concentración del flujo a la salida del mismo. Siendo la mejor alternativa, la del ensanchamiento en la salida del cuenco disipador, con la cual se realizaran las pruebas finales. En el presente capitulo se presenta el funcionamiento de esta variante tomando en cuenta el dimensionamiento final presentado por ACT. Ver CAPITULO 10 (ANEXO PLANOS), ver planos:

NOMBRE DE PLANO	CÓDIGO
ESTRUCTURA DE CIERRE PROTOTIPO - PLANTA	ODD-102
ESTRUCTURA DE CIERRE PROTOTIPO -CORTE	ODD-103

Se realizaron pruebas cualitativas, y cuantitativas en las diferentes estructuras (pilas, cuenco disipador) para comprobar el funcionamiento de las alternativas seleccionadas.

7.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO FINAL

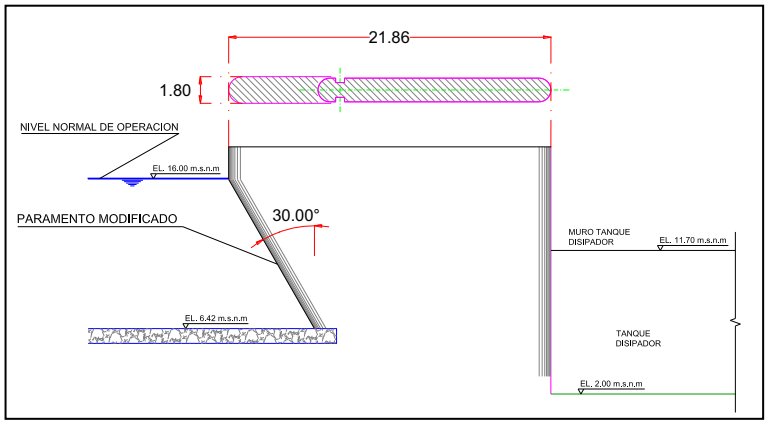
A continuación se presentan las modificaciones seleccionadas para la variante que se va a construir en el laboratorio. En el CAPITULO 10 (ANEXO PLANOS), se presenta el dimensionamiento final de la estructura de cierre presentada por ACT, y que se construyo en el laboratorio CIERHI, de la misma manera que se la realizo en la etapa del diseño original, ver planos:

NOMBRE DE PLANO	CÓDIGO
ESTRUCTURAS DE CIERRE EN MODELO	PT-TDV-18
IMPLANTACIÓN EN MODELO CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-19
CORTE LONGITUDINAL EN MODELO CON ESTRUCTURAS	PT-TDV-20

Está constituida por la implementación de las siguientes modificaciones al diseño original.

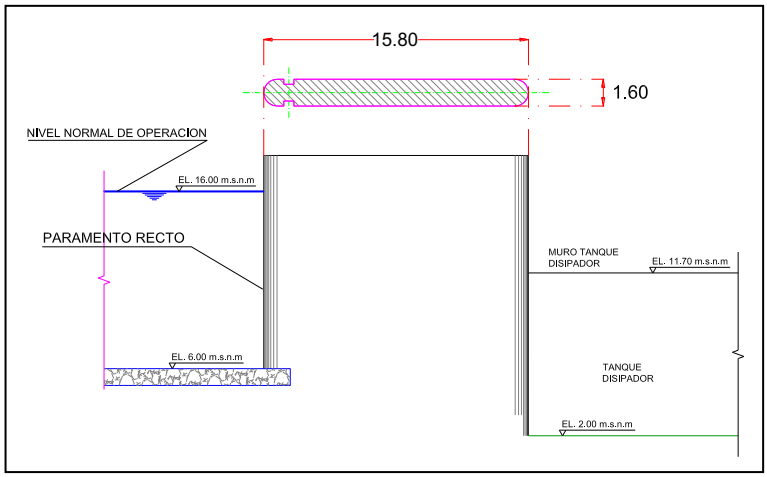
Las pilas contaran con un paramento inclinado con un ángulo de 30 grados con respecto a su eje vertical, el ancho de las pilas será de 1.80 m, como se indica en la figura 7.1, a diferencia del diseño original que tenía el paramento vertical, y el ancho de las pilas de 1.60 m, como se indica en la figura 7.2, esta modificación permite mejorar el flujo a través de las pilas con el objeto de incrementar el ancho efectivo del flujo entre las pilas del vertedor. Al igual que en la fase del diseño original estas se construyeron de madera, para luego ser colocadas en el canal de rectificación junto con los vertederos y el tanque disipador.

FIGURA 7.1 MODELO DE PILAS PRESENTADAS POR ACT Y LA EPN PARA EL DISEÑO FINAL.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 7.2 MODELO ORIGINAL DE LAS PILAS EN LA ETAPA DE DISEÑO ORIGINAL

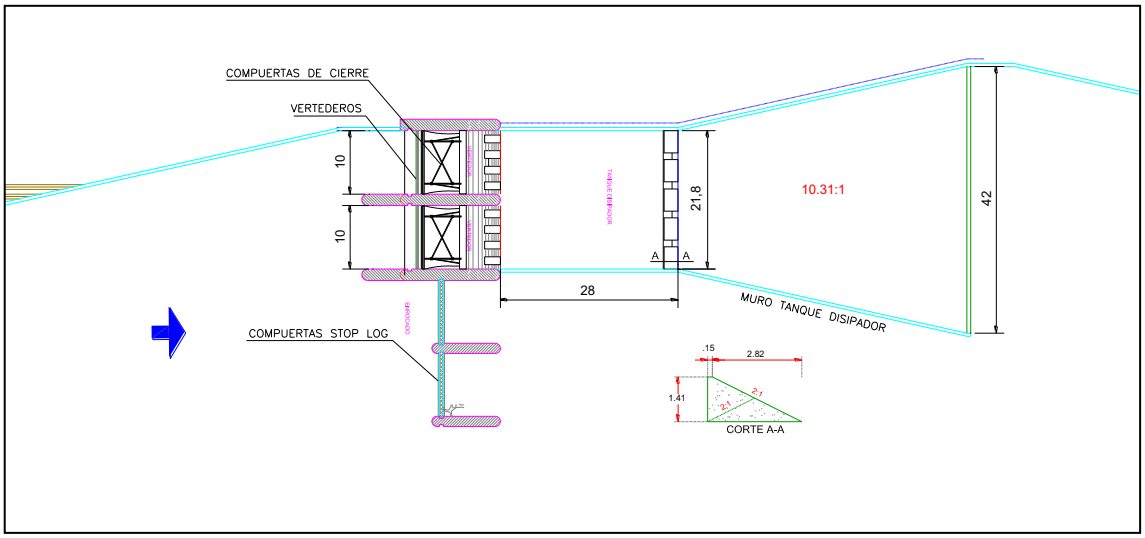


ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Los vanos entre los vertederos se incrementaran de 8 a 10 m cada uno, todo esto con el objeto disminuir el caudal unitario que pasa a través de los vertederos, cuenco disipador y descarga al canal, además la construcción de una transición en planta, al final del disipador, que vaya incrementando el ancho de manera gradual, con un ancho inicial de 21.80 m hasta alcanzar un ancho de 42.00 m, con una transición en contrapendiente que enlace el extremo del fondo del cuenco disipador con el cauce del canal, como se observa en la figura 7.3.

Al final del cuenco disipador antes de la transición se colocará dados de dimensión 1.41 m de alto por 2.82 m de ancho con labio de 0.15 m intercalados con dados de 0.74 m de alto por 2.97 m de ancho.

FIGURA 7.3 VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA DE REGULACIÓN PARA EL DISEÑO FINAL.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Es importante mencionar que las modificaciones que se realizaron solo fueron en la estructura de regulación de caudales, y no en el canal de rectificación, de esta manera no se alteran las condiciones iniciales de calibración del modelo.

Al igual que en la etapa de diseño original, las estructura de regulación de caudales se la construyó de acrílico con espesor 6 mm, material que permite ser moldeado y dar la forma de los vertederos, tanque de disipación, y bloques disipadores, la colocación de esta estructura se la realizo en conjunto en el canal de rectificación tomando en cuenta el desnivel existente entre la entrada del canal (6.5 m.s.n.m.), y el sitio de emplazamiento de estas (6.42 m.s.n.m.), la fotografía 7.1 muestra la colocación de la estructura de cierre en el canal de rectificación

FOTOGRAFÍA 7.1 colocación de la estructura de regulación de caudales.

7.3 CAUDALES SELECCIONADOS Y PROCESO DE MEDICIÓN

Las pruebas que se realizaron en esta etapa siguen la misma metodología aplicada en el capítulo de diseño original (CAPITULO 5), en lo referente a toma de velocidades y niveles de agua.

Los caudales seleccionados conjuntamente con la consultora ACT y la EPN fueron:

Con las obras de cierre completamente abiertas dejando las compuertas radiales cerradas:

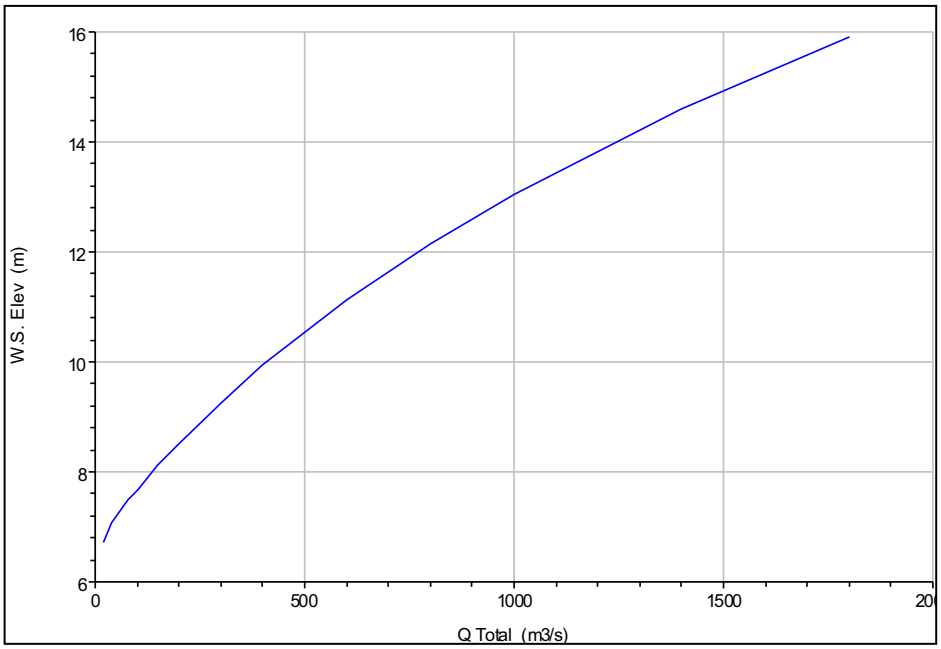
- Tr_5=977 m^3/seg
- Tr_{10}=1143 m^3/seg
- Tr_{20}=1220 m^3/seg
- Tr_{100}=1612 m^3/seg

Con las compuertas Stop Log cerradas y controlando niveles solo con los vertederos y compuertas radiales:

- Q_1=350 m^3/seg
- Q_2*=224 m^3/seg
- Q_3*=344 m^3/seg

La figura 7.4 muestra la curva de descarga para los diferentes caudales seleccionados, la calibración de los niveles en el modelo se la realizo de la misma manera que en las etapas de calibración y diseño original, mediante una clapeta de regulación colocada a la salida del canal de rectificación.

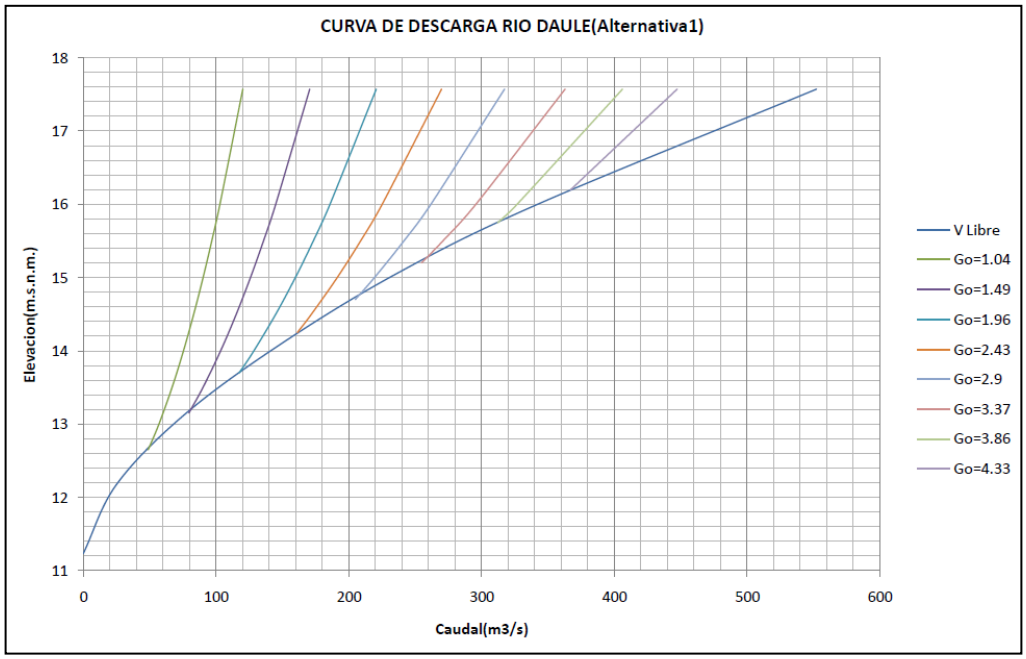
FIGURA 7.4 CURVA DE DESCARGA DEL RIO DAULE AB. 1+320.



FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD

En las pruebas Q_2* y Q_3* se realizó tomando en cuenta la derivación en la toma con un valor equivalente a 104 m^3/seg, permitiendo que el caudal restante pase a través de los vertederos, regulando el nivel de funcionamiento en el embalse (16 m.s.n.m.), mediante la regulación de las compuertas tomando en cuenta la curva de descarga para diferentes aberturas (Go), ver figura 7.5, al igual que en la etapa de diseño original, la regulación de las compuertas se las realizo con el valor Y_L, por facilidad al momento de hacer las mediciones, este valor representa la distancia vertical, entre la cresta del vertedero, y el labio inferior de las compuertas.

FIGURA 7.5 CURVA DE DESCARGA PARA DIFERENTES ABERTURAS DE GO, DE LA COMPUERTA RADIAL DEL VERTEDERO.



FUENTE: ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD

7.4 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADOS

Estas pruebas se realizaron con un rango de caudales que varía entre 224 m^3/seg, realizando la captación de 104 m^3/seg por la bocatoma y dejando que el caudal sobrante pase por los vertederos, hasta 350 m^3/seg en donde la captación permaneció completamente cerrada y todo el caudal transitaba por las estructuras de regulación.

El objetivo de la realización de estas pruebas es comprobar el correcto funcionamiento de los vertederos y de las estructuras disipadoras colocadas al pie de los vertederos en su configuración final, para de esta manera lograr controlar las velocidades que se generan al final del cuenco disipador, y así poder obtener velocidades manejables en prototipo.

El control del caudal que se va a derivar por la obra de toma (104 m^3/seg), será controlado por un vertedero triangular de madera, colocado a la salida de la bocatoma, este está colocado en un canal rectangular de 0.80 m de ancho, por 0.45 m de alto, dimensiones suficientes para satisfacer el caudal requerido para el modelo (3.78 lt/seg), ver fotografía 7.2.

FOTOGRAFÍA 7.2 Vertedero de regulación de caudales en la obra de toma

Para el cálculo de la curva de descarga del vertedero de utilizo la ecuación de Hegly,(Ec. 00), esta es una de las formulas más precisas para vertederos con ángulo en el vértice θ = 90. [18]

Datos del vertedero:

w = 0.2 m

B = 0.88 m

b = 0.5 m

$$u = \left[0.5812 + \left(\frac{0.00375}{h}\right)\right] * \left[1 + \frac{h^2}{\left(B * (h + w)\right)}\right]^2$$

$$Q_R = \frac{8}{15} C_D \sqrt{2g}\, tan\frac{\theta}{2} H^{5/2}$$

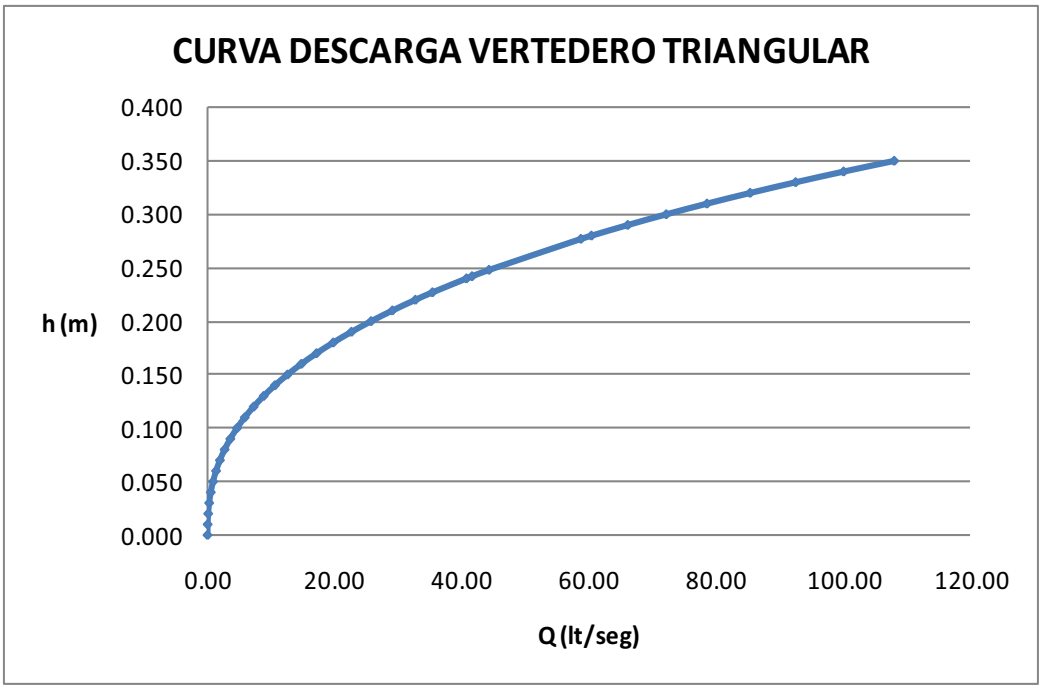
Rangos de validez de la ecuación:

Para θ=90°; 0.10 m ≤ h ≤ 0.50 m y profundidades w pequeñas.

La figura 7.6 muestra la curva de descarga para el vertedero colocado a la salida de la obra de toma, las tablas para el cálculo de la ecuación se presentan en el CAPITULO ANEXOS.

[18] HIDRÁULICA GENERAL DE SOTELO

FIGURA 7.6 CURVA DE DESCARGA DEL VERTEDERO PARA CONTROLAR EL CAUDAL EN LA OBRA DE TOMA.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.4.1 CAUDAL (Q_2*)=224 m^3/seg.

Para esta prueba se opera la compuerta de la bocatoma con el fin de realizar la captación de 104 m^3/seg, la abertura de compuerta fue 1.0 m, permitiendo así captar el caudal antes mencionado, el exceso de caudal (120 m^3/seg), transito por los vertederos.

Debido a las condiciones requeridas en esta prueba fue necesario el operar las compuertas radiales para que el nivel en el embalse llegue a la cota necesaria (16.00 m.s.n.m.), el Y_L requerido para lograr este nivel fue de 1.08 m. que directamente se refiere a una abertura G_o equivalente a 1.08 m, el nivel aguas abajo de la superficie del agua fue 7.75 m.s.n.m., equivalente a 7.80 m.s.n.m., obtenido de la curva de descarga en la abscisa 1+320 otorgada por la consultora ACT, la cota en el embalse obtenida con estas condiciones fue el 15.95 m.s.n.m. , ver fotografía 7.3 ,la fotografía 7.4, muestra el funcionamiento de la estructura de cierre para el caudal de 120 m^3/seg.

Las velocidades aguas arriba de las obras de cierre (stop log) no fueron obtenidas, esto se da a que funciona esta fase como un embalse, en donde la

velocidades son muy bajas, bajo el orden de medición del micro molinete que el laboratorio posee, como se menciono en la etapa de diseño original (CAPÍTULO 5).

FOTOGRAFÍA 7.3 Funcionamiento de la Bocatoma cota 15.95 m.s.n.m.

FOTOGRAFÍA 7.4 Funcionamiento de los Vertederos y el cuenco disipador para Q=120 m3/seg.

El comportamiento hidráulico de las pilas es el indicado, ya que no se presenta la separación de la lámina al inicio de las mismas como se presentó en las pruebas con diseño original, en la fotografía 7.5 se observa como las líneas de flujo siguen la forma de las pilas.

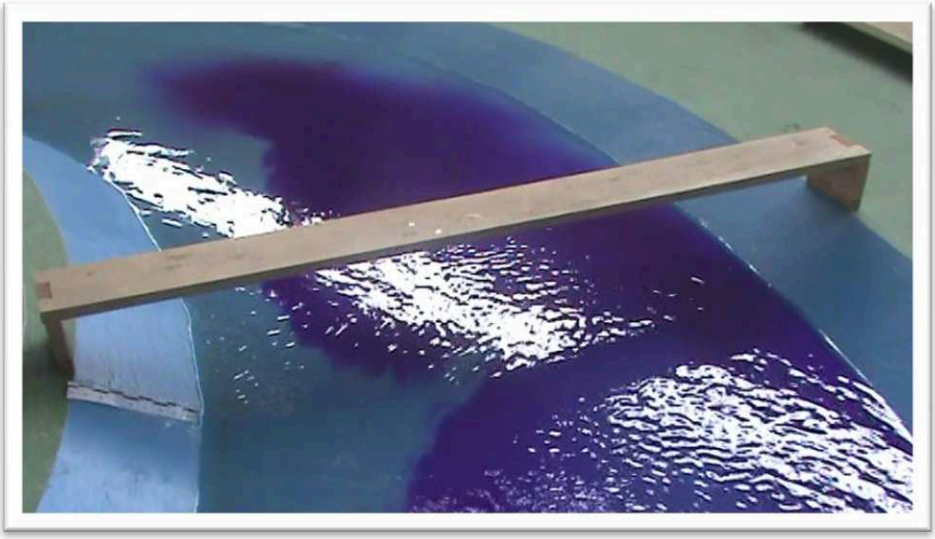
FOTOGRAFÍA 7.5 Flujo en la entrada a los vertedores para Q=120 m3/seg, funcionamiento de la pilas.

El funcionamiento hidráulico del cuenco es correcto, no existe la macro turbulencia con fuertes oscilaciones de la superficie de agua presentada en la configuración inicial, el resalto permanece correctamente confinado y no se presenta la sobre elevación de la superficie del agua al final del mismo, las paredes están dimensionadas correctamente pues proveen la altura suficiente para confinar correctamente el resalto, ver fotografía 7.6

FOTOGRAFÍA 7.6 Funcionamiento del Cuenco disipador Q=120 m3/seg.

Se observa que existen velocidades al final del cuenco del orden de 2.35 m/seg en promedio, a diferencia del diseño original 5.78 m/seg, la reducción de velocidades se encuentra en el orden del 50%, con lo que se cumple el principal objetivo del presente estudio, que es obtener velocidades manejables a la salida del cuenco disipador.

Existe un ligero desprendimiento del flujo al final del muro, el mismo que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060, para luego reflejarse aguas abajo, ver fotografía 7.7. Los efectos que se observan son esperados debido a la geometría del muro pero de intensidad mucho menor en comparación al diseño original,



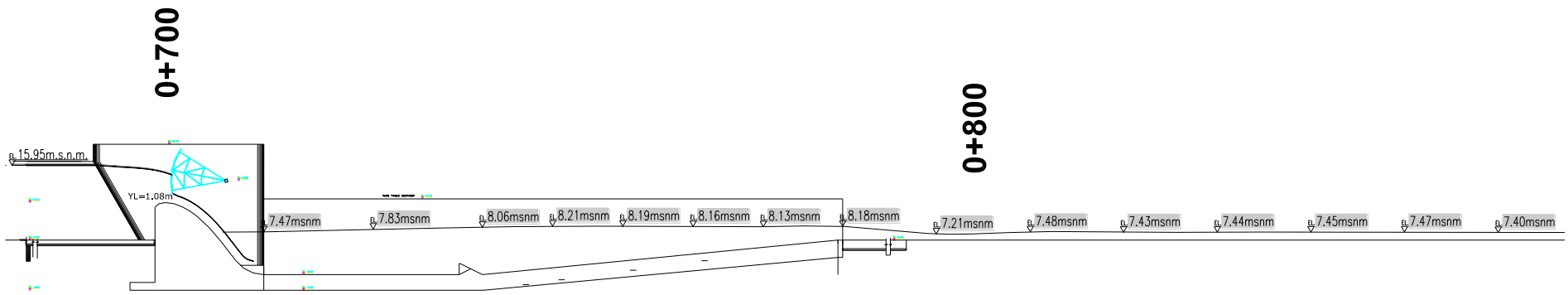
FOTOGRAFÍA 7.7 Desarrollo del flujo en el canal principal aguas abajo del cuenco disipador, ab. 1+060

La figura 7.7 muestra el perfil de flujo en el vertedero y las velocidades obtenidas a lo largo de este.

En el resto del canal los efectos producidos por el flujo fueron el cambio de la dirección de velocidad entre la abscisa 0+700 y la 0+800 en los puntos 1 y 2, con presencia de zonas muertas entre los puntos 3 y 6 marcados en el canal

Es importante mencionar que para esta prueba, no se midieron las velocidades, aguas debajo de las estructura de cierre, ya que el calado en esta zona era demasiado pequeño, que no permitía que la hélice del micromolinete se introduzca en su totalidad.

FIGURA 7.7 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL PARA Q=120 m^3/seg



ELABORADO POR: ANGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.4.2 CAUDAL (Q_3*)=344 m^3/seg.

Para esta prueba se opera la compuerta de la bocatoma con el fin de realizar la captación de 104 m^3/seg, la abertura de compuerta fue 1.00 m, permitiendo así el captar el caudal antes descrito, el exceso de caudal (240 m^3/seg), paso por los vertederos.

Debido a las condiciones requeridas en esta prueba fue necesario el operar las compuertas radiales para que el nivel en el embalse llegue a la cota necesaria (16.00 m.s.n.m.), el Y_L requerido para lograr este nivel fue de 2.28 m. que directamente se refiere a una abertura G_o equivalente a 2.37 m, el nivel aguas abajo de la superficie del agua fue 8.93 m.s.n.m., equivalente a 8.90 m.s.n.m., obtenido de la curva de descarga en la abscisa 1+320 otorgada por la consultora ACT, ver fotografía 7.8, la cota en el embalse obtenida con estas condiciones fue el 15.99 m.s.n.m., equivalente a la cota 16.00 m.s.n.m., en el embalse. Ver fotografía 7.9.

FOTOGRAFIA 7.8 Nivel de agua Abscisa 1+320 igual a 8.93 m.s.n.m.

FOTOGRAFÍA 7.9 Nivel de agua en el embalse 15.99 m.s.n.m. ab. 0+200 sitio de emplazamiento de la obra de toma.

Las velocidades aguas arriba de las obras de cierre (stop log) no fueron obtenidas, esto se da a que funciona esta fase como un embalse, en donde la velocidades son muy bajas, bajo el orden de medición del micro molinete que el laboratorio posee, como se menciono en la etapa de diseño original (CAPÍTULO 5).

El comportamiento hidráulico de las pilas es el indicado, ya que no se presenta la separación de la lámina al inicio de las mismas como se presentó en las pruebas con diseño original, en la fotografía 7.10 se observa como las líneas de flujo siguen la forma de las pilas.

El funcionamiento hidráulico del cuenco es correcto, no existe la macro turbulencia con fuertes oscilaciones de la superficie de agua presentada en la configuración inicial, el resalto permanece correctamente confinado y no se presenta la sobre elevación al final del mismo, las paredes están dimensionadas adecuadamente pues proveen la altura suficiente para confinar el resalto sin desbordamientos laterales. Ver fotografía 7.11.

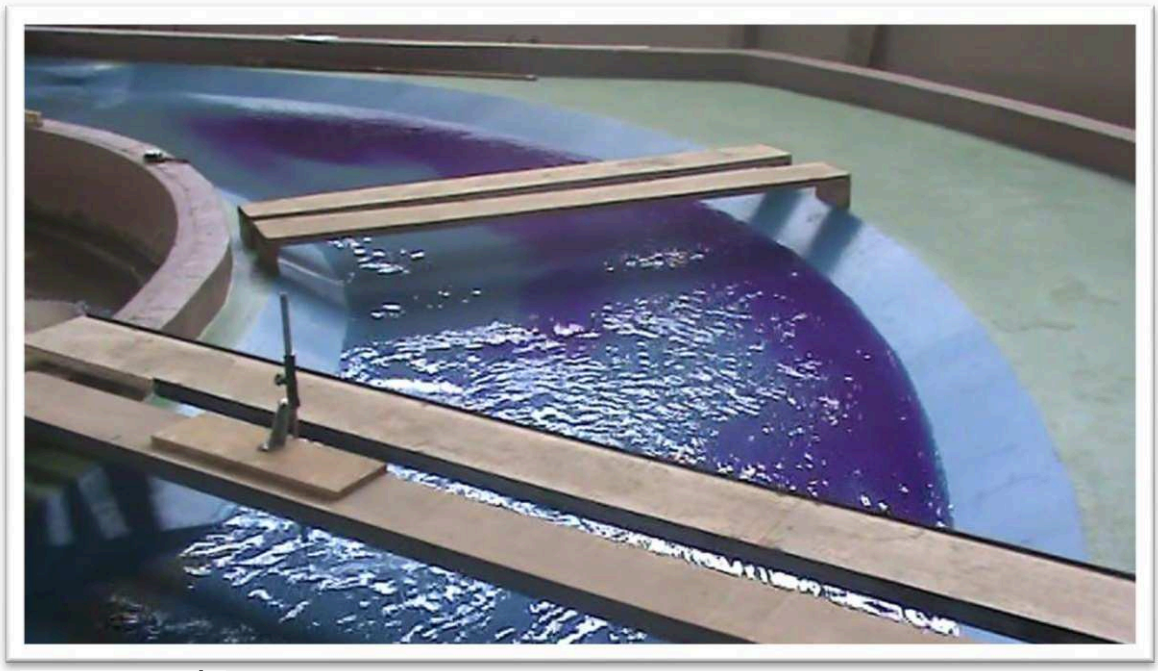
FOTOGRAFÍA 7.10 Flujo en la entrada a los vertedores para Q=240 m3/seg, funcionamiento de la pilas.

FOTOGRAFÍA 7.11 Funcionamiento del Cuenco disipador Q=240 m3/seg.

Se observa que existen velocidades máximas puntuales al final del cuenco disipador del orden de 3.60 m/seg, y la velocidad promedio equivalente a 2.99 m/seg, la reducción de velocidades puntuales máximas se encuentra en el

orden del 38% y entre velocidades promedio del 45 %, con lo que se cumple el principal objetivo del presente estudio, que es obtener velocidades manejables a la salida del cuenco disipador.

Existe un ligero desprendimiento del flujo al final del el muro, el mismo que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060, para luego reflejarse aguas abajo, ver fotografía 7.12, los efectos que se observan son esperados debido a la geometría del muro pero de intensidad mucho menores en comparación a el diseño original, además de tener velocidades considerablemente reducidas en relación a las pruebas originales.

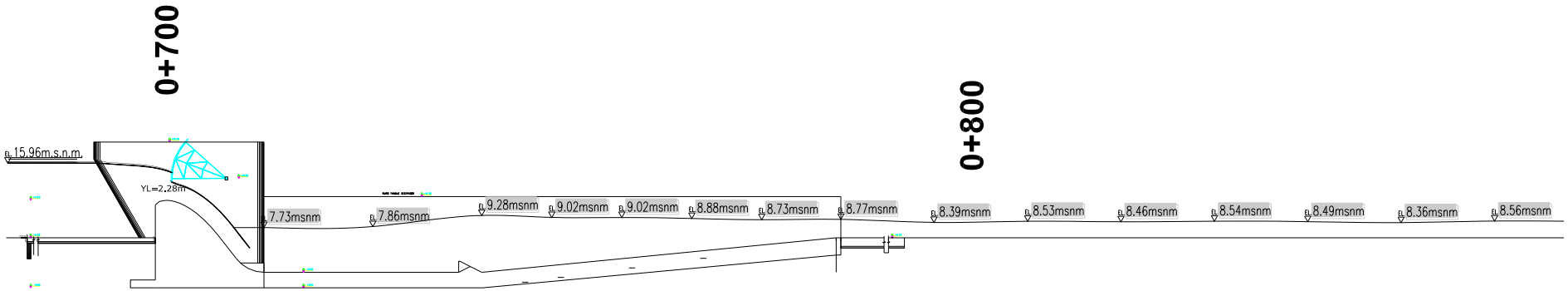


FOTOGRAFÍA 7.12 Desarrollo del flujo en el canal principal aguas abajo del cuenco disipador, ab. 1+060

La figura 7.8 muestra el perfil de flujo en el vertedero y las velocidades obtenidas a lo largo de este.

En el resto del canal los efectos producidos por el flujo fueron el cambio de la dirección de velocidad entre la abscisa 0+700 y la 0+800 en los puntos 1 y 2, con presencia de zonas muertas entre los puntos 3 y 6 marcados en el canal.

FIGURA 7.8 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL Q= 240 m^3/seg



ELABORADO POR: ANGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.4.3 CAUDAL (Q_1)=350 m^3/seg.

En esta prueba se cerró completamente las compuertas de la captación y se dejó transitar todo el caudal a través de los vertederos, al haber ampliado el ancho de los vertederos, fue necesario el operar las compuertas radiales para que el nivel en el embalse llegue a la cota necesaria (16.00 m.s.n.m.), el Y_L requerido para lograr este nivel fue de 3.14 m. que directamente se refiere a una abertura G_o equivalente a 3.24 m, el nivel aguas abajo de la superficie del agua fue 9.66 m.s.n.m., equivalente al nivel 9.70 m.s.n.m., obtenido de la curva de descarga en la abscisa 1+320,otorgada por la consultora ACT, ver fotografía 7.13, la cota en el embalse obtenida con estas condiciones fue el 16.10 m.s.n.m. en el embalse, ver fotografía 7.14.

FOTOGRAFÍA 7.13 Nivel Abscisa 1+320 igual a 9.66 m.s.n.m.

FOTOGRAFÍA 7.14 Nivel de agua en el embalse 16.10 m.s.n.m., ab. 0+200.

Las velocidades aguas arriba de las obras de cierre (stop log) no fueron obtenidas, esto se da a que funciona esta fase como un embalse, en donde la velocidades son muy bajas, bajo el orden de medición del micro molinete que el laboratorio posee, como se menciono en la etapa de diseño original (CAPÍTULO 5).

El comportamiento hidráulico de las pilas es el indicado, ya que no se presenta la separación de la lámina al inicio de las mismas como se presentó en las pruebas con diseño original, en la fotografía 7.15 se observa como las líneas de flujo siguen la forma de las pilas.

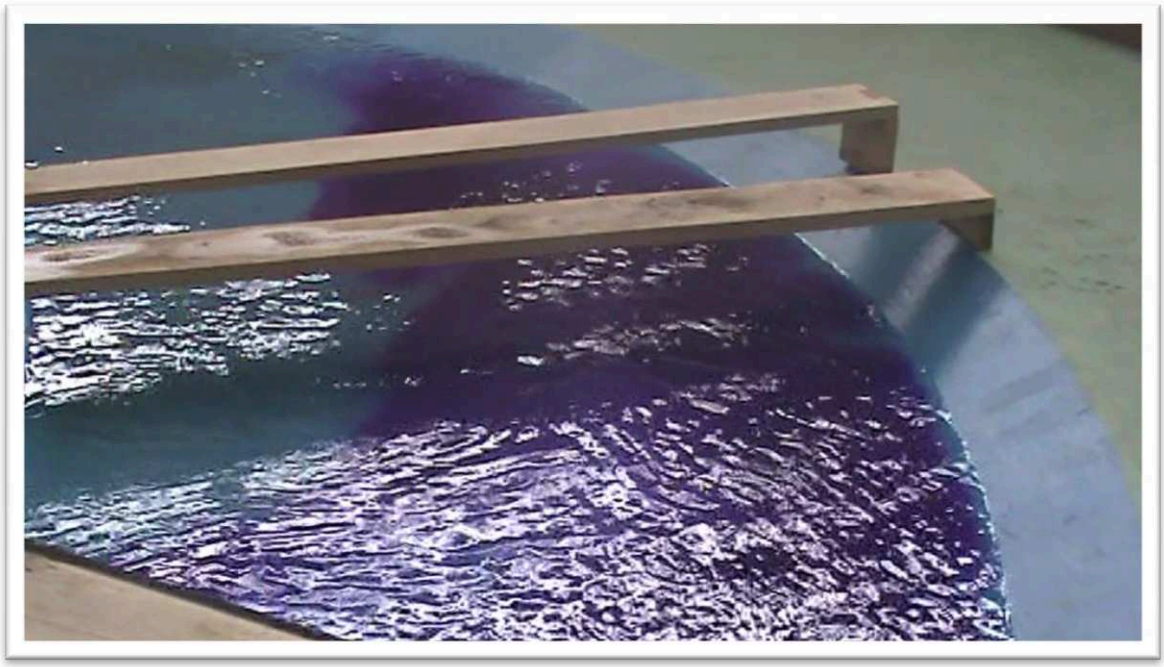
FOTOGRAFÍA 7.15 Flujo en la entrada a los vertedores para Q=240 M^3/SEG, funcionamiento de la pilas.

El funcionamiento hidráulico del cuenco es correcto, no existe la macro turbulencia con fuertes oscilaciones de la superficie de agua presentada en la configuración inicial, el resalto permanece correctamente confinado y no se presenta la sobre elevación al final del mismo, las paredes están dimensionadas adecuadamente, pues proveen la altura suficiente para confinar correctamente el resalto, ver fotografía 7.16.

FOTOGRAFÍA 7.16 Funcionamiento del Cuenco disipador Q=350 m3/seg.

Se observa que existen velocidades máximas puntuales al final del cuenco del orden de 3.73 m/seg con una velocidad promedio equivalente a 3.20 m/seg, la reducción de velocidades puntuales máximas se encuentra en el orden del 49% y entre velocidades promedio del 51 %, con lo que se cumple el principal objetivo del presente estudio, que es obtener velocidades manejables a la salida del cuenco disipador.

Existe un ligero desprendimiento del flujo al final del el muro, el mismo que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060, para luego reflejarse aguas abajo, ver fotografía 7.17, los efectos que se observan son esperados debido a la geometría del muro pero de intensidad mucho menores en comparación a el diseño original, además de tener velocidades considerablemente reducidas en relación a las pruebas originales.

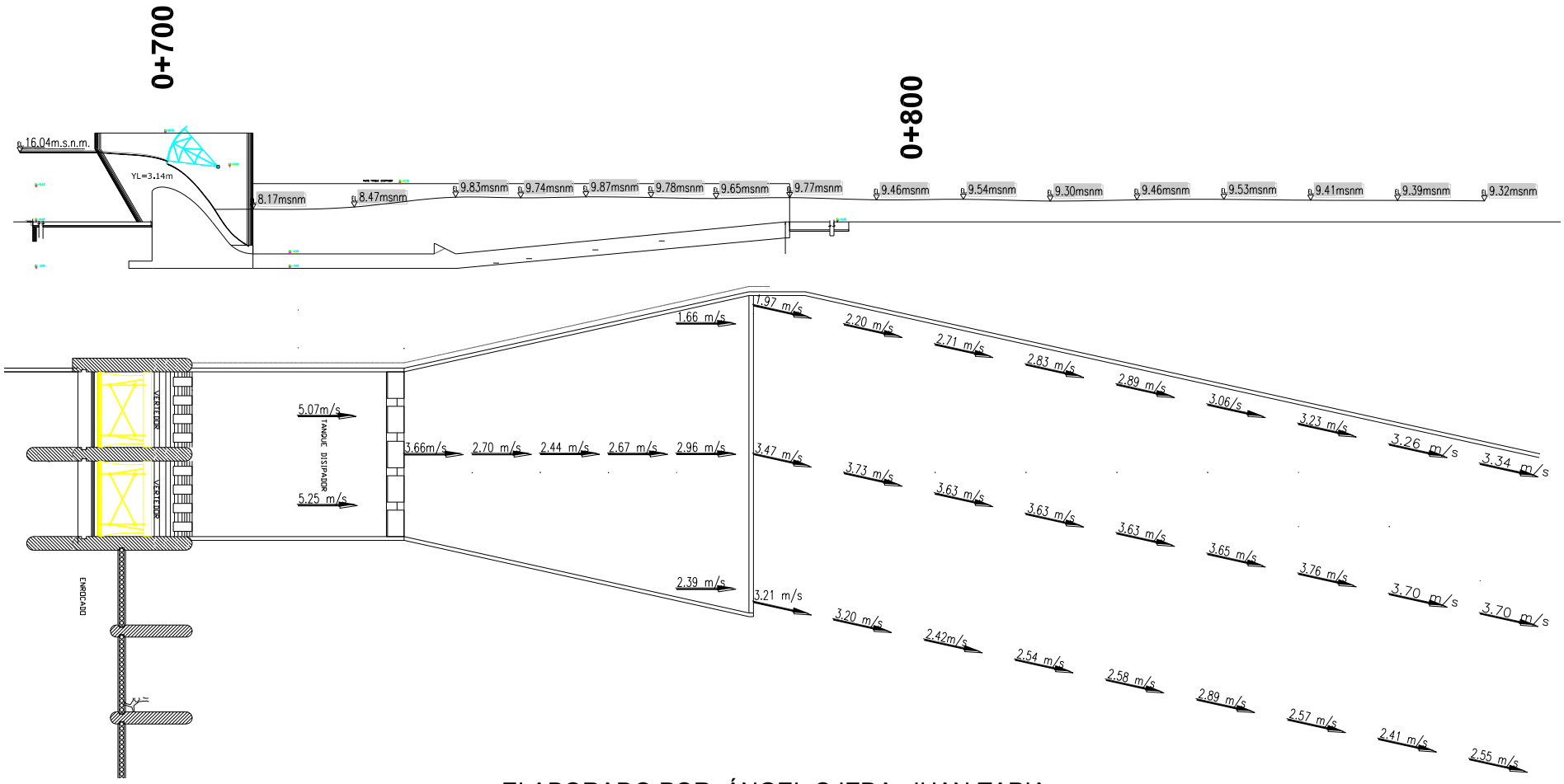


FOTOGRAFIA 7.17 Desarrollo del flujo en el canal principal aguas abajo del cuenco disipador, ab 1+060.

La figura 7.9 muestra el perfil de flujo en el vertedero y las velocidades obtenidas a lo largo de este.

En el resto del canal los efectos producidos por el flujo fueron el cambio de la dirección de velocidad entre la abscisa 0+700 y la 0+800 en los puntos 1 y 2, con presencia de zonas muertas entre los puntos 3 y 6 marcados en el canal.

FIGURA 7.9 DISTRIBUCIÓN DE CALADOS Y VELOCIDADES A TRAVÉS DEL VERTEDERO, CUENCO DISIPADOR Y EL CANAL PARA Q=350 m^3/seg.

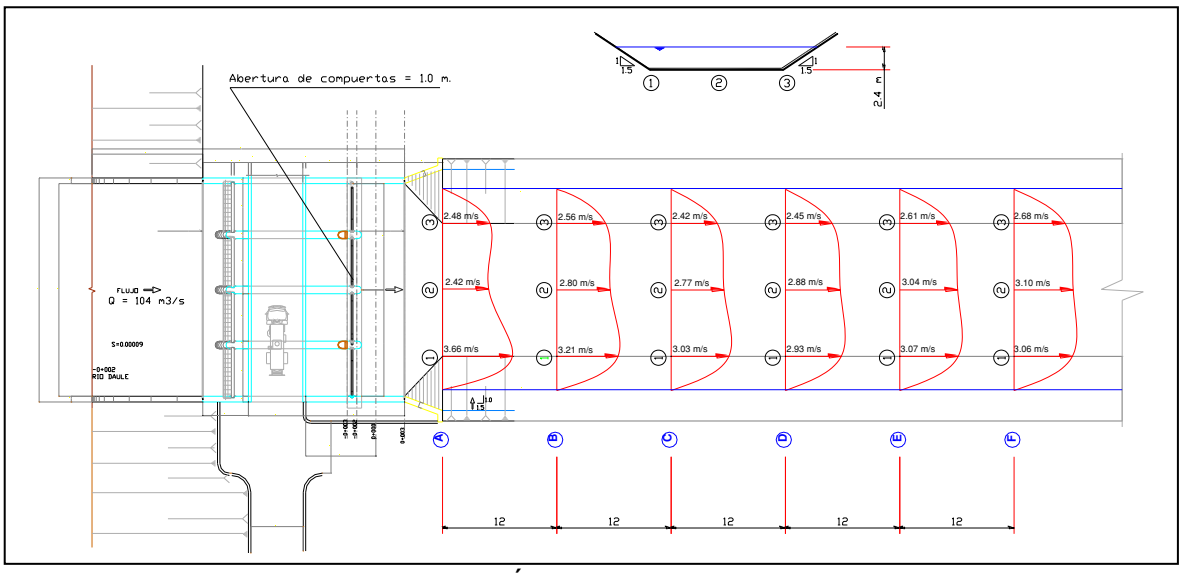


ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.4.4 FUNCIONAMIENTO DE LA BOCATOMA

Se realizó un estudio cualitativo y cuantitativo del funcionamiento de la bocatoma, se dividió la sección transversal del canal de la toma en tres puntos, en los mismos se realizo toma de velocidades y calados, del cual se desprenden los siguientes resultados. La abertura necesaria para poder captar 104 m^3/seg, es igual a 1.00 m, manteniendo la cota del embalse en 16.00 m.s.n.m., las velocidades medidas el canal varían entre 2.4 m/seg y 3.10 m/seg, y el calado obtenido en el canal es igual a 2.04 m, ver figura 7.10. En la fotografía 7.18 se muestra el funcionamiento de la toma, con el uso de trazadores de permanganato de potasio, para observar los patrones de flujo que se presentan en esta.

FIGURA 7.10 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES A LO LARGO DEL CANAL DE DESVIACIÓN.



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FOTOGRAFIA 7.18 Funcionamiento de la obra de toma para Q=104 m^3/seg

7.5 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS Y COMPUERTAS RADIALES CERRADAS

El objetivo de las pruebas realizadas es conocer el comportamiento del canal, y las obras de cierre cuando por ellas pasen caudales mayores a 350 m^3/seg, que es el caudal que puede pasar a través de los vertederos.

Para estas pruebas se realizaron mediciones de calados y velocidades en las secciones acordadas en las pruebas de la fase con diseño original, con una modificación, debido a que en la abscisa 0+700 se encuentran implantadas las obras de cierre, la medición de los calados y velocidades en este punto se trasladó a la abscisa 0+680.

Se obtuvieron los valores de calado en tres puntos de cada sección y la velocidad en los ocho puntos definidos previamente por los consultores ACT, y la EPN.

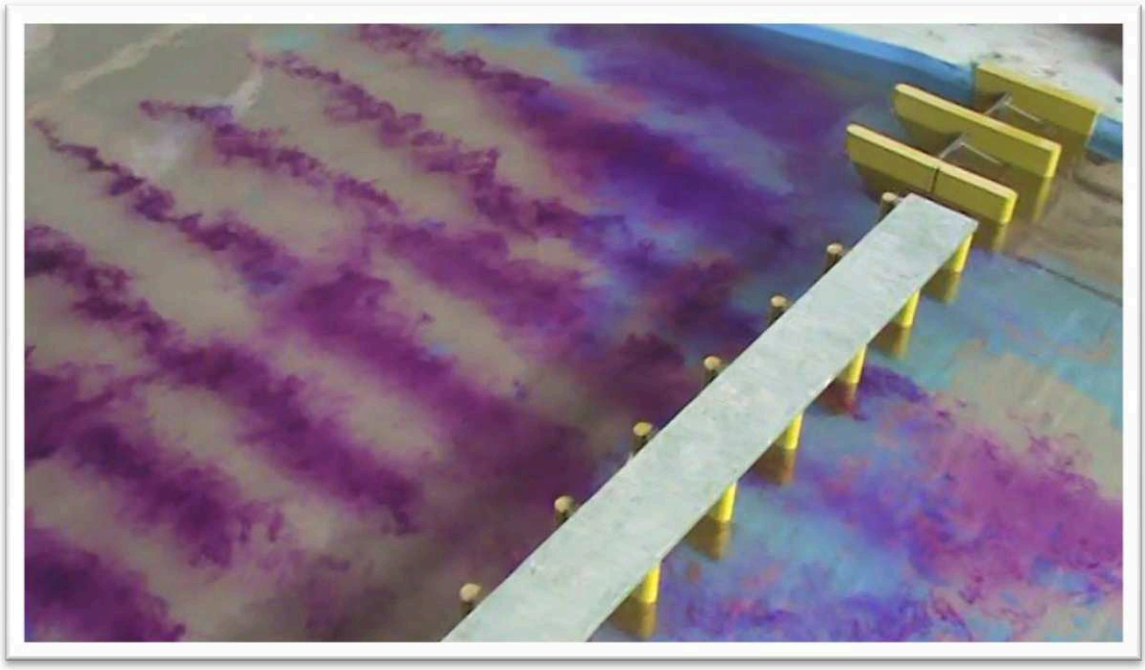
7.5.1 CAUDAL 1612 m^3/seg. (PFSL N # 04)

Como condición de borde el nivel de agua en la abscisa 1+320 regulado fue 15.46 m.s.n.m. de acuerdo a la información provista por ACT, de la curva de descarga característica del río, ver fotografía 7.19.

Cabe mencionar que para esta prueba a parte de la velocidad tomada a H = 0.6 D, siguiendo con lo acordado por los consultores ACT y la EPN, se obtuvieron las mediciones a H = 0.8 D y H = 0.2 D (D=Profundidad del flujo).

FOTOGRAFÍA 7.19 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 15.46 Z

Al analizar los patrones de flujo obtenidos en las pruebas de trazadores, se concluye que las estructuras de cierre no generan un impacto en el flujo, existe un aumento de velocidad al pasar el caudal por los stop Logs abiertos, pero esto se produce por la disminución del área, generando así el efecto antes descrito, ver fotografía 7.20.



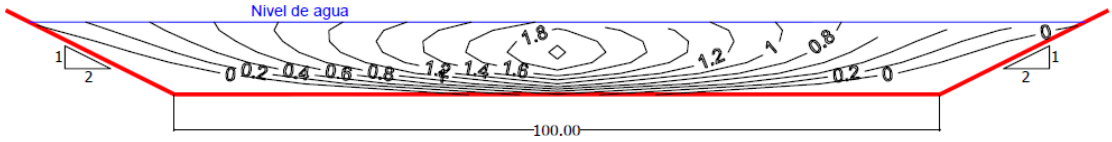
FOTOGRAFÍA 7.20 Líneas de flujo a través de la abscisa 0+680 y funcionamiento de las estructuras de cierre en la abscisa 0+700

Al igual que en la etapa de calibración, y diseño original se realizo la distribución de velocidades para el caudal de 1612 m3/s, las figuras 7.11 a 7.13, representan una interpolación de velocidades para diferentes puntos en la sección transversal del canal. De los resultados obtenidos se puede concluir que en las tres etapas (calibración, diseño original, diseño final), se observa una correcta concordancia entre los datos de las pruebas realizadas.

FIGURA 7.11 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 0+680 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/seg

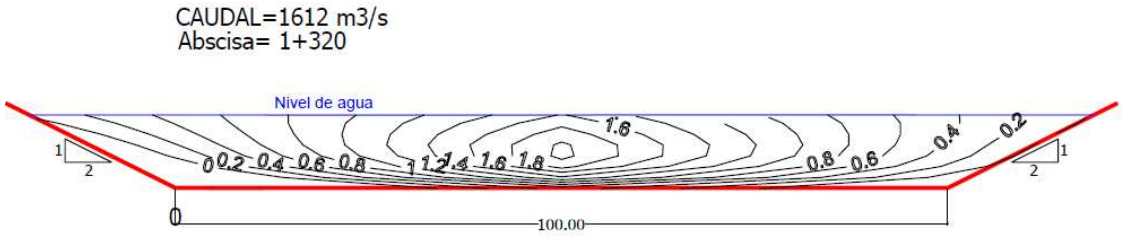
ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

FIGURA 7.12 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+060 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/seg



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

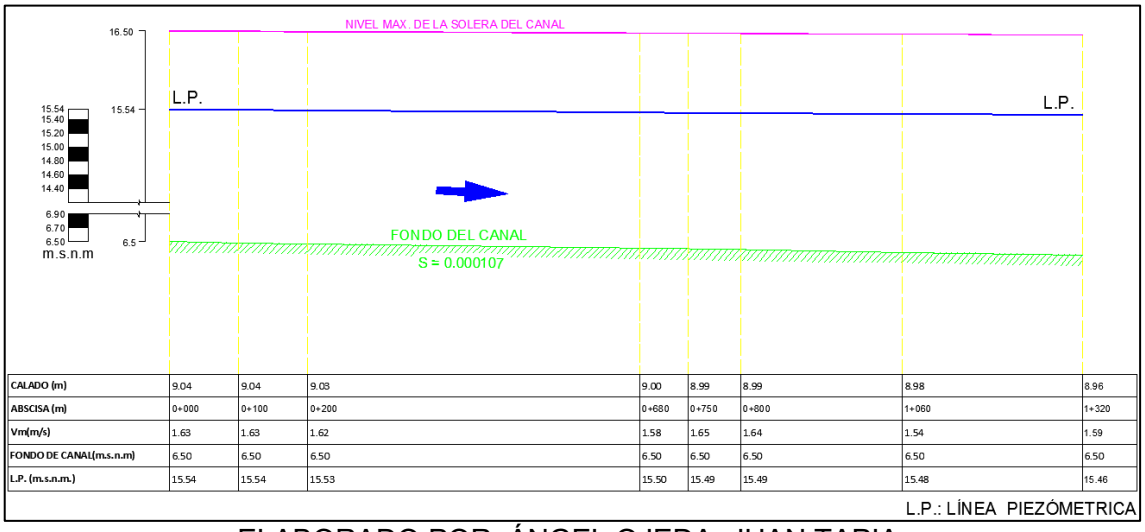
FIGURA 7.13 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL, ABSCISA 1+320 PARA UN CAUDAL Q_{TR100}= 1612 m^3/seg



ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

La figura 7.14, muestra los valores de niveles de agua, y velocidades promedio para las deferentes secciones establecidas por la consultora ACT, y la EPN.

FIGURA 7.14 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR100}=1612 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.



CALADO (m)	9.04	9.04	9.03	9.00	8.99	8.99	8.98	8.96
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+750	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.63	1.63	1.62	1.58	1.65	1.64	1.54	1.59
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
L.P. (m.s.n.m.)	15.54	15.54	15.53	15.50	15.49	15.49	15.48	15.46

L.P.: LÍNEA PIEZÓMETRICA

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.6 EJEMPLO DE CÁLCULO

A continuación se presenta un ejemplo detallado de la metodología para el cálculo de los parámetros hidráulicos mostrados en la figura 7.14, tomando en cuenta que en el canal de rectificación están emplazadas las estructuras de regulación.

Datos del canal de derivación:

Cota entrada = 6.5 m.s.n.m.

Cota salida = 6.36 m.s.n.m.

J = 0.000106061

L = 1320.00 m

B = 100.00 m

Z = 2.00

λ = 60

7.6.1 ECUACIONES UTILIZADAS

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Vm: Velocidad Media.

$V_{0.2}$ = Velocidad a 0.2h medida desde la superficie del agua.

$V_{0.8}$ = Velocidad a 0.8h medida desde la superficie del agua.

$V_{0.6}$ = Velocidad a 0.6h medida desde la superficie del agua.

Ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

V: Velocidad del Flujo.

n: Coeficiente de Manning.

Rh: Radio Hidráulico.

I: Pendiente.

$$n = \frac{1}{V} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

$$Rh = \frac{At}{Pm}\ [m]$$

At: Área transversal.

Pm: Perímetro Mojado.

Ecuación de Continuidad:

$$Q = V * A\ \left[\frac{m3}{seg}\right]$$

$$V = \frac{Q}{A}\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Ecuaciones de similitud

Velocidad

$$V_{prototipo}\ = V_{modelo}\ * \lambda^{\frac{1}{2}}\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$V_{prototipo}$: Velocidad en prototipo (m/seg).

V_{modelo}: Velocidad en modelo (m/seg).

λ: Factor de escala.

Ecuación de Micro molinete:

$$n = \frac{N}{t}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$n \leq 7.73$$

$$V = 0.0559 * n + 0.033\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$7.73 \leq n \leq 17.73$$

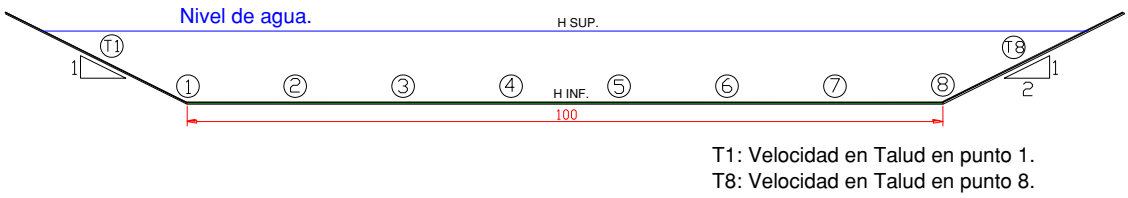
$$V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Las lecturas limnigráficas se tomaron en ocho puntos en la base del canal como se muestra en la figura 7.15.

En cuanto a la medición de velocidades puntuales se dividió la sección transversal en 10 partes tomando la velocidad puntual a una altura de 0.6 H desde la superficie del agua.

Además en la Prueba con Tr_{100} se tomaron dos mediciones más en los puntos señalados siendo estas 0.2 H y 0.8 H respectivamente medidas desde la superficie del agua en las abscisas definidas por ACT.

FIGURA 7.15 ESQUEMA DE PUNTOS DE MEDICIÓN PARA LAS PRUEBAS CON STOP LOG ABIERTOS.



T1: Velocidad en Talud en punto 1.
T8: Velocidad en Talud en punto 8.

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

A continuación se presentan las tablas de mediciones realizadas en el laboratorio, se tomara como ejemplo la sección transversal en la abscisa 0+680, del canal rectificado.

CUADRO 7.1 LECTURAS LIMNIGRÁFICAS EN MODELO PARA q=1612 m^3/seg

ABSCISA	L Limnimetro	PUNTO										MODELO h prom.(cm)	PROTOTIPO NIVEL AGUA m.s.n.m.
		T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T2		
0+100	L SUP		36.96	37.11	37.25	37.27	37.14	37.09	36.96	36.74		15.06	15.54
	LINF		21.88	21.99	22.16	22.24	22.09	22.03	21.96	21.7			
	DIF.		15.08	15.12	15.09	15.03	15.05	15.06	15	15.04			
0+200	L SUP		37.12	37.19	37.26	37.14	37.05	36.9	36.75	36.5		15.04	15.53
	LINF		22.14	22.22	22.35	22.12	21.96	21.62	21.62	21.53			
	DIF.		14.98	14.97	14.91	15.02	15.09	15.28	15.13	14.97			
0+680	L SUP		27.6	27.72	27.8	27.88	27.87	27.85	27.84	27.8		15.00	15.50
	LINF		12.6	12.7	12.82	12.88	12.83	12.83	12.83	12.85			
	DIF.		15	15.02	14.98	15	15.04	15.02	15.01	14.95			
0+800	L SUP		27.3	27.37	27.5	27.6	27.6	27.59	27.5	27.86		14.99	15.49
	LINF		12.35	12.4	12.45	12.55	12.54	12.6	12.55	12.95			
	DIF.		14.95	14.97	15.05	15.05	15.06	14.99	14.95	14.91			
1+060	L SUP		35.28	35.26	35.2	35.19	35.24	35.38	35.37	35.65		14.96	15.48
	LINF		20.39	20.3	20.3	20.35	20.33	20.4	20.32	20.5			
	DIF.		14.89	14.96	14.9	14.84	14.91	14.98	15.05	15.15			
1+320	L SUP		28.95	28.9	28.77	28.7	28.56	28.4	28.14	27.9		14.94	15.46
	LINF		14.24	13.85	13.74	13.73	13.56	13.42	13.13	13.15			
	DIF.		14.71	15.05	15.03	14.97	15	14.98	15.01	14.75			

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

ABSCISA	L Limnimetro	PUNTO									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	L SUP		30.42	31.41	32.28	32.07	33.55	34.02	34.51		
	LINF		26.22	14.13	10.33	16.20	17.96	18.63	23.53		
	DIF.		4.20	17.28	21.95	15.87	15.59	15.39	10.98		
PERFIL 7.3	L SUP	27.96	28.28	28.43	28.63	28.75	28.82	28.90	28.90	28.82	28.82
	LINF	22.65	13.85	13.97	13.40	13.30	13.20	12.32	12.52	12.50	17.45
	DIF.	5.31	14.43	14.46	15.23	15.45	15.62	16.58	16.38	16.32	11.37

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

$$\text{Dif} = \text{Lsup} - \text{Linf}$$

$$\text{Dif} = 41.3 - 26.39$$

La diferencia de las lecturas limnigráficas superior e inferior representa el calado de agua.

$$\text{Calado Modelo} = 14.91\ [\text{cm}]$$

$$\text{Calado Prototipo} = 14.91 * 60\ [\text{m}]$$

$$\text{Calado Prototipo} = 15\ [\text{m}]$$

Este ultimo valor tomando en cuenta el promedio, de todos los puntos de la abscisa 0+680.

$$\text{Nivel de agua} = 6.5 + 15\ [\text{m. s. n. m.}]$$

$$\text{Nivel de agua} = 15.5 \ [\text{m. s. n. m.}]$$

Para obtener el nivel de agua en el canal sumamos el calado de agua, más la cota del fondo del canal:

El cuadro 7.2 presenta los valores de N medidos en laboratorio con el micro molinete para los puntos ya definidos anteriormente.

CUADRO 7.2 NUMERO DE REVOLUCIONES (N) EN MODELO MEDIDAS POR EL MICRO MOLINETE PARA q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	N									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	*h Variable depende de la topografia*											
					122	75	124	102	133	136		
PERFIL 7.3	*h Variable depende de la topografia*											
				98	148	134	127	121	110	97	73	42

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)		N									
				T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	15.06	**0.2h**	3.01										
		0.4h	6.01	95	113	82	82	95	92	99	97	107	89
		0.8h	12.03										
0+200	15.04	**0.2h**	3.00										
		0.4h	5.99	98	107	82	82	93	96	95	95	117	81
		0.8h	11.99										
0+680	15.00	**0.2h**	2.99		95	107	108	118	120	118	117	74	
		0.4h	5.97	30	84	94	103	107	110	108	101	93	41
		0.8h	11.94		67	85	94	98	104	98	87	83	
0+750	14.99	**0.2h**	2.94										
		0.4h	5.89	19	68	117	117	104	101	114	123	0	0
		0.8h	11.77										
0+800	14.99	**0.2h**	2.94										
		0.4h	5.89	46	89	102	109	107	107	101	109	0	0
		0.8h	11.77										
1+060	14.96	**0.2h**	2.94		93	98	102	116	119	111	95	80	
		0.4h	5.89	67	90	91	91	100	108	107	94	75	74
		0.8h	11.77		81	80	83	89	93	97	88	70	
1+320	14.94	**0.2h**	2.96		93	115	118	117	112	102	90	64	
		0.4h	5.92	73	93	111	115	117	101	108	96	80	43
		0.8h	11.83		83	103	109	110	107	103	93	81	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

Tomando en cuenta las mediciones se realizaron a 0.2, 0.6, 0.8 h medidos desde la superficie libre; h representa el calado de agua:

$$\text{N}(0.2\text{h}) = 118$$

$$\text{N}(0.6\text{h}) = 107$$

$$\text{N}(0.8\text{h}) = 98$$

CUADRO 7.3 VALORES DE VELOCIDAD EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	V(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	*h Variable depende de la topografia*											
					0.26	0.17	0.26	0.22	0.28	0.29		
PERFIL 7.3	*h Variable depende de la topografia*											
				0.22	0.31	0.28	0.27	0.26	0.24	0.21	0.17	0.11

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)		V(m/s)									
				T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	15.06	**0.2H**	3.01										
		0.6H	6.01	0.21	0.24	0.19	0.19	0.21	0.20	0.22	0.21	0.23	0.20
		0.8H	12.03										
0+200	15.04	**0.2H**	3.00										
		0.6H	5.99	0.22	0.23	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.25	0.18
		0.8H	11.99										
0+680	15.00	**0.2H**	2.99		0.21	0.23	0.23	0.25	0.26	0.25	0.25	0.17	
		0.6H	5.97	0.09	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.23	0.22	0.21	0.11
		0.8H	11.94		0.16	0.19	0.21	0.22	0.23	0.22	0.20	0.19	
0+750	14.99	**0.2H**	2.94										
		0.6H	5.89	0.07	0.16	0.25	0.25	0.23	0.22	0.25	0.26		
		0.8H	11.77										
0+800	14.99	**0.2H**	2.94										
		0.6H	5.89	0.12	0.20	0.22	0.24	0.23	0.23	0.22	0.24		
		0.8H	11.77										
1+060	14.96	**0.2H**	2.94		0.21	0.22	0.22	0.25	0.25	0.24	0.21	0.18	
		0.6H	5.89	0.16	0.20	0.20	0.20	0.22	0.23	0.23	0.21	0.17	0.17
		0.8H	11.77		0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.20	0.16	
1+320	14.94	**0.2H**	2.96		0.21	0.25	0.25	0.25	0.24	0.22	0.20	0.15	
		0.6H	5.92	0.17	0.21	0.24	0.25	0.25	0.22	0.23	0.21	0.18	0.11
		0.8H	11.83		0.19	0.22	0.24	0.24	0.23	0.22	0.21	0.18	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

Las velocidades para el modelo se las calcularon con la ecuación para valores de N del micromolinete.

Ecuación de Micro molinete:

$$n = \frac{N}{t}$$

N: Número de revoluciones mediadas por el micro molinete.

t: Tiempo de toma de N (t = 30 seg).

$$n \leq 7.73$$

$$V = 0.0559 * n + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$7.73 \leq n \leq 17.73$$

$$V = 0.0537 * n + 0.05 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.2 h desde la superficie libre:

$$\text{Para N}(0.2\text{h}) = 118$$

$$n = \frac{118}{30} = 3.93$$

$$V = 0.0559 * 3.93 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.25 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.6 h desde la superficie libre:

$$Para\ N(0.6h) = 107$$

$$n = \frac{107}{30} = 3.57$$

$$V = 0.0559 * 3.57 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.23 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.8 h desde la superficie libre:

$$Para\ N(0.8h) = 98$$

$$n = \frac{97}{30} = 3.27$$

$$V = 0.0559 * 3.27 + 0.033 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V = 0.22 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

CUADRO 7.4 VALORES DE VELOCIDAD EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (m)	h(m)	V(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	*h Variable depende de la topografia*				2.02	1.34	2.05	1.73	2.18	2.22		
PERFIL 7.3	*h Variable depende de la topografia*			1.67	2.39	2.19	2.09	2.00	1.84	1.66	1.31	0.86

ABSCISA	Calado (m)	h(m)		V(m/s)									
				T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	9.04	**0.2H**	1.80										
		0.6H	3.61	1.63	1.89	1.44	1.44	1.63	1.58	1.68	1.66	1.80	1.54
		0.8H	7.22										
0+200	9.03	**0.2H**	1.80										
		0.6H	3.60	1.67	1.80	1.44	1.44	1.60	1.64	1.63	1.63	1.94	1.42
		0.8H	7.19										
0+680	9.00	**0.2H**	1.79		1.63	1.80	1.81	1.96	1.99	1.96	1.94	1.32	
		0.6H	3.58	0.69	1.47	1.61	1.74	1.80	1.84	1.81	1.71	1.60	0.85
		0.8H	7.16		1.22	1.48	1.61	1.67	1.76	1.67	1.51	1.45	
0+750	8.99	**0.2H**	1.77										
		0.6H	3.53	0.53	1.24	1.94	1.94	1.76	1.71	1.90	2.03		
		0.8H	7.06										
0+800	8.99	**0.2H**	1.77										
		0.6H	3.53	0.92	1.54	1.73	1.83	1.80	1.80	1.71	1.83		
		0.8H	7.06										
1+060	8.98	**0.2H**	1.77		1.60	1.67	1.73	1.93	1.97	1.86	1.63	1.41	
		0.6H	3.53	1.22	1.55	1.57	1.57	1.70	1.81	1.80	1.61	1.34	1.32
		0.8H	7.06		1.42	1.41	1.45	1.54	1.60	1.66	1.53	1.27	
1+320	8.96	**0.2H**	1.78		1.60	1.92	1.96	1.94	1.87	1.73	1.55	1.18	
		0.6H	3.55	1.31	1.60	1.86	1.92	1.94	1.71	1.81	1.64	1.41	0.88
		0.8H	7.10		1.45	1.74	1.83	1.84	1.80	1.74	1.60	1.42	

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

Una vez determinadas las velocidades en el modelo, para calcular las velocidades en prototipo se utilizara la ecuación de similitud de Froude.

Velocidad

$$V_{prototipo} = V_{modelo} * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.2 h desde la superficie libre:

$$V_{prototipo} = 0.25 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.96 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.6 h desde

$$V_{prototipo} = 0.22 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.80 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Velocidad medida a 0.8 h desde la superficie libre:

$$V_{prototipo} = 0.21 * \lambda^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$V_{prototipo} = 1.67 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

CUADRO 7.5 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN MODELO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	Vm(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	h Variable depende de la topografia				0.26	0.17	0.26	0.22	0.28	0.29		
PERFIL 7.3	h Variable depende de la topografia			0.22	0.31	0.28	0.27	0.26	0.24	0.21	0.17	0.11

ABSCISA	Calado (m)	Vm(m/s)									
		T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	15.06	0.21	0.24	0.19	0.19	0.21	0.20	0.22	0.21	0.23	0.20
0+200	15.04	0.22	0.23	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.25	0.18
0+680	15.00	0.09	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.23	0.22	0.19	0.00
0+750	14.99	0.09	0.16	0.25	0.25	0.23	0.22	0.25	0.26		
0+800	14.99	0.12	0.20	0.22	0.24	0.23	0.23	0.22	0.24		0.00
1+060	14.96	0.16	0.20	0.20	0.20	0.22	0.23	0.23	0.21	0.17	0.17
1+320	14.94	0.17	0.20	0.24	0.25	0.25	0.23	0.23	0.21	0.18	0.11

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+680:

La velocidad media se calculara tomando en cuenta los valores medidos a 0.2h, 0.4h y 0.8h mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.25 * (0.25 + 0.22 + 2 * 0.23) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.23 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

CUADRO 7.6 VALORES DE VELOCIDAD MEDIA EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado (cm)	h(cm)	Vm(m/s)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PERFIL 5.3	h Variable depende de la topografia				2.02	1.34	2.05	1.73	2.18	2.22		
PERFIL 7.3	h Variable depende de la topografia			1.67	2.39	2.19	2.09	2.00	1.84	1.66	1.31	

ABSCISA	Calado (m)	Elev. Agua (m.s.n.m.)	Vm(m/s)									
			T1	1	2	3	4	5	6	7	8	T8
0+100	9.04	15.54	1.63	1.89	1.44	1.44	1.63	1.58	1.68	1.66	1.80	1.54
0+200	9.03	15.53	1.67	1.80	1.44	1.44	1.60	1.64	1.63	1.63	1.94	1.42
0+680	9.00	15.50	0.69	1.45	1.63	1.73	1.81	1.86	1.81	1.72	1.49	
0+750	8.99	15.49	0.69	1.24	1.94	1.94	1.76	1.71	1.90	2.03		
0+800	8.99	15.49	0.92	1.54	1.73	1.83	1.80	1.80	1.71	1.83		
1+060	8.98	15.48	1.22	1.53	1.55	1.58	1.72	1.80	1.78	1.59	1.34	1.32
1+320	8.96	15.46	1.31	1.56	1.84	1.90	1.92	1.77	1.77	1.61	1.36	0.88

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para el punto 4 en la abscisa 0+700:

La velocidad media se calculara tomando en cuenta los valores medidos a 0.2h, 0.4h y 0.8h mediante la siguiente ecuación:

$$Vm = 0.25 * (V_{0.2} + V_{0.8} + 2 * V_{0.6}) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 0.25 * (1.96 + 1.67 + 2 * 1.80) \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$Vm = 1.75 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

CUADRO 7.7 RESUMEN DE CALADOS, VELOCIDAD Y ELEVACIÓN DE AGUA EN PROTOTIPO PARA Q=1612 m^3/seg

ABSCISA	Calado(m)	Vm(m/s)	Nivel Agua m.s.n.m.
0+000	9.04	1.63	15.54
0+100	9.04	1.63	15.54
0+200	9.03	1.62	15.53
0+680	9.00	1.58	15.50
0+750	8.99	1.65	15.49
0+800	8.99	1.64	15.49
1+060	8.98	1.54	15.48
1+320	8.96	1.59	15.46

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

Para la abscisa 0+680:

Vm: Representa el promedio de las velocidades medidas en los 8 puntos en los que se dividió la sección transversal de la base del canal de derivación, tomando en cuenta las velocidades en T1 y T8 (velocidad en talud punto 1, velocidad en talud punto 8, respectivamente).

$$Vm = \frac{0.69 + 1.45 + 1.63 + 1.73 + 1.81 + 1.86 + 1.81 + 1.72 + 1.49}{8} \left[\frac{m}{s}\right]$$

$$Vm = 1.58 \left[\frac{m}{s}\right]$$

7.6.2 CAUDAL 1220 m^3/seg. (PFSL N # 03)

Como condición de borde el nivel de agua en la abscisa 1+320 regulado fue 13.94 m.s.n.m. de acuerdo a la información provista por ACT, de la curva de descarga característica del río, ver fotografía 7.21.

FOTOGRAFÍA 7.21 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 13.94 m.s.n.m. para Q=1220 m3/seg.

Al analizar los patrones de flujo obtenidos en las pruebas de trazadores, se concluye que las estructuras de cierre no generan un impacto fuerte en el flujo, existe un aumento de velocidad al pasar el caudal por ellas, pero esto se

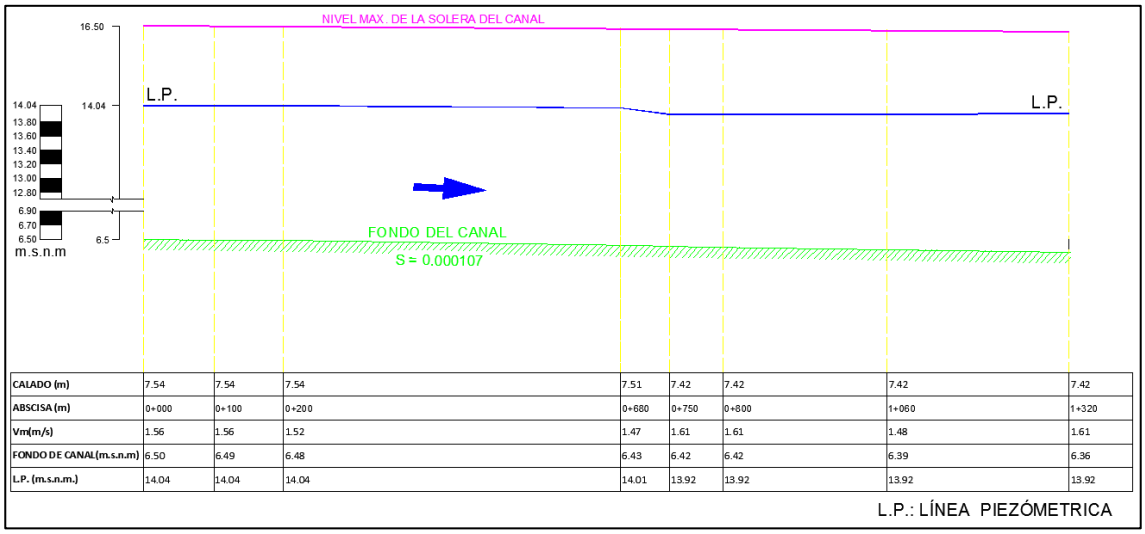
produce por la disminución del área generando así el efecto antes descrito. Comparando los resultados con los obtenidos en la fase con diseño original, se observa un comportamiento muy similar a las primeras pruebas, con lo que se valida está geometría. En la fotografía 7.22, se observa la prueba de trazadores en la abscisa 1+060, la distribución de velocidades es uniforme, como se observo en la etapa de calibración y diseño original.

FOTOGRAFIA 7.22 Líneas de flujo a través de la abscisa 1+060 para q=1220 m3/seg.

La figura 7.16, muestra los valores de niveles de agua, y velocidades promedio para las deferentes secciones establecidas por la consultora ACT, y la EPN.

FIGURA 7.16 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR20} = 1220 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.

a)



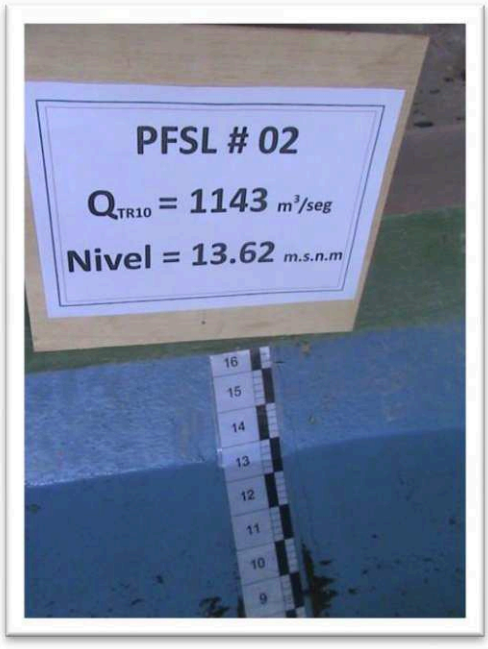
CALADO (m)	7.54	7.54	7.54	7.51	7.42	7.42	7.42	7.42
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+750	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.56	1.56	1.52	1.47	1.61	1.61	1.48	1.61
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	14.04	14.04	14.04	14.01	13.92	13.92	13.92	13.92

L.P.: LÍNEA PIEZÓMETRICA

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.6.3 CAUDAL 1143 m^3/seg. (PFSL N # 02)

Como condición de borde el nivel de agua en la abscisa 1+320 regulado fue 13.70 m.s.n.m. de acuerdo a la información provista por ACT, de la curva de descarga característica del río, ver fotografía 7.23.

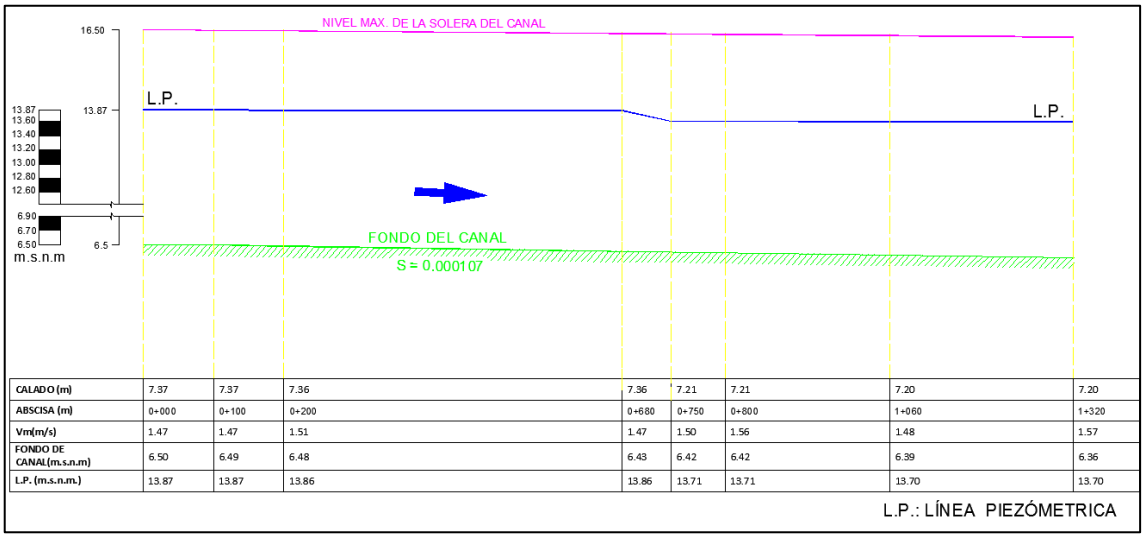


FOTOGRAFÍA 7.23 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 13.70 m.s.n.m. para q=1143 m3/seg.

Al analizar los patrones de flujo obtenidos en las pruebas de trazadores, se concluye que las estructuras de cierre no generan un impacto fuerte en el flujo, existe un aumento de velocidad al pasar el caudal por ellas, pero esto se produce por la disminución del área generando así el efecto antes descrito. Comparando los resultados con los obtenidos en la fase con diseño original, se observa un comportamiento muy similar a las primeras pruebas, con lo que se valida está geometría.

La figura 7.17, muestra los valores de niveles de agua, y velocidades promedio para las deferentes secciones establecidas por la consultora ACT, y la EPN.

FIGURA 7.17 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR10} = 1143 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.



CALADO (m)	7.37	7.37	7.36	7.36	7.21	7.21	7.20	7.20
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+750	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.47	1.47	1.51	1.47	1.50	1.56	1.48	1.57
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	13.87	13.87	13.86	13.86	13.71	13.71	13.70	13.70

L.P.: LÍNEA PIEZÓMETRICA

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

7.6.4 CAUDAL 977 m^3/seg. (PFSL N # 01)

Como condición de borde el nivel de agua en la abscisa 1+320 regulado fue 12.97 m.s.n.m. de acuerdo a la información provista por ACT, en la curva de descarga característica del río, ver fotografía 7.24.

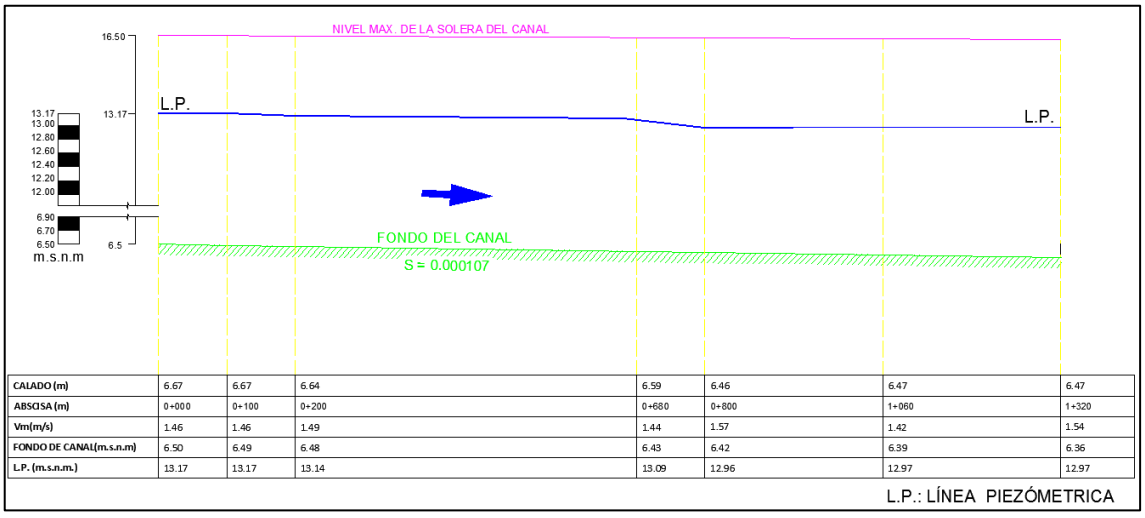
FOTOGRAFÍA 7.24 Nivel abscisa 1+320 equivalente a 12.97 m.s.n.m. para Q=977 m3/seg.

FOTOGRAFÍA 7.25 Líneas de flujo a través de la abscisa 0+680 y funcionamiento de las estructuras de cierre en la abscisa 0+700.

Al analizar los patrones de flujo obtenidos en las pruebas de trazadores, se concluye que las estructuras de cierre no generan un impacto fuerte en el flujo, existe un aumento de velocidad al pasar el caudal por ellas, pero esto se produce por la disminución del área generando así el efecto antes descrito. Comparando los resultados con los obtenidos en la fase de diseño original, se observa un comportamiento muy similar a las primeras pruebas, con lo que se valida está geometría, ver fotografía 7.25.

La figura 7.18, muestra los valores de niveles de agua, y velocidades promedio para las deferentes secciones establecidas por la consultora ACT, y la EPN.

FIGURA 7.18 DATOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LA PRUEBA PARA UN Q_{TR5} = 977 m^3/seg EN LAS ABSCISAS CORRESPONDIENTES.



CALADO (m)	6.67	6.67	6.64	6.59	6.46	6.47	6.47
ABSCISA (m)	0+000	0+100	0+200	0+680	0+800	1+060	1+320
Vm(m/s)	1.46	1.46	1.49	1.44	1.57	1.42	1.54
FONDO DE CANAL(m.s.n.m)	6.50	6.49	6.48	6.43	6.42	6.39	6.36
L.P. (m.s.n.m.)	13.17	13.17	13.14	13.09	12.96	12.97	12.97

L.P.: LÍNEA PIEZÓMETRICA

ELABORADO POR: ÁNGEL OJEDA, JUAN TAPIA

En el CAPITULO 10 (ANEXOS), se presentan los cuadros de datos para todas las pruebas que se realizaron en esta etapa, ver ANEXO 4.

En el CAPITULO 10 (ANEXOS PLANOS), se encuentran los planos que muestran el perfil de velocidades, y la implantación de las diferentes mediciones para las abscisas y puntos acordados por la consultora ACT y la EPN, para los caudales establecidos en la etapa de diseño final, recordando que en el canal de rectificación encuentran emplazadas las obras de regulación, ver planos:

NOMBRE DE PLANO	CÓDIGO
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1612m3/s	PT-TDV-21
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1220m3/s	PT-TDV-22
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=1143m3/s	PT-TDV-23
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=977 m3/s	PT-TDV-24
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CANAL CON ESTRUCTURAS Q=350 m3/s	PT-TDV-25
PERFIL DE FLUJO Y VELOCIDADES VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q= 120 m3/s	PT-TDV-26
PERFIL DE FLUJO Y VELOCIDADES VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q= 240 m3/s	PT-TDV-27
PERFIL DE FLUJO Y VELOCIDADES VERTEDERO - CUENCO DISIPADOR Q= 350 m3/s	PT-TDV-28
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN OBRA DE TOMA Q=104 m3/s	PT-TDV-29

7.7 CONCLUSIONES

Las conclusiones de los ensayos realizados son las siguientes:

7.7.1 CON STOP LOGS CERRADOS Y NIVEL DEL EMBALSE 16 M.S.N.M.

Con Stop Logs los caudales ensayados fueron de 350, 344, 224 m^3/seg.

- Para 350 m^3/seg con una abertura de compuerta G_o= 3.24 m el embalse alcanzo la cota 16.10 m.s.n.m. El comportamiento hidráulico de las pilas es el indicado, no se presenta la separación de la lámina al inicio de las mismas que se presentó en el diseño original, las líneas de flujo siguen la forma de las pilas, lo que aumenta el ancho efectivo de los vertederos, disminuyendo el caudal unitario que circula a través de estos mejorando notablemente el comportamiento de la estructura disipadora.

- El funcionamiento hidráulico del cuenco es correcto, no existe las fuertes oscilaciones del flujo macro turbulento presentada en la configuración inicial, el resalto permanece confinado dentro de su cauce y no se presenta la sobre elevación al final del mismo, las paredes están dimensionadas adecuadamente, pues proveen la altura suficiente para confinar el resalto.

- La máxima velocidad puntual medida en la descarga de la transición en contra pendiente fue de 3.73 m/seg contra 7.36 m/seg presentado en la etapa con diseño original, lo que significa una reducción del 49%; con lo que se cumple el principal objetivo del presente estudio, que es obtener velocidades manejables a la salida del cuenco disipador.

- Para Q=344 m^3/seg con el nivel 15.99 m.s.n.m. se realizó la captación de Q=104 m^3/seg con una abertura de compuerta en la bocatoma igual a 1.0 m., el resto del caudal (240 m^3/seg) transitó por los vertederos con una abertura de las compuertas radiales G_o= 2.37 m. Los efectos producidos en el cuenco disipador son similares a los de la prueba con Q=350 m^3/seg, es decir un correcto comportamiento hidráulico de las pilas y el cuenco disipador. Se observa que existen velocidades máximas puntuales al final del cuenco del orden de 3.60 m/seg con una velocidad promedio equivalente a 2.99 m/seg, existe también un ligero desprendimiento del flujo al final del el muro, el mismo que avanza hasta el talud de la curva externa en la abscisa 1+060, para luego reflejarse aguas abajo. Además de tener velocidades considerablemente reducidas en relación a las pruebas con diseño original.

- Para Q=224 m^3/seg con el nivel 15.90 m.s.n.m. se realizó la captación de Q=104 m^3/seg con una abertura de compuerta en la bocatoma igual a 1.0 m, el resto del caudal (120 m^3/seg) tránsito por los vertederos con una abertura de las compuertas radiales G_o= 1.08 m. Los efectos producidos en el cuenco disipador son similares a los de la prueba con Q=350 m^3/seg, es decir el comportamiento hidráulico de las pilas es el indicado, no se presenta la separación de la lámina al inicio de las mismas que se presentó en el diseño original, se observa que existen velocidades aguas abajo al final del cuenco del orden de 2.35 m/seg en promedio, además de tener velocidades considerablemente reducidas en relación a las pruebas originales. La reducción de velocidades se encuentra en el orden del 50%.

7.7.2 BOCATOMA

- La bocatoma tiene un funcionamiento hidráulico adecuado, el flujo de entrada para las pruebas realizadas es estable, no se presentan fenómenos hidráulicos indeseables, ni tampoco se pudo observar la presencia de vorticidad al ingreso de la misma, además las velocidades medidas que se presentan en esta son del orden de 3 m/s, mencionando también que el caudal que se desvío por esta fue de 104 m^3/seg, que cumple con lo requerido por el estudio de la consultora ACT, para satisfacer las necesidades de agua, la cota del embalse fue la 16 m.s.n.m., para permitir el desvío de agua por gravedad hacia el canal de desviación.

- Con estos resultados se comprueba el correcto funcionamiento de esta variante y se concluye que la EPN en conjunto con los consultores asociación ACT, han dado solución al principal problema encontrado en la Fase A del estudio, al obtener en la fase final velocidades manejables al final del cuenco.

7.7.3 SIN STOP LOG Y COMPUERTAS RADIALES COMPLETAMENTE CERRADAS.

- Sin Stop Logs los caudales ensayados fueron de Tr_5=977 m^3/seg, Tr_{10}=1143 m^3/seg, Tr_{20}=1220 m^3/seg, Tr_{100}=1612 m^3/seg y las compuertas radiales cerradas.

- Para Tr_{100}=1612 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 15.50 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 15.49 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 15.46 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la compuerta reguladora de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba, como aguas abajo de la estructura de regulación utilizando trazadores, fueron muy

similares a los obtenidos en la fase de calibración y diseño original, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración y diseño original, variando entre 1.54m/seg a 1.83 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra la variante final no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados con relación a las pruebas con diseño original.

- Para Tr_{20}=1220 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 14.01 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 13.92 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 13.92 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la compuerta reguladora de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba, como aguas abajo de la estructura de regulación utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos en la fase de calibración y diseño original, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración y diseño original, variando entre 1.32 a 1.93 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra la variante final no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados con relación pruebas con diseño original.

- Para Tr_{10}=1143 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 13.86 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 13.71 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 13.70 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la compuerta reguladora de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba, como aguas abajo de la estructura de regulación, utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos en la fase de calibración y diseño original, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase A (diseño original), variando entre 1.47 a 1.84 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra la variante final no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados con relación pruebas con diseño original.

- Para Tr_5=977 m^3/seg, el nivel aguas arriba de las obras de regulación fue equivalente a 13.09 m.s.n.m. en la abscisa 0+680, y el nivel aguas abajo fue 12.96 m.s.n.m. en la abscisa 0+800, producto del estrechamiento producido por la presencia de las pilas en la obra de regulación. Estos niveles fueron obtenidos marcando el nivel 12.97 m.s.n.m. en la abscisa 1+320 con la compuerta reguladora de niveles colocada al extremo aguas abajo del canal.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba, como aguas abajo de la estructura de cierre, utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos en la fase de calibración y diseño original, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la Fase A (diseño original), variando entre 1.50 a 1.92 m/seg en la abscisa 0+800, siendo la mayor en la margen izquierda del canal, lo que demuestra la variante final no generan un cambio significativo ni en los patrones de flujo, ni en las características hidráulicas del mismo, como velocidades y calados con relación pruebas con diseño original.

- El cuenco disipador para los caudales ensayados en esta etapa permaneció ahogado, sin que genere ninguna perturbación en los patrones de flujo.

7.8 RECOMENDACIONES

- El paramento de las pilas a la entrada del flujo a la estructura de regulación debe ser modificado con un ángulo de inclinación, que permita que el flujo no se desprenda de las pilas, y de esta manera se aumenta el ancho efectivo en la entrada del flujo.

- Es importante tomar en cuenta la transición entre el muro del cuenco disipador y la entrega al canal de restitución, se recomienda evitar cantos sin redondeamiento a la entrada del canal, ya que estos evitan el desprendimiento de la lámina de agua que sale del cuenco disipador.

- Las variantes finales en relación con el vertedero de regulación, cuenco disipador y transición, propuestas en conjunto por la EPN y los consultores ACT han sido probadas en el modelo, en el rango de caudales a los cuales va a ser expuesto el prototipo, y los resultados obtenidos deben ser considerados en el diseño final de estas obras de regulación.

- Las velocidades máximas medidas en el modelo y transformadas a prototipo en las diferentes secciones del canal, deben ser consideradas para el diseño del enrocado del cauce rectificado del rio Daule.

- Para caudales mayores a Q= 350 m^3/seg, se recomienda que las compuertas radiales estén cerradas o completamente abiertas, para evitar la colmatación de material flotante en la margen izquierda del canal aguas arriba de los vertederos.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONSTRUCCIÓN DE MODELO

- Es importante que en la construcción de un modelo físico reducido, se tenga cuidado en el dimensionamiento, ya que estas son pequeñas comparadas con el prototipo, por lo que requiere de un trabajo de ingeniería bastante exacto, y de esto dependerá el mejor funcionamiento del modelo.

- La selección de los materiales para la simulación de la rugosidad, es importante ya que este es el aspecto físico primordial en la calibración del modelo, y que este cumpla con la condición de similitud para el modelo.

8.2 CALIBRACIÓN DE MODELO

- Una vez terminadas las pruebas de calibración, se puede concluir que el modelo responde satisfactoriamente a las condiciones necesarias para cumplir con el criterio de similitud restringida de Froude. Es decir el modelo representa al prototipo y los resultados que se obtendrán luego con las pruebas del diseño original serán las que se esperen en prototipo, los resultados serán una aproximación cuantitativa y cualitativa de la realidad.

- El coeficiente de rugosidad n de Manning es igual a 0.134 para modelo, y aplicando la ecuación de similitud de Froude para prototipo es 0.027 que se acerca al valor de 0.030 que fue el valor presentado por los consultores, lo que significa que se puede considerar al modelo como calibrado, y que va cumplir satisfactoriamente con los fenómenos que ocurran en prototipo, además de cumplir con la condición de similitud es

importante que se tomen en cuenta las condiciones de borde que al momento de realizar los ensayos,(curva de descarga del rio Daule).

- Es importante mencionar que en la etapa de calibración no se tomo en cuanta la curva de descarga del rio Daule, como condición de borde, se la realizo tomando en cuenta que el canal funcione en condiciones normales, con el valor de Yn, como condición de borde y regulando el caudal para cada valor correspondiente de Yn, y luego se compararon los resultados con los obtenidos con el programa H canales, como se explico en el Capitulo 4.

8.3 DISEÑO ORIGINAL

8.3.1 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG CERRADAS

Con Stop Logs cerrados y nivel del embalse 16 m.s.n.m.

Con Stop Logs los caudales ensayados fueron de 350, 240, 120 m^3/seg, e observa lo siguiente:

- Las compuertas radiales permanecieron completamente abiertas sin embargo el nivel en el embalse alcanzo la cota 16.36 por arriba de la cota 16.00 m.s.n.m. propuesta por ACT, debido a la contracción del flujo en la entrada a los vertederos.

- La velocidad medida para estos caudales a la salida del cuenco disipador fue del orden de 7 m/s, para Q=350 m^3/s, que es el caudal máximo que va a pasar por los vertederos, se requiere plantear un diseño más eficiente que disipe la gran cantidad de energía producida por el desnivel existente aguas arriba de la estructura de regulación y agua abajo de esta, además que permita disminuir la velocidad a la salida del cuenco disipador y obtener una mejor distribución de esta, se requiere que el valor de la velocidad sea del orden de 2.1 m/s que es el valor máximo medido en el canal de rectificación,

8.3.2 PRUEBAS CON COMPUERTAS STOP LOG COMPLETAMENTE ABIERTAS

Los caudales ensayados fueron de Tr_5=977 m^3/seg, Tr_{10}=1143 m^3/seg, Tr_{20}=1220 m^3/seg, Tr_{100}=1612 m^3/seg y las compuertas radiales cerradas.

- Los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba como aguas abajo utilizando trazadores fueron muy similares a los obtenidos sin obras, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento

- Las velocidades medidas son similares con las pruebas realizadas en la fase de calibración, lo que demuestra que la implantación de las obras no genera cambios en la morfología del canal de rectificación.

- El cuenco disipador para los caudales ensayados en esta etapa permaneció ahogado, sin que genere ninguna perturbación en los patrones de flujo.

8.4 ANÁLISIS DE VARIANTES

- La prueba cualitativa realizada con la prolongación de la pila derecha y central generó una leve mejora en el comportamiento hidráulico de la pila, pero no satisfizo las condiciones deseadas al ingreso del flujo, esto es aumentar el ancho efectivo del flujo en el vano del vertedor.

- El paramento inclinado en la parte frontal de las pilas del vertedero, mejora notablemente el ancho efectivo del flujo entre las pilas al ingreso del vertedero de regulación.

- El paramento con un ángulo de inclinación igual a 30 grados en la parte frontal de las pilas, presentó un mejor comportamiento hidráulico que el paramento con inclinación de 20 grados.

- Para el cuenco alargado, se comprobó que el efecto se trasmitía aguas abajo del alargamiento, y se observaba los mismos fenómenos hidráulicos correspondientes al abatimiento de la lámina de flujo (velocidades altas luego del cuenco disipador), por tanto esta opción no es válida para solucionar el problema principal de las altas velocidades a la salida del cuenco disipador.

- Para los umbrales (espigones) en el fondo del canal aguas abajo del cuenco disipador, se observó una mejor distribución de la pluma, pero las velocidades se mantenían altas, además generábamos efectos parecidos a las primeras pruebas cualitativas con el cuenco alargado, es decir que el efecto se trasmitía aguas abajo de los umbrales.

- Es importante que en el modelo se analicen varias variantes a representar en el prototipo, ya que esta es una de las facilidades que nos brindan los modelos físicos, en el caso del trasvase Daule-Vinces se analizaron varias alternativas, que permitieron solucionar el principal problema que fue las altas velocidades a la salida del cuenco disipador, mediante la variante de la transición gradual a la salida de este.

8.5 DISEÑO FINAL

8.5.1 CON STOP LOG CERRADOS Y NIVEL DEL EMBALSE 16 M.S.N.M.

Con Stop Log los caudales ensayados fueron de 350, 344, 224 m^3/seg.

- Para los caudales antes mencionados, el comportamiento hidráulico de las pilas es el indicado, no se presenta la separación de la lámina al inicio de las mismas que se presentó en el diseño original, las líneas de flujo siguen la forma de las pilas, lo que aumenta el ancho efectivo de los vertederos, disminuyendo el caudal unitario que circula a través de estos mejorando notablemente el comportamiento de la estructura disipadora.

- El funcionamiento hidráulico del cuenco es correcto, no existe las fuertes oscilaciones del flujo macro turbulento presentada en la configuración inicial, el resalto permanece confinado dentro de su cauce y no se

presenta la sobre elevación al final del mismo, las paredes están dimensionadas adecuadamente, pues proveen la altura suficiente para confinar el resalto.

- Los valores de velocidades para estos caudales disminuyeron en un aproximado del 50%, lo que demuestra que el que el diseño escogido, cumple con solucionar el problema fundamental que era la presencia de altas velocidades a la salida del cuneco disipador, en las conclusiones del Capitulo 7, se detallan la variación de velocidad con el diseño original y diseño final para cada uno de los caudales antes mencionados.

8.5.2 BOCATOMA

- La bocatoma tiene un funcionamiento hidráulico adecuado, el flujo de entrada para las pruebas realizadas es estable, no se presentan fenómenos hidráulicos indeseables, ni tampoco se pudo observar la presencia de vorticidad al ingreso de la misma, además las velocidades medidas que se presentan en esta son del orden de 3 m/s, que no representa ningún inconveniente ya que el canal de desvío será de hormigón.

- Con estos resultados se comprueba el correcto funcionamiento de esta variante y se concluye que la EPN en conjunto con los consultores asociación ACT, han dado solución al principal problema encontrado en la fase de diseño original del estudio, al obtener en la fase final velocidades manejables al final del cuenco.

8.5.3 SIN STOP LOG Y COMPUERTAS RADIALES COMPLETAMENTE CERRADAS.

Sin Stop Log los caudales ensayados fueron de Tr_5=977 m^3/seg, Tr_{10}=1143 m^3/seg, Tr_{20}=1220 m^3/seg, Tr_{100}=1612 m^3/seg y las compuertas radiales cerradas.

- Para los caudales antes mencionados, los patrones de flujo que se observaron tanto aguas arriba, como aguas abajo de la estructura de regulación utilizando trazadores, fueron muy similares a los obtenidos en la fase de calibración y diseño original, notándose una aceleración del flujo en los vanos entre pilas, debido a su estrechamiento.

- Las velocidades medidas para estos caudales son similares a las medidas en las pruebas realizadas en la fase de calibración y diseño original, lo que quiere decir que la modificación de la estructura de regulación no genera cambios bruscos en e canal de recirculación, en las conclusiones del capítulo 7 se presenta la variación de velocidades entre las pruebas de calibración, con diseño original, y diseño final.

- El cuenco disipador para los caudales ensayados en esta etapa permaneció ahogado, sin que genere ninguna perturbación en los patrones de flujo.

8.6 RECOMENDACIONES

- Tomando en consideración las características del funcionamiento de las obras de regulación correspondientes al diseño propuesto por ACT y ensayado en el modelo con una escala 1:60, y de los resultados obtenidos, se recomienda:

- El paramento de las pilas a la entrada del flujo a la estructura de regulación debe ser modificado con un ángulo de inclinación de 30 grados, que permita que el flujo no se desprenda de las pilas, y de esta manera se aumenta el ancho efectivo en la entrada del flujo.

- Es importante tomar en cuenta la transición entre el muro del cuenco disipador y la entrega al canal de restitución, se recomienda evitar cantos sin redondeamiento a la entrada del canal, ya que estos evitan el desprendimiento de la lámina de agua que sale del cuenco disipador.

- Las velocidades máximas medidas en el modelo y transformadas a prototipo en las diferentes secciones del canal, deben ser consideradas para el diseño del enrocado del cauce rectificado del rio Daule.

- Para caudales mayores a Q= 350 m^3/seg, se recomienda que las compuertas radiales estén cerradas o completamente abiertas, para evitar la colmatación de material flotante en la margen izquierda del canal aguas arriba de los vertederos.

- Como en el caso del modelo hidráulico del transvase Daule-Vinces, este fue de gran ayuda para el diseño final de la estructura en prototipo, por lo que se recomienda la construcción de modelo hidráulicos para obras de gran importancia, que presenten dificultades en el dimensionamiento y análisis del mismo, o como parte de comprobación para diseños propuestos.

CAPITULO 9

BIBLIOGRAFÍA

- Chow V.T.,(1959), HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS, New York – Bogotá, McGraw Hill Ed. Co.
- Hidalgo M., INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE MODELOS HIDRÁULICOS Y APLICACIONES BÁSICAS, (2007), EPN.
- Castro M., ANÁLISIS DIMENSIONAL Y MODELACIÓN FÍSICA EN HIDRÁULICA, EPN, Facultad de Ingeniería Civil.
- Castro M., INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA DEL FLUJO CON SUPERFICIE LIBRE, HIDRÁULICA II, EPN, Facultad de Ingeniería Civil.
- Sotelo G., HIDRÁULICA GENERAL VOLUMEN I, (1997), Limusa Noriega Ed.
- Rocha Felices A., HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES.
- Fuentes R., MODELOS HIDRÁULICOS: TEORÍA Y DISEÑO, (2002), DOLMEN.
- ACT, INFORME DE FACTIBILIDAD PROYECTO DAUVIN, (2010).
- EPN, INFORME MODELO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE RECTIFICACIÓN Y DERIVACIÓN DEL “PROYECTO DE TRASVASE DEL RIO DAULE AL RIO VINCES - FASE A, (FEBRERO 2011)
- EPN, INFORME MODELO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE RECTIFICACIÓN Y DERIVACIÓN DEL “PROYECTO DE TRASVASE DEL RIO DAULE AL RIO VINCES - FASE B, (ABRIL 2011)

ANEXOS

ANEXOS 1

PLANOS

ANEXO 2

DIGITAL