

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y
del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO HIDRÁULICO EN CAÍDAS VERTICALES”

Tesis presentada por el Bachiller
Huvidia Rendón, Santiago Adolfo
para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Civil

Asesor de Tesis:
Ing. Rendón Dávila, Víctor Oscar

AREQUIPA - PERÚ

2017

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El Borrador de Tesis Titulado:

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DEL
FLUJO HIDRAULICO EN CAIDAS VERTICALES

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

SANTIAGO ADOLFO HUVIDIA RENDON

Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO

OBSERVACIONES:

—
—
—

Arequipa, 21 de DICIEMBRE del 2017

 1938
 2778
 1733

DEDICATORIA

El presente proyecto de Investigación primero se lo dedico a Dios por ser quien siempre me llevo por el buen camino y por haber sido mi compañero fiel durante todo el desarrollo de mi vida familiar, escolar y universitaria.

En especial a mi familia mis padres Santiago, María del Carmen y a mi hermana María Alejandra, que siempre fueron una inspiración para mi persona, agradecerles también por el apoyo incesante durante todo el tiempo que duro este proyecto de investigación, donde siempre me dieron su apoyo y consejo, agradecerles a mis padres en especial porque aparte de ser mis padres fueron mis grandes amigos y consejeros, quienes me criaron, educaron y me extendieron valores desde muy pequeño. Muchas gracias por ser mis guías cada día y siempre brindarme su amor y cariño. Saben que los amo y los quiero, y que este proyecto es dedicado en especial para ustedes tres.

También agradecerle al Ing. Víctor Oscar Rendón Dávila que aparte de ser mi tío fue mi asesor en este proyecto ,agradecerle por permitirme formar parte del grupo de Investigación “Hydrosistemas”, y también por guiarme en el campo de la investigación, su entusiasmo acerca de la investigación me contagio a realizar esta tesis y también me entusiasmo a seguir en un futuro en este campo, durante este tiempo no solo actuó como mi tío ,sino con un gran amigo que siempre me brindó su apoyo ante cualquier circunstancia que ocurrió durante el desarrollo de esta tesis, le estaré eternamente agradecido.

No podría olvidarme del Ing. Percy Rucano Paucar, un gran amigo y consejero que conocí al formar parte del grupo de investigación, siempre presente con sus grandes ideas, sus consejos, sus

experiencias y sus bromas; muchas gracias Don Percy por comportarse como un padre y un amigo; también agradecerle a la señora Victoria Llerena, Dona “Vicky” esposa de Don Percy ,que siempre se preocupó de como avanzaba el desarrollo del proyecto y me trato como un miembro de su familia brindándome todo su cariño y afecto, también es preciso mencionar a la Familia Ibarra Rucano, a Raúl, Rossy y Jerome ,por siempre apoyarme durante este trayecto, todos ellos junto con Don Percy y Doña Vicky son personas que tendré siempre presentes no solo en mi mente sino también en mi corazón.

Agradecerle también a dos grandes amigos, Raúl y Arnold ,que en conjunto durante el desarrollo no solo de mi tesis, sino el de los suyos también, nos volvimos una hermandad donde nos apoyamos en conjunto y vimos el crecimiento de este canal modular, darle las gracias a Arnold un gran amigo y una gran persona que aparte de ser compañero de tesis siempre me acompaño y apoyo durante el desarrollo de esta investigación, aun así luego de todas las dificultades que aparecieron en el camino ,y que quedaran como grandes recuerdos; agradecerle a Raúl, que gracias a él no hubiera sido posible el desarrollo de este tesis ya que él fue el constructor de este canal modular ,el siempre estuvo presente con su grandes ideas, sus bromas, pero en especial por su consejos y apoyo durante momentos difíciles, no olvidare sus palabras en esos momentos donde parecía que el camino se dificultaba y el con sus palabras me impulsaba a seguir adelante y no darme por vencido ,agradecerle por que se comportó como un hermano más.

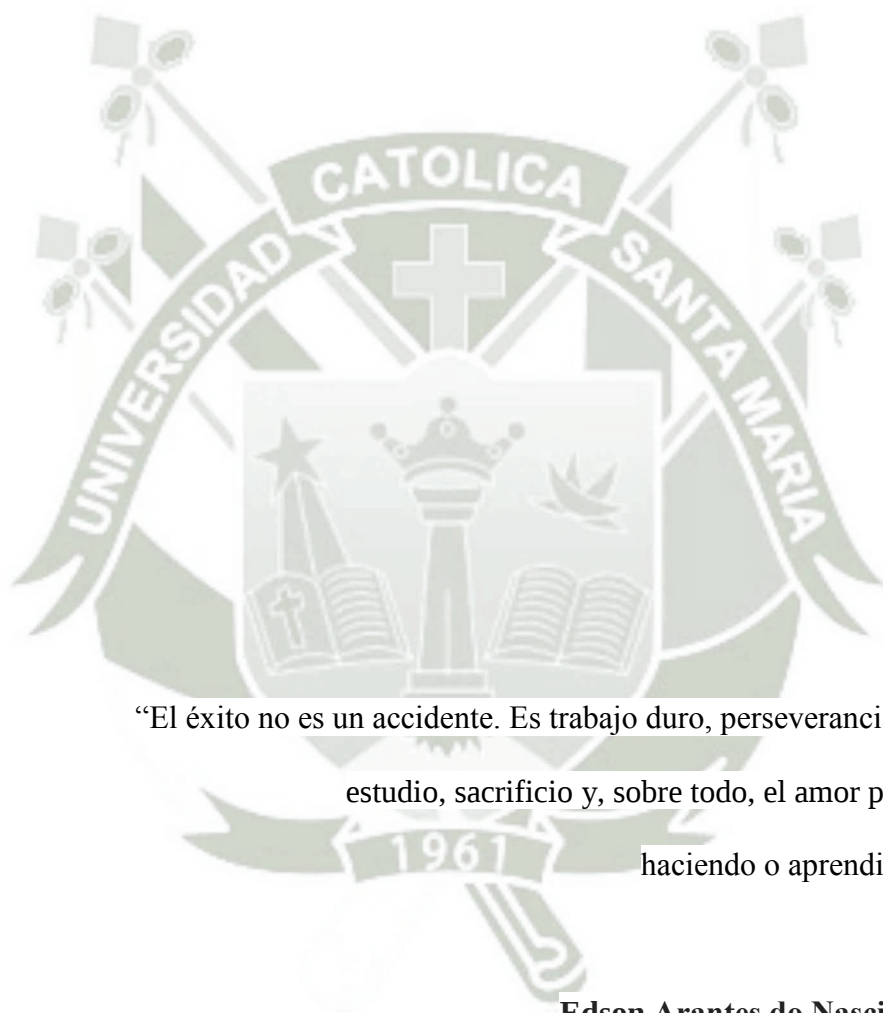
A mis amigos y hermanos Diego, Sergio; que siempre estuvieron pendientes del desarrollo del proyecto, a Sergio primeramente por ser mi hermano, darle las gracias por brindarme su amistad desde los 6 años, y por estar siempre en los momentos alegres y momentos no tan alegres también

agradecerle de manera muy especial por su apoyo en el caso del armado, desarmado y transporte del canal; no podría olvidarme de Diego un hermano y gran amigo que conocí en mi época universitaria que siempre me brindó su apoyo, no únicamente lo hizo en mi época universitaria sino también en el periodo del desarrollo de esta tesis, ya que me apoyo con una Motobomba que era de su propiedad, muchas gracias hermanos por todo su apoyo pero de manera muy especial por su amistad.

A mis amigos y hermanos Silvia, Analu ,André ,Diego y Boris , grandes personas que conocí en mi época universitaria con los que viví muchas experiencias y con quienes formamos una familia, sé que esta hermandad que creamos perdurara por mucho tiempo, gracias por su amistad hermanos.

A la Universidad Católica de Santa María por brindar las instalaciones del Laboratorio de Tecnología del Concreto y Mecánica de Suelos de la Universidad Católica de Santa María para la ubicación del canal modular, de manera especial a sus responsables, por brindarnos facilidades dentro del laboratorio y por mostrar su interés acerca de los procesos de investigación que se fueron realizando durante el desarrollo de la tesis.

Por último, darle gracias a mi alma mater el Colegio “ De La Salle ” - Arequipa, por haberme implantado valores y conocimientos durante mi época escolar.



“El éxito no es un accidente. Es trabajo duro, perseverancia, aprendizaje,
estudio, sacrificio y, sobre todo, el amor por lo que estás
haciendo o aprendiendo a hacer.”

Edson Arantes do Nascimento “Pelé”

INTRODUCCIÓN

Las caídas o gradas hidráulicas también se definen como estructuras las cuales son construidas para restaurar canales ya previamente dañados, también son construidas con el fin de prevenir la erosión causada por el incremento del caudal y las distintas aplicaciones que son creadas por las propias condiciones hidráulicas en el flujo del canal.

Las caídas hidráulicas o gradas de bajada a menudo combinan ambas características de salto y de impacto hidráulicos, mucha investigación y experimentación se ha realizado sobre los aliviaderos de caídas hidráulicas, todo esto para poder definir adecuadamente los distintos procedimientos de diseño y los parámetros que deben gobernar para el diseño de este tipo de estructuras, parte de la razón de esto que se ha mencionado previamente es que, cuando estas estructuras se dimensionan incorrectamente, puede en realidad empeorar un problema de erosión la cual es causada por el incremento del caudal, esta erosión se generaría en el canal aguas abajo.

RESUMEN

La Ingeniería Hidráulica nacería junto con la antigua civilización, ya que el hombre en su necesidad de supervivencia tuvo que aprender a controlar e utilizar el agua. Es por esto que estas antiguas civilizaciones se ubicaron y desarrollaron cerca de las fuentes de agua como los ríos, ya que los ríos en esa época constituían una parte vital en la comunicación y también eran utilizados como fuente de agua para el riego y para el consumo humano.

Los canales pueden ser considerados como la primera obra hidráulica de la humanidad, esto porque el hombre necesitó realizar excavaciones para poder conducir el agua de los ríos hasta la zona en la que ellos vivían.

Actualmente nuestro país desarrolla distintas obras hidráulicas ya sea para el abastecimiento, para el riego o para la generación de energía, dentro de estas obras hidráulicas encontramos a las caídas o gradas hidráulicas, las cuales han sido utilizadas como estructuras para la protección de las distintas zonas de riego, para su abastecimiento y para salvar diferencias de alturas entre canales.

Uno de los principales atractivos en nuestro país donde podemos ver el desarrollo de caídas verticales o cascadas, es en el sitio arqueológico de Tambomachay en la ciudad de Cusco, este sitio arqueológico posee un extraordinario sistema hidráulico que consiste de acueductos y caídas de agua que proviene de los manantiales, Fue formado por un conjunto de piedras finamente labradas, y fue considerado por los incas como un templo de culto al agua.

Palabras clave: Caídas, verticales, riego, agua, abastecimiento, canales, ventilación ,no ventilación, diseño, investigación.

ABSTRACT

The hydraulic engineering was born together with the ancient civilization, as the man in his need of survive had to learn how to control and use the water. This is why the ancient civilizations were located and developed near water sources like rivers, because the rivers at the time constituted a vital part in the communication and they were also used as water source for irrigation and for human consume. The channels can be considered as the first work hydraulics of humanity, this because the man needed to carry out excavations to conduct water from the rivers to the area in which they lived.

Our country is currently developing different works either for the supply, for the irrigation or energy generation, within those works we found the hydraulic drops. These structures have been used as structures for protection of areas of irrigation, for its supply and to save the height differences between channels.

One of the main attractions in our country where we can see the development of vertical drops or waterfalls is in the Tambomachay Archaeological site in the city of Cusco, this archaeological site possesses a special hydraulic system consisting of aqueducts and drop falls that come from springs. It was formed by a set of finely carved stones, and it was considered by the Incas as a temple of worship to the water.

Keywords: Falls, vertical, irrigation, water, supply, channels, ventilation, non-ventilation, design ,investigation.

CONTENIDO

CAPITULO 1	1
DISEÑO DE LA TESIS	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Diseño teórico de la tesis	1
1.2.1. Situación problemática	1
1.2.2. Problema	2
1.2.3. Objeto	2
1.2.4. Campo de acción	2
1.2.5. Objetivo Principal	2
1.2.6. Objetivos Específicos	3
1.2.7. Hipótesis	4
CAPITULO 2	5
MARCO TEORICO	5
2.1. Flujos uniformes	5
2.1.1. Establecimiento de flujo uniforme	5
2.2. Resalto Hidráulico	7
2.2.1. Resalto Hidráulico en canales horizontales	8
2.2.1.1. Tipos de resalto	8
2.3. Caídas o gradas Hidráulicas	10
2.3.1. Estructuras de caída vertical o caída libre	13
2.3.1.1. Caída Vertical Común	13
2.3.1.1.1. Criterios de diseño para caídas verticales comunes	15

2.3.1.1.2.	Criterios de diseño para la tubería de ventilación en caídas veticales comunes.....	24
2.3.1.2.	Caída Vertical Tipo Sarda (India)	26
2.3.1.3.	Caída vertical Tipo YMGIT (Japón).....	29
2.3.1.4.	Caída vertedero rectangular de Cresta Delgada (Francia).....	31
2.3.2.	Impacto de caídas Verticales.....	33
2.3.3.	Caídas inclinadas o rápidas	33
2.3.3.1.	Rápidas	33
2.3.3.2.	Caída Inclinada India.....	34
2.3.3.3.	Caída tipo escalonada o cascada.....	34
2.3.4.	Caídas en conducto o entubadas.....	34
2.3.4.1.	Estructura de caída tipo pozo.....	35
2.3.4.2.	Caída tubificada.....	35
2.3.4.3.	Caída para irrigaciones	36
2.4.	Análisis dimensional y semejanza	36
2.4.1.	Introducción	36
2.4.2.	Análisis dimensional	37
2.4.2.1.	Magnitudes fundamentales y derivadas.....	37
2.4.3.	Tipos similitud.....	38
2.4.3.1.	Similitud geométrica.....	38
2.4.3.2.	Similitud cinemática	40
2.4.3.3.	Similitud dinámica.....	40
2.4.3.4.	Teorema Buckingham-pi	41
2.4.3.5.	Semejanza de Froude.....	43
2.4.3.6.	Similitud de Reynolds	46
2.4.3.7.	Relaciones de escala en los problemas de semejanza.....	47
2.5.	Análisis dimensional para el modelamiento en caídas verticales	48
2.5.1.	Análisis dimensional para los datos obtenidos.....	48
2.5.2.	Calculo de caudales en el prototipo según la similitud de Froude	52

CAPITULO 3	53
DISEÑO, CONSTRUCCION MONTAJE Y TOMA DE DATOS EN EL CANAL MODULAR PARA LA EJECUCION DE LA EXPERIMENTACION HIDRAULICA EN CAIDAS VERTICALES	53
3.1. Introducción al diseño del canal modular	53
3.2. Diseño del canal modular y sus componentes	53
3.2.1. Descripción del canal modular	53
3.2.1.1. Arreglos experimentales para la realización del estudio en caídas verticales .	56
3.2.1.2. Dimensiones del caudal a ensayar	66
3.2.1.3. Perdidas debido a la fricción en la impulsión.....	67
3.2.1.4. Perdidas debido a la fricción en la succión.....	75
3.2.1.5. Perdidas locales	81
3.2.2. Calculo de la entrada de aire	85
3.2.3. Uso de la compuerta para medición de caudales.....	86
3.2.3.1. Calculo del caudal con compuertas planas	90
CAPITULO 4.....	94
MODELACION DE LAS CARACTERISITICAS DEL FLUJO HIDRAULICO Y MEDICION DE VARIABLES EN CAIDAS VERTICALES	94
4.1. Proceso para la medición de las diversas variables físicas	94
4.1.1. Medición de los tirantes aguas arriba del canal modular y aguas abajo	95
4.1.2. Modelación de caudales	96
4.1.2.1. Medición del método volumétrico.....	96
4.1.2.2. Medición con compuerta	98
4.1.3. Calculo de velocidades.....	100
4.2. Datos obtenidos en campaña experimental.....	102

4.3.	Modelación o caracterización hidráulica	102
4.3.1.	Modelación de caídas verticales sin ventilación	103
4.3.1.1.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.149$	
4.3.1.2.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.200$ metros.....	107
4.3.1.3.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.250$ metros.....	110
4.3.1.4.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.300$ metros.....	113
4.3.1.5.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.350$ metros.....	116
4.3.1.6.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.400$ metros.....	119
4.3.1.7.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.450$ metros.....	122
4.3.1.8.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.500$ metros.....	125
4.3.2.	Modelación de caídas verticales con ventilación	128
4.3.2.1.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.300$ metros.....	128
4.3.2.2.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.350$ metros.....	131
4.3.2.3.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.400$ metros.....	134
4.3.2.4.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.450$ metros.....	137
4.3.2.5.	Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.50$ metros.....	140
ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS OBTENIDOS EN LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL		144

5.1.	Introducción al análisis comparativo	144
5.2.	Modelación obtenida durante la experimentación	145
5.2.1.	Según el método propuesto por Moore (1943).....	145
5.2.1.1.	Para caídas verticales sin ventilación	146
5.2.1.2.	Para caídas verticales con ventilación	146
5.2.2.	Según el método propuesto por Rand (1955).....	147
5.2.2.1.	Para caídas verticales sin ventilación	148
5.2.2.2.	Para caídas verticales con ventilación	151
5.2.3.	Según el método propuesto por Gill (1979).....	154
5.2.3.1.	Para caídas verticales sin ventilación	154
5.2.3.2.	Para caídas verticales con ventilación	156
5.2.4.	Según el método propuesto por Chanson (1994)	158
5.2.4.1.	Para caídas verticales sin ventilación	158
5.2.4.2.	Para caídas verticales con ventilación	161
5.2.5.	Según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995)	164
5.2.5.1.	Para caídas verticales sin ventilación	164
5.2.5.2.	Para caídas verticales con ventilación	165
5.2.6.	Según la teoría modificada de Moghaddam.....	167
5.2.6.1.	Para caídas verticales sin ventilación	167
5.2.6.2.	Para caídas verticales con ventilación	170
5.2.7.	Según la campaña experimental.....	172
5.2.7.1.	Para caídas verticales sin ventilación	173
5.2.7.2.	Para caídas verticales con ventilación	177
5.3.	Comparación entre los diseños de los investigadores y los datos obtenidos en la campaña experimental.....	181
5.3.1.	Análisis comparativo de las distintas variables en las estructuras de caídas verticales sin ventilación	182

5.3.2. Análisis comparativo de las distintas variables en las estructuras de caídas verticales con ventilación.....	186
CONCLUSIONES	191
RECOMENDACIONES	195
BIBLIOGRAFIA.....	197
ANEXOS.....	200



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 -. Establecimiento del flujo Uniforme	6
Figura 2.2 -. Resalto Hidráulico ondulante.	8
Figura 2.3 -. Resalto Hidráulico débil.....	9
Figura 2.4 -.Resalto Hidráulico oscilante.	9
Figura 2.5: Resalto Hidráulico estable.....	9
Figura 2.6-. Resalto Hidráulico Fuerte.	10
Figura 2.7 -. Localización de canal con caídas.	11
Figura 2.8 -.Esquema definido del flujo en caídas.....	14
Figura 2.9 -.Características del flujo en una estructura de caída.	15
Figura 2.10-.Esquema de una estructura de caída común (Bos, M.G. 1976).	15
Figura 2.11 -.Esquema del tanque de tipo bloque de impacto USBR (Bos, M.G. 1976).	23
Figura 2.12 -.Valores de $Ld/\Delta Z$ en función al número de caída D (Bos, M.G. 1976).	24
Figura 2.13-. Vista de perfil de la Caída Vertical con la tubería de succión en la pared vertical. 26	
Figura 2.14-.Cresta rectangular Caída de Tipo Sarda.....	29
Figura 2.15-. Esquema de Caída de Tipo YMGJT Japón (Kraatz y Mahhajan,1975).	31
Figura 2.16-. Esquema de Caída de vertedero rectangular con cresta elevada, Francia (Kraatz y Mahajan, 1975).	32
Figura 2.17-. Caída inclinada con tanque de amortiguación USBR Tipo III	33
Figura 2.18-. Caída tipo escalonada o cascada	34
Figura 2.19-.Estructura de Caída tipo pozo.	35
Figura 2.20-.Relaciones de semejanza con las diferentes leyes.....	48
Figura 3.1-.Partes componentes de cada Módulo y armado del mismo.	55

Figura 3.2 -. Canal modular a una altura fija.	56
Figura 3.3-. Canal modular luego de la creación del desnivel para el estudio de Caídas Verticales.	57
Figura 3.4-. Uso del nivel topográfico para la corrección de desnivel del terreno.	57
Figura 3.5-. Canal modular sostenido por caballetes regulables con tornillo, rieles de guía y con caballetes regulables con platina.....	58
Figura 3.6-. Canal modular de longitud de 1.50 metros y de altura de 1.20 metros permitiendo la unión de la parte superior del canal con la inferior.....	59
Figura 3.7-. Pozo de recibimiento de flujo parte del canal modular.....	59
Figura 3.8-. Sistema de caballetes regulables con platina para la el descenso y elevación del canal para las alturas de caídas determinadas.	60
Figura 3.9 -.Uso de gata tipo botella para el ascenso o descenso del canal modular aguas abajo.	61
Figura 3.10-. Vista en perfil del volado de 3mm. Para la mejor visualización de los componentes de la caída vertical	61
Figura 3.11-. Corte de pared de acrílico para las distintas alturas de caída vertical y posterior forado para la aireación de la caída.	62
Figura 3.12-. Compuerta de 90 grados que permitió la obtención y control del caudal utilizado en cada prueba experimental.	62
Figura 3.13-. Piscina para el recibimiento y acumulación de agua.	63
Figura 3.14-. Pozo para recibimiento y transporte del agua al canal modular.....	63
Figura 3.15-. Sistema de motobombas para el transporte de flujo hacia el pozo de recibimiento de flujo.	64
Figura 3.16-. Estabilizador de flujo con tornillos	65

Figura 3.17-. Sistema de tuberías de impulsión (izquierda) y sistema de tuberías de succión (izquierda).	65
Figura 3.18-. Diagrama de Moody.....	71
Figura 3.19-. Flujo que se desarrolla a través de una compuerta plana.	87
Figura 3.20-. Esquema de descarga libre en compuertas planas.....	88
Figura 3.21-. Esquema de descarga sumergida en compuertas planas	89
Figura 3.22-. Abaco para el cálculo de coeficientes de descarga para compuertas planas e inclinadas.	93
Figura 4.1-. Medición con regla de aluminio del tirante de la caída “ <i>ycaida</i> ”.	95
Figura 4.2-. Medición del tirante “ <i>y1</i> ” y la longitud del chorro “ <i>Ld</i> ”.....	96
Figura 4.3-. Control de caudales mediante altura de carga de agua para Método Volumétrico Motobomba “Humboldt”.	97
Figura 4.4-. Control de caudales mediante altura de carga de agua para Método Volumétrico Motobombas “MEBA”.	98
Figura 4.5-. Control de caudales mediante uso de compuerta.	99
Figura 4.6-. Apreciación de los perfiles de la caída vertical no ahogada (izquierda), y cuando esta se encuentra ahogada (derecha) para la altura $\Delta Z=0.149\text{m}$	106
Figura 4.7-. Apreciación de los perfiles de la caída vertical no ahogada (izquierda), y cuando esta se encuentra ahogada (derecha) para la altura $\Delta Z=0.200\text{ m}$	110
Figura 4.8-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.250\text{ m}$	113
Figura 4.9-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.300\text{ m}$	116

Figura 4.10-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.350$ m.	119
Figura 4.11-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.400$ m.	122
Figura 4.12-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.450$ m.	125
Figura 4.13--. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.500$ m.	128
Figura 4.14-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.300$ m., $Q=61.809$ l/seg.	131
Figura 4.15-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.350$ m. $Q=65.095$ l/seg.	134
Figura 4.16-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.400$ m. $Q=62.788$ l/seg.	137
Figura 4.17-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.450$ m. $Q=10.189$ l/seg (arriba), 60.003 l/seg (abajo).	140
Figura 4.18-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.450$ m. $Q=25.993$ l/seg (arriba), 32.343 l/seg (abajo).	143
Figura 5.1-. Valor de la aceleración de la gravedad del lugar donde se desarrollaron los ensayos para la investigación.(Fuente: “Physikalisch-Technische Bundesanstalt” PTB, Instituto de Metrología de Alemania)	145
Figura 5.2-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{crítico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moore (1943).	146

Figura 5.3-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moore (1943).	147
Figura 5.4-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	148
Figura 5.5-. Relación. $y1/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	149
Figura 5.6-. Relación. $ld/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	149
Figura 5.7-. Relación. $cos\beta$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	150
Figura 5.8-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	151
Figura 5.9-. Relación. $y1/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	152
Figura 5.10-. Relación. $ld/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	152
Figura 5.11-. Relación. $cos\beta$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).	153
Figura 5.12-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Gill (1979).	154
Figura 5.13-. Relación. $y1/\Delta Z$ vs. $ycritico/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Gill (1979).	155

Figura 5.14-. Relación. $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Gill (1979).....	155
Figura 5.15-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Gill (1979).....	156
Figura 5.16-. Relación. $y1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Gill (1979).....	157
Figura 5.17-. Relación. $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Gill (1979).....	157
Figura 5.18-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	159
Figura 5.19-. Relación. $y1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	159
Figura 5.20-. Relación. $Ld/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	160
Figura 5.21-. Relación. $\cos\beta/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	160
Figura 5.22-. Relación. $yp/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	161
Figura 5.23-. Relación. $y1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	162
Figura 5.24-. Relación. $Ld/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	162

Figura 5.25-. Relación. $\cos\beta/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).....	163
Figura 5.26-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).....	164
Figura 5.27-. Relación. $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).....	165
Figura 5.28-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).....	166
Figura 5.29-. Relación. $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).....	166
Figura 5.30-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	168
Figura 5.31-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	168
Figura 5.32-. Relación. $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	169
Figura 5.33-. Relación $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	169
Figura 5.34-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	170
Figura 5.35-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sicon ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	171

Figura 5.36-. Relación. $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	171
Figura 5.37-. Relación $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moghaddam.	172
Figura 5.38-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.	173
Figura 5.39-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.	174
Figura 5.40-. Relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.	175
Figura 5.41-. Relación. $\cos\beta/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.	176
Figura 5.42-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.	177
Figura 5.43-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.	178
Figura 5.44-. Relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.	179
Figura 5.45-. Relación. $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.	180
Figura 5.46-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.	182

Figura 5.47-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.....	183
Figura 5.48-. Comparación de los datos experimentales para la relación $Ld/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.....	184
Figura 5.49-. Comparación de los datos experimentales para la relación $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.....	185
Figura 5.50-. Comparación de los datos experimentales para la relación $yp/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.....	186
Figura 5.51-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.....	187
Figura 5.52-. Comparación de los datos experimentales para la relación $Ld/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.....	188
Figura 5.53-. Comparación de los datos experimentales para la relación $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.....	189
Figura 5.54-.Relación. y_{caida} vs. $y_{critico}$ para caídas verticales con ventilación y sin ventilación según los ensayos realizados.....	190
Figura 5.55-.Comparacion de perfiles: Caída no ventilada (izquierda), Caída ventilada (derecha) Q= 62.00 l/seg.....	191

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1-. Calculo de caudales de laboratorio extrapolados a prototipo.	52
Tabla 4-1-.Medición volumétrica de caudales Motobomba “HUMBOLDT” 3 plg. 7.5 HP.....	97
Tabla 4-2-.Medición volumétrica de caudales Motobomba “MEBA” 4 plg. 13 HP.....	98
Tabla 4-3-. Medición de caudales con compuerta para Motobomba “HUMBOLDT” 3 plg. 7.5 HP.	99
Tabla 4.4 -. Medición de caudales con compuerta para Motobomba “MEBA” 4 plg. 13 HP....	100
Tabla 4.5-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.149$ metros.....	104
Tabla 4.6-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.149$ m.. ..	105
Tabla 4.7-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.200$ metros.....	108
Tabla 4.8-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.200$ m.. ..	109
Tabla 4.9-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.250$ metros.....	111
Tabla 4.10-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.250$ m.. ..	112
Tabla 4.11-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.300$ metros.....	114
Tabla 4.12-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.300$ m.. ..	115

Tabla 4.13-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.350$ metros.....	117
Tabla 4.14-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.350$ m.	118
Tabla 4.15-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.400$ metros.....	120
Tabla 4.16-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.400$ m.	121
Tabla 4.17-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.450$ metros.....	123
Tabla 4.18-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.450$ m.	124
Tabla 4.19-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.500$ metros.....	126
Tabla 4.20-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.500$ m.	127
Tabla 4.21-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.300$ metros.....	129
Tabla 4.22-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.300$ m.	130
Tabla 4.23-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.350$ metros.....	132

Tabla 4.24-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.350$ m..	133
Tabla 4.25-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.400$ metros.....	135
Tabla 4.26-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.400$ m..	136
Tabla 4.27-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.450$ metros.....	138
Tabla 4.28-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.450$ m..	139
Tabla 4.29-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.500$ metros.....	141
Tabla 4.30-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.500$ m..	142
Tabla 5.1-. Relación en caídas verticales según Moore (1943).	145
Tabla 5.2-. Relación en caídas verticales según Rand (1955).	147
Tabla 5.3-. Relación en caídas verticales según Gill (1979).....	154
Tabla 5.4-. Relación en caídas verticales según Chanson (1994).....	158
Tabla 5.5-. Relación en caídas verticales según Rajaratnam & Chamani (1995).....	164
Tabla 5.6-. Relación en caídas verticales según Moghaddam.	167

CAPITULO 1

DISEÑO DE LA TESIS

1.1. Antecedentes

Los canales son estructuras hidráulicas cuya función es la conducción de agua, éstas estructuras hidráulicas tienen distintas finalidades ya sea para el drenaje, el riego, para generar energía, etc. En este caso uno de los principales condicionantes para la construcción de un canal son las diferencias de cotas entre el principio y el final de un canal.

Los canales son diseñados con tramos de pendientes fuertes en los cuales encontramos velocidades del flujo de agua que llegan a ser muy altas, por lo que en ciertas ocasiones superan las velocidades máximas admisibles según el material que es usado en su construcción, de esta manera, para controlar estas velocidades altas se pueden construir rampas o escalones en combinación, siguiendo según sea las características del terreno en la cual estas estructuras son construidas.

Uno de los aspectos más importantes a considerar en obras hidráulicas en zonas altas como en cerros o en montañas, es la disipación de la energía cinética. Esta situación se encuentra en estructuras de caída, desfogues, salidas de alcantarillas, vertederos de excedencias, etc.

1.2. Diseño teórico de la tesis

1.2.1. Situación problemática

Las caídas son aquellas estructuras hidráulicas las cuales son utilizadas para efectuar cambios bruscos en la rasante del canal, éstas estructuras hidráulicas permiten unir dos tramos (uno superior y otro inferior) de un canal por medio de un muro en plano vertical, dicho plano permite que el flujo de agua salte libremente y caiga en el pozo de disipación.

Las caídas se consideran también disipadores de energía ya que valga la redundancia disipan la energía que lleva el flujo generado por la diferencia de niveles. Ésta diferencia de nivel se introduce cuando es necesario reducir la pendiente de un canal.

1.2.2. Problema

La presente tesis pretende estudiar en función a otros investigadores como se desarrolla el flujo hidráulico en este tipo de estructuras, según la altura de caída y cómo influye la aireación o no de esta estructura en el desarrollo del flujo aguas de la caída vertical, de manera así que se realizaran estudios en un canal hidrodinámico ubicado en la ciudad de Arequipa, particularmente en la zona de Parque industrial (Laboratorio de Tecnología del Concreto y Mecánica de Suelos de la Universidad Católica de Santa María).

En nuestro país no existen muchos estudios al respecto de este tipo de estructuras, por lo que esa investigación permitirá conocer a estudiantes y profesionales de las características de las variables que posee este tipo de estructuras y cuan fundamental es su construcción para el abastecimiento del flujo hídrico a zonas bajas.

1.2.3. Objeto

Comportamiento del flujo hidráulico en Caídas Verticales con o sin ventilación o aireación.

1.2.4. Campo de acción

Comportamiento del flujo hidráulico en caídas verticales mediante un modelo físico a escala, ensayado a una altura de 2278 m.s.n.m.

1.2.5. Objetivo Principal

Determinar el cambio de las variables que componen el desarrollo del flujo hidráulico en caídas verticales en función a los cambios de caudal, altura de la caída, y ventilación o no de la misma,

para luego realizar la comparación de datos obtenidos en laboratorio con los diseños de otros investigadores.

1.2.6. Objetivos Específicos

- Realizar ensayos experimentales en un canal modular sobre el cual se realizara el montaje de una caída vertical para de esta manera estudiar y analizar las distintas variables que forman parte de este tipo de estructura.
- Analizar el comportamiento hidráulico de una caída vertical observando el transito del flujo subcrítico a flujo supercrítico previo al tirante de la caída.
- Determinar las distintas variables que componen el flujo como pueden ser: Tirante previo a la caída vertical, altura del tirante en la pared de la caída, longitud del chorro, ángulo del chorro, altura de los distintos tirantes conjugados.
- Determinar y analizar las diferencias encontradas entre los ensayos de caídas verticales ala realizarse los cambios de altura de las misma, y en conjunto si la estructura se encuentra ventilada o no ventilada.
- Obtener curvas comparativas junto con la de los demás investigadores que relacionen los cambios de variables en caídas verticales en función al caudal ensayado.
- Determinar un diseño aplicable para alturas mayores a 2278 m.s.n.m. donde se determine de una manera más precisa y exacta el valor de las variables en función al lugar donde sea construida este tipo de estructura.
- Derivar conclusiones sobre los ensayos realizados y comprobar si existe variación en el desarrollo flujo de la caída en función a los diseños proporcionados por otros investigadores.

1.2.7. Hipótesis

Los factores de presión atmosférica, gravedad del sitio, ventilación o no de las caídas verticales, influyen en el comportamiento del flujo, por lo tanto también en el cambio de variables en dichas estructuras, por lo que el desarrollo o comportamiento del flujo no depende únicamente del caudal, sección del canal, y de la altura de la caída.



CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Flujos uniformes

Los flujos en canales abiertos uniformes de equilibrio se caracterizan por una profundidad constante y una velocidad media de flujo constante, se les conoce también como flujos normales que no deben confundirse con los “flujos con una distribución uniforme de velocidad”. En canales abiertos el régimen del flujo uniforme de equilibrio es equivalente al régimen de flujo totalmente desarrollado en la tubería.

El flujo uniforme tiene los siguientes aspectos principales:

1. La profundidad, área mojada, velocidad y descarga en cada sección del canal.
2. La línea de energía, superficie del agua y del fondo del canal son todas paralelas

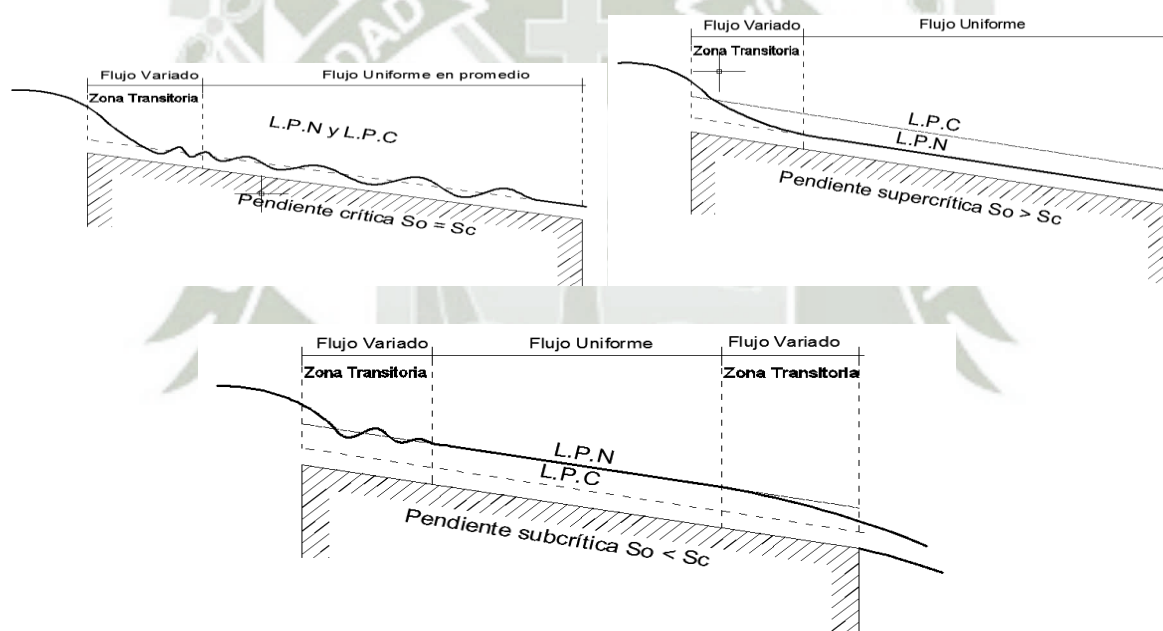
El flujo uniforme es considerado como permanente solamente ya que el flujo uniforme no permanente es inexistente prácticamente. En corrientes naturales, aun el flujo uniforme permanente es raro, para ríos y corrientes en estado natural raramente alguna vez experimentan la condición estricta de flujo uniforme.

Se debe destacar que el flujo uniforme no puede ocurrir a velocidades muy altas, esto es porque cuando el flujo uniforme alcanza velocidades altas, este se convierte en inestable. A más altas velocidades el flujo eventualmente arrastrará aire y se hace no permanente.

2.1.1. Establecimiento de flujo uniforme

Cuando el flujo sucede en un canal abierto, se encuentra resistencia por el agua según el flujo va agua abajo. Esta resistencia se contrarresta generalmente por los componentes de las fuerzas de

gravedad actuando sobre el cuerpo del agua en la dirección del movimiento. Un flujo uniforme se desarrollara si la resistencia es balanceada por las fuerzas de gravedad. Si el agua entra al canal lentamente, la velocidad y de aquí la resistencia son pequeñas, y la resistencia s balanceada ,por las fuerzas de gravedad, resultando en un flujo acelerado en el tramo aguas arriba. La velocidad y la resistencia gradualmente se incrementan hasta que se alcance un balance entre las fuerzas de resistencia y las de gravedad. En este momento y de ahí en adelante el flujo se hace uniforme. El tramo guas arriba que se requiere para el establecimiento del flujo uniforme se conoce como zona transitoria. En esta zona el flujo es acelerado y variado. Si la zona transitoria es mayor a la longitud del canal no puede existir flujo uniforme.



Fuente: *Hidráulica de Canales* (Ven Te Chow, 1982)

Figura 2.1 - Establecimiento del flujo Uniforme

En la siguiente imagen se puede observar un canal con distintas pendientes en este caso tres, las cuales representan tres tipos de pendientes una subcrítica una crítica y una supercrítica.

1. En el primer caso de la pendiente subcrítica, se puede observar que la superficie del agua que se encuentra en la zona transitoria aparece ondulatoria, para luego desarrollarse un flujo uniforme en la zona central del tramo del canal, cabe destacar también que se desarrolla un flujo variado en los dos extremos.
2. En el segundo caso observamos una pendiente critica en la cual la superficie del agua en flujo critico se torna inestable, en el tramo central se pueden dar ondulaciones en el flujo, pero la profundidad en este punto es constante por lo que puede considerarse uniforme
3. En el tercer y último caso tenemos una pendiente supercrítica en la que la superficie de agua pasa de un nivel subcrítico a uno supercrítico, esto a través de la caída hidráulica gradual, ya en la zona de transición el flujo se vuelve uniforme, a esta profundidad uniforme se le conoce con profundidad normal.

2.2. Resalto Hidráulico

El resalto hidráulico ocurre cuando hay un conflicto entre los controles que se encuentran aguas arriba y aguas abajo, los cuales influyen en la misma extensión del canal. Este puede producirse en cualquier canal, pero en la práctica los resaltos se obligan a formarse en canales de fondo horizontal, ya que el estudio de un resalto en un canal con pendiente es un problema complejo y difícil de analizar teóricamente.

Este fenómeno se presenta cuando existen cambios violentos en el régimen del flujo, de supercrítico a subcrítico esta transición se le conoce como resalto hidráulico, siendo una sección de flujo de variación rápida.

La teoría de resalto hidráulico que se desarrolló en tempranos días es para canales horizontales o inclinados ligeramente en los cuales el peso del agua en el salto tiene poco efecto sobre el andamiaje del salto y por lo tanto es ignorado en el análisis.

2.2.1. Resalto Hidráulico en canales horizontales

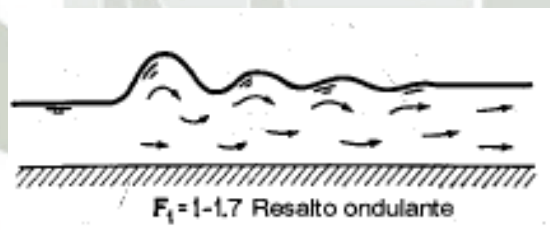
Para flujo supercrítico en un canal rectangular horizontal, la energía del flujo se disipa a través de la resistencia friccional a lo largo del canal dando como un resultado un descenso en la velocidad y un incremento en la profundidad en la dirección de flujo.

2.2.1.1. Tipos de resalto

Una manera es clasificarlos según el número de Froude del flujo entrante:

Para un $F_{entrada} = 1$, el flujo es crítico

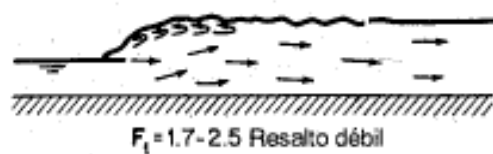
Para un $F_{entrada} = 1$ a 1.7, la superficie del agua muestra ondulaciones y se presenta un resalto ondulante.



Fuente: Hidráulica de Canales (Ven Te Chow, 1982).

Figura 2.2 -. Resalto Hidráulico ondulante.

Para un $F_{entrada} = 1.7$ a 2.5 se desarrolla una serie de remolinos sobre la superficie del resalto, pero el flujo aguas abajo permanece uniforme



Fuente: *Hidráulica de Canales* (Ven Te Chow, 1982)

Figura 0.3 -. Resalto Hidráulico débil.

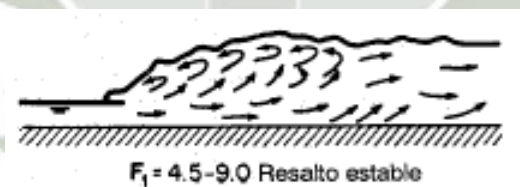
Para un $F_{entrada} = 2.5$ a 4.5 , existe un chorro oscilante que entra desde el fondo del resalto hasta la superficie.



Fuente: *Hidráulica de Canales* (Ven Te Chow, 1982)

Figura 2.4 -.Resalto Hidráulico oscilante.

Para un $F_{entrada} = 4.5$ a 9.0 , la extremidad aguas abajo del rolo de la superficie y el punto en el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurre a prácticamente la misma sección vertical..A este salto se le puede llamar salto permanente.



Fuente: *Hidráulica de Canales* (Ven Te Chow, 1982)

Figura 2.5: Resalto Hidráulico estable.

Para un $F_{entrada} = 9.0$ y más grande el chorro de alta velocidad agarra golpes intermitentes de agua rodando hacia debajo de la cara frente al salto, generando olas aguas abajo, la acción del salto

es áspera pero efectiva ya que la disipación de energía que alcanza es del 85%. A este salto se le puede llamar salto fuerte



Fuente: Hidráulica de Canales (Ven Te Chow, 1982)

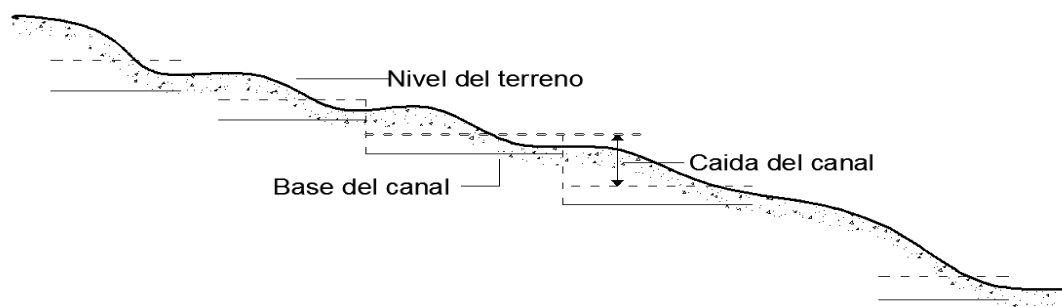
Figura 2.6-. Resalto Hidráulico Fuerte.

2.3. Caídas o gradas Hidráulicas

Las caídas son la estructura hidráulica más común utilizado en el riego, distribución de agua y redes de recolección de aguas residuales, y en los últimos años en aliviaderos escalonados. Cuando la pendiente de un canal es menor que la pendiente del terreno, una caída se puede utilizar para disminuir la elevación de la canal. Las caídas también disipan una parte significativa de la energía de flujo aguas arriba a través de la mezcla turbulenta en la piscina creada aguas abajo de la caída. El flujo aguas arriba de una caída puede ser subcrítico o supercrítico. Para el flujo subcrítico, el flujo pasa a través de una profundidad crítica en el canal justo aguas arriba de la caída y luego se desborda al borde de la caída. Para el flujo supercrítico, la profundidad de aguas arriba es menor que crítica y es una función del número de Froude y la descarga. Investigaciones anteriores sobre las caídas se han centrado principalmente en el flujo subcrítico.

Es frecuente en canales proyectar por diversas razones gradas o bruscas desnivelaciones de fondo. Éstas pueden ser, como es más frecuente, bajadas de nivel del fondo: “gradas de bajada” pero puede haber aumentos bruscos de cota de fondo: “gradas de subida”. Generalmente ambos tipos de gradas son utilizadas en secciones rectangulares

Se recomienda que la altura de este tipo de estructura tenga como altura mínima 1 metro de altura, que puede llegar a 4 o 6 metros.



Fuente: Estructuras Hidráulicas, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.7 -. Localización de canal con caídas.

La mayoría de las caídas hidráulicas tienen las siguientes características básicas:

- Sección de entrada
- Sección de caída
- Colchón amortiguador
- Sección de salida

El flujo a través de la caída se da de la siguiente manera.

- Se derrama sobre una cresta en una pared frontal vertical.
- Cae en un salpicadero horizontal (colchón amortiguador)
- Sale del colchón amortiguador para así terminar en el flujo aguas abajo.

La disipación de energía se produce a través:

- Salto hidráulico (en algunos casos)
- Turbulencia

- Colchón amortiguador

Los siguientes elementos de diseño fueron adaptados por Donnelly & Blaisdel (1965) y envuelve mayormente relaciones empíricamente-determinadas.

Estas estructuras dependen de dos factores para su localización:

- Topografía del canal
- Economía de la excavación o relleno del terreno

Los dos factores anteriormente señalados, permiten una mejor decisión acerca de la ubicación de esta estructura. Al entender la condición topográfica de terreno podemos seleccionar el tipo de caída requerida, a cual proporcionara buenos resultados. Al mismo tiempo, las caídas proporcionadas son más económicas y más útiles, por lo tanto el cálculo económico es también importante, cabe señalar que un desbalanceado movimiento de tierras aguas arriba y aguas abajo hacen que el proyecto para el desarrollo de esta estructura sea más antieconómico.

Estas estructuras pueden ser utilizadas para desarrollos hidroeléctricos, utilizando turbinas de tipo propulsión o bulbo. Se recomienda colocar un gran número de estas caídas ya sean de pequeño o de un tamaño medio, en especial donde las redes eléctricas existentes estén alejadas de las granjas. Tal red de micro instalaciones es en extremo muy útil para aguas subterráneas, la operación de equipo agrícola, las industrias en los pueblos, etc. Se debe considerar la relativa economía que implicaría colocar un gran número de caídas pequeñas con respecto a lo que implicaría un pequeño número de caídas grandes, esta segunda posibilidad puede que produzca un movimiento de tierras desbalanceado, pero por otro lado, puede ayudar a obtener ahorros en el costo global de toda la estructura de caídas.

Las caídas se caracterizan por lo general de estar previstas con un muro de cresta bajo, el cual permite subdividir a estas en distintos tipos como:

1. Caída vertical o caída libre
2. Caída inclinada o rápidas
3. Caída con conducto o entubadas
4. Caídas para granjas

2.3.1. Estructuras de caída vertical o caída libre

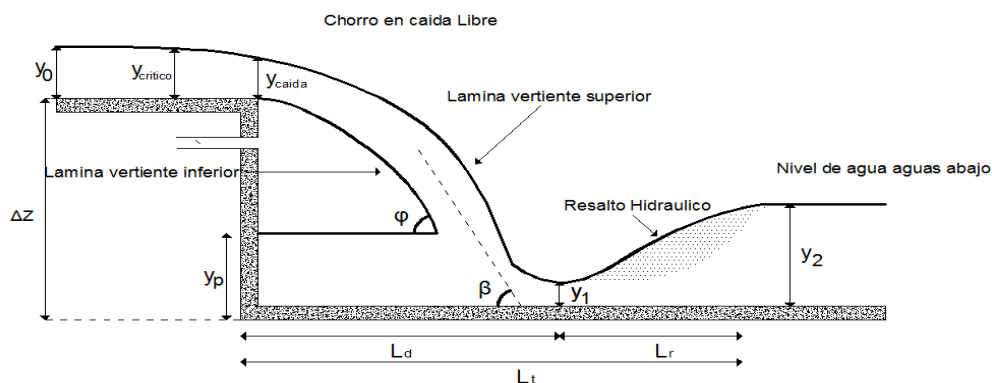
Dentro de las estructuras hidráulicas de caída libre o vertical podemos encontrar cuatro tipos:

- Caída vertical común
- Caída Modelo-Sarda (India)
- Caída Modelo-YMG T (Japón)
- Vertedero de Caída Rectangular con cresta elevada (Francia)

2.3.1.1. Caída Vertical Común

La caída vertical común como lo dice su nombre consta de una pared vertical la cual proporciona el desnivel entre el canal aguas arriba y aguas abajo, como ya se mencionó esta diferencia de altura permite salvar los desniveles del terreno y así poder tener un transporte eficaz de una altura superior a una inferior.

En la caída vertical común el flujo en caída golpea la zona del canal aguas abajo o la zona denominada como colchón amortiguador, y cuya circulación es turbulenta en la zona que se encuentra por debajo de la napa aireada contribuye con la disipación de energía que desarrolla esta estructura.



Fuente: Estructuras Hidráulicas, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.8 -.Esquema definido del flujo en caídas.

Teniendo como base la Fig 2.8 observamos las distintas partes de la caída vertical común las cuales son:

ΔZ = Altura de la caída

y_1 = Tirante normal del flujo aguas debajo de la caída luego del chorro

y_2 = Tirante del flujo aguas abajo de la caída

$y_{critico}$ = Tirante critico del flujo crítico

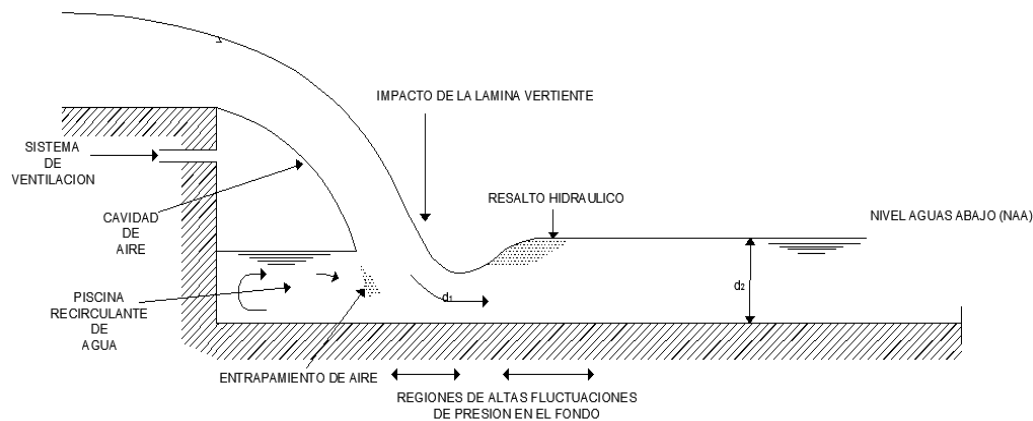
y_p = Tirante normal del flujo agua en la pared de la caída

L_d = Distancia de la pared de la caída al punto donde el chorro tiene contacto con el canal
aguas abajo (Longitud del chorro)

L_r = Longitud del resalto hidráulico

β = Angulo que forma el chorro de la lámina vertiente inferior con el flujo que se encuentra debajo de la cavidad de aire

En las estructuras de caída en este caso la caída vertical común se puede observar que se desarrollan las distintas características de flujo como las que se pueden observar en la Fig 2.9.

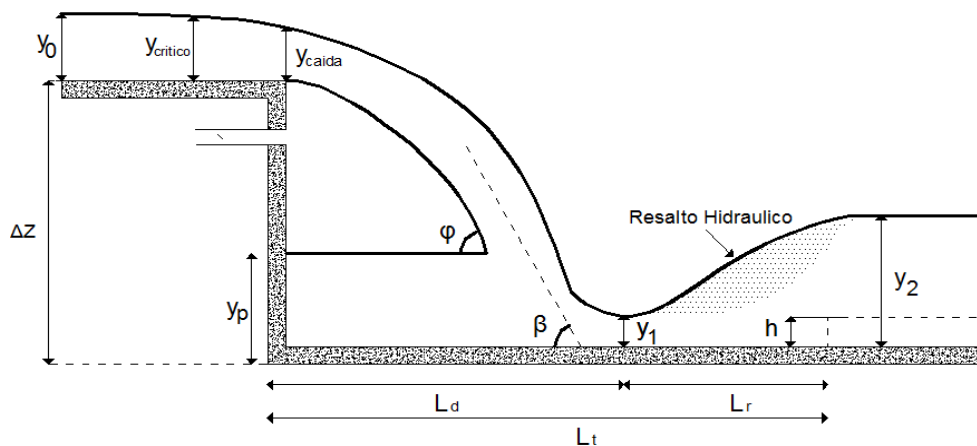


Fuente: *Hidráulica de flujo en canales abiertos*, 2da Edición, Chanson 2002

Figura 2.9 -.Características del flujo en una estructura de caída.

Se realizaron distintos estudios de gradas hidráulicas las cuales fueron proporcionadas por Merlein, Kleinschroth y Valentin (2002); Hager (1999), donde se incluye la estructura de tratamiento de aguas residuales y el sistema hidráulico.

2.3.1.1.1. Criterios de diseño para caídas verticales comunes



Fuente: *Estructuras Hidráulicas*, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.10-.Esquema de una estructura de caída común (Bos, M.G. 1976).

En la caída libre el flujo se acelera súbitamente. Si el flujo aguas arriba es subcrítico se espera que a profundidad crítica ocurra en la transición. Sin embargo, también se observa una rápida

redistribución de presiones en el borde de la caída libre y la profundidad crítica de flujo ($y_{critico} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$) se aprecia, en la práctica a una distancia de 3 a 4 veces y_c , aguas arriba del borde del escalón.

Desarrollos analíticos y resultados experimentales han demostrado que para un aliviadero horizontal (canal ancho), la profundidad de flujo en el borde es igual a:

$$y_{caida} \approx 0.7y_{critico} \quad (0.1)$$

Un valor estimativo más acertado de la profundidad en el borde es (Rouse 1936):

$$y_{caida} = 0.715y_{critico} \quad (0.2)$$

Teniendo como datos en este caso el caudal, la rugosidad del material y la pendiente del canal se utilizara la relación:

$$\frac{b}{y} = 2 * \sqrt{1 + z^2} - 2z$$

Para canales rectangulares la relación será:

$$\frac{b}{y} = 2$$

$$\mu = 0.5$$

$$b = \text{ancho de la caída}$$

La caída vertical se puede utilizar para medir la cantidad de agua que vierte sobre ella si se coloca un vertedero calibrado.

Moore 1943 estudió dos modelos físicos para las estructuras de caída teniendo cada una, una altura de 0.15 m. y 0.45 m. respectivamente. Su estudio fue muy útil para puntos de vista prácticos. El encontró que la pérdida de energía que se genera en la base de la caída es una función relativa de la relación $\Delta Z/y_{critico}$, y también noto que la altura de agua y_p detrás de la caída es mayor que la altura de agua delante del chorro. Usando el principio de momentum, él señaló que la altura de agua y_p puede ser definida como:

$$\left(\frac{y_p}{y_{critico}}\right)^2 = \left(\frac{y_1}{y_{critico}}\right)^2 + 2\left(\frac{y_{critico}}{y_1}\right) - 3 \quad (0.3)$$

White (1943) al comentar el estudio de Moore, desarrolló un método para poder predecir la cantidad de energía que se disipaba en la base de la caída. Donde señalo las siguientes suposiciones:

1. El flujo re circulante en la piscina en la parte baja de la caída es igual al del flujo de remanso.
2. La velocidad en la corriente supercrítica aguas debajo de la caída es la misma que la velocidad uniforme en la corriente más gruesa en la zona de la piscina.
3. El ángulo que forma el chorro con la zona de la piscina no se ve afectado por la presencia de esta.
4. La pérdida de energía en la caída se debe a la zona de mezcla en la piscina.
5. El efecto de la piscina en el cálculo de la velocidad del chorro fue descuidado.

Estas suposiciones fueron cuestionadas por muchos investigadores incluyendo Moore, pero en particular se cuestionó que la velocidad no es uniforme en la zona más gruesa de la corriente, y que la piscina afectaría el flujo. White (1943) encontró que:

$$\frac{E_1}{y_{critico}} = \frac{\sqrt{2}}{1.06 + \sqrt{\frac{\Delta Z}{y_{critico}} + 1.5}} + \frac{(1.06 + \sqrt{\frac{\Delta Z}{y_{critico}} + 1.5})^2}{4} \quad (0.4)$$

Rand (1955), encontró que la geometría del flujo de agua en un salto vertical, puede calcularse con un error inferior al 5% por medio de las siguientes funciones: que aporta el impulso horizontal necesario para que el chorro de agua marche hacia abajo.

$$L_t = L_d + L_r \quad (0.5)$$

$$\frac{L_d}{\Delta Z} = 4.30 * \left(\frac{y_{crit}}{\Delta Z} \right)^{0.81} \quad (0.6)$$

$$\frac{y_p}{\Delta Z} = 1.00 * \left(\frac{y_{crit}}{\Delta Z} \right)^{0.66} \quad (0.7)$$

$$\frac{y_1}{\Delta Z} = 0.54 * \left(\frac{y_{crit}}{\Delta Z} \right)^{1.2756} \quad (0.8)$$

$$\frac{y_2}{\Delta Z} = 1.66 * \left(\frac{y_{crit}}{\Delta Z} \right)^{0.81} \quad (0.9)$$

$$y_{caida} = 0.715 * y_{critico} \quad (0.10)$$

Dónde:

$$y_{crit} = \sqrt[3]{\frac{q_{UNIT}^2}{g}} \quad (0.11)$$

$$\cos \beta = \frac{1.06}{\sqrt{\frac{\Delta Z}{y_{crit}} + 1}} \quad (0.12)$$

Gill .M.A(1979), modificó las suposiciones de White (1943) y planteó lo siguiente:

1. Se produce una velocidad uniforme en la zona más delgada debajo de la altura y_p .
2. La velocidad no es constante en la zona donde golpea el chorro.
3. La piscina formada por debajo de la zona aireada causa un efecto en la velocidad que se puede expresar como:

$$V_{yp} = \sqrt{2g(\Delta Z + 1.5y_{critico} - y_p)} \quad (0.13)$$

4. El efecto que la piscina causa en la pérdida de energía se desprecia.

Las relaciones propuestas por Gill son:

$$\frac{y_1}{\Delta Z} = 0.524 \frac{y_{critico}}{\Delta Z} \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.0053 \right)^{0.283} \quad (0.14)$$

$$\frac{y_p}{\Delta Z} = 1.067 \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.0016 \right)^{0.697} \quad (0.15)$$

$$\cos \beta = 0.968 \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.0058 \right)^{0.305} \quad (0.16)$$

Chanson (1994) en lugar de usar el principio de Momentum, utilizó las ecuaciones de la trayectoria en la línea central de la napa del flujo, donde aportó las siguientes expresiones

$$\frac{y_p}{\Delta Z} = 0.998 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{0.675} \quad (0.17)$$

$$\frac{y_1}{\Delta Z} = 0.625 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{1.326} \quad (0.18)$$

$$\frac{L_d}{\Delta Z} = 2.171 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{0.525} \quad (0.19)$$

$$\tan\beta = 0.855 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{-0.582} \quad (0.20)$$

Rajaratnam & Chamani (1995) examinaron experimentalmente la pérdida de energía producida en la base de la estructura de caída vertical, y propusieron las siguientes relaciones:

$$\Delta E = E_{critico} - E_1 \quad (0.21)$$

$$E_{critico} = \Delta Z + 1.5y_{critico} \quad (0.22)$$

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (0.23)$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta Z} = 0.896 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{-0.766} \quad (0.24)$$

$$\frac{y_p}{\Delta Z} = 1.107 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{0.719} \quad (0.25)$$

Basado en los datos obtenidos por Moore (1943), Rand (1955) y Rajaratnam y Chamani (1995)

Moghaddam produjo la siguiente relación:

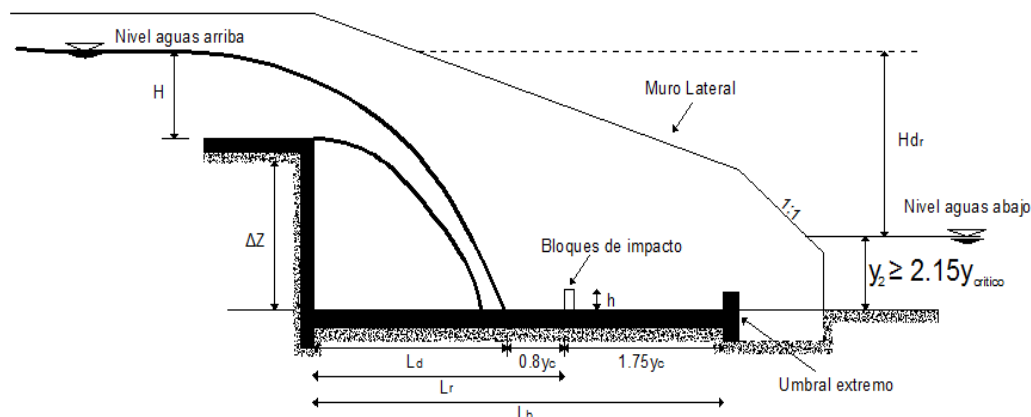
$$\frac{y_p}{\Delta Z} = 1.026 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.03 \right)^{0.598} \quad (0.26)$$

$$\frac{y_1}{\Delta Z} = 0.505 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{1.222} \quad (0.27)$$

$$\frac{\Delta E}{E_c} = 0.077 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{-0.813} \quad (0.28)$$

$$\cos \beta = 0.99 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{0.466} \quad (0.29)$$

El tanque del tipo bloque de impacto de la USBR (Kraatz y Mahhajan, 1975) permite proporcionar una buena disipación de energía, y es apropiado si el nivel del agua aguas debajo de la caída es mayor que la profundidad y_2 . Las siguientes son las dimensiones que se sugieran para el diseño de dicha estructura:



Fuente: Estructuras Hidráulicas ,2da Edición, Novak 2001

Figura 2.11 -.Esquema del tanque de tipo bloque de impacto USBR (Bos, M.G. 1976).

Donde la longitud del colchón amortiguado:

$$L_b = L_d + 2.55 y_{critico} \quad (0.30)$$

La ubicación del bloque de impacto será:

$$L_r = L_d + 0.8 y_{critico} \quad (0.31)$$

La longitud mínima del flujo aguas abajo que se recomienda es:

$$y_2 \geq 2.15 y_{critico} \quad (0.32)$$

La altura del bloque de impacto:

$$h = 0.8 y_{critico} \quad (0.33)$$

El espaciamiento entre los bloques:

$$e = 0.4 y_{critico} \quad (0.34)$$

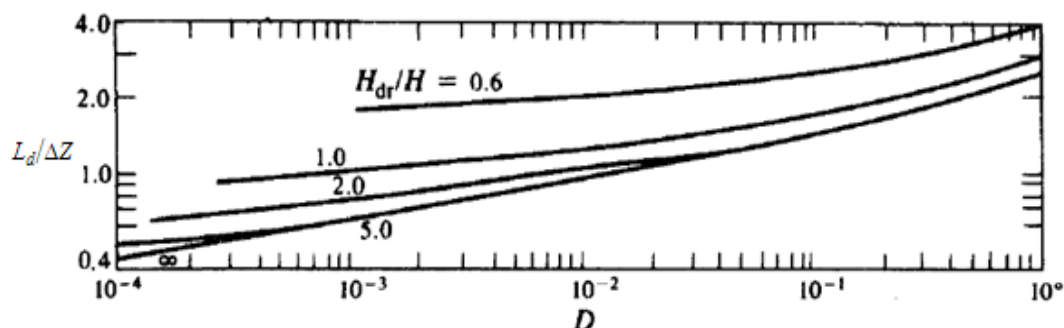
La altura del umbral extremo debe ser:

$$h_u = 0.4 y_{critico} \quad (0.35)$$

La altura mínima de la pared lateral:

$$H = y_2 + 0.85 y_{critico} \quad (0.36)$$

Los valores de L_d se pueden obtener con la ayuda del ábaco:



Fuente: Estructuras Hidráulicas, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.12 -.Valores de $L_d/\Delta Z$ en función al número de caída D (Bos, M.G. 1976).

2.3.1.1.2. Criterios de diseño para la tubería de ventilación en caídas verticales comunes

Para el cálculo del caudal de ingreso de aire usaremos:

$$q(\text{aire}) = 0.1 \left[\frac{q}{\left(\frac{y_p}{y_{\text{caída}}} \right)^{1.5}} \right] \quad (0.37)$$

Dónde:

$$q_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{diseño}}}{b} \text{ m}^3/\text{m} - s$$

Para el cálculo del Caudal de aire de diseño:

$$Q_{\text{aire}} = q_{\text{aire}} * b \quad (0.38)$$

$$Q_{\text{aire}} = V * \frac{\pi D^2}{4}$$

$$V = \frac{Q_{aire} * 4}{\pi D^2} \quad (0.39)$$

Luego para encontrar el valor de la tubería requerida para dar el caudal de aire puede determinarse usando la ecuación de energía de Bernoulli con pérdidas menores de fricción.

En la práctica este flujo de aire a través del tubo de ventilación se facilita al permitir una pequeña succión en la bolsa debajo del perfil del chorro. Entonces:

$$\frac{P_1}{\gamma_{aire}} = \frac{P_2}{\gamma_{agua}} + \Sigma \frac{KV^2}{2g} + \frac{fLV^2}{D2g}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho_a g} = [K_{ent} + K_b + K_{sal}] \frac{V^2}{2g} + fL \frac{V^2}{D2g} \quad (0.40)$$

- Dónde:

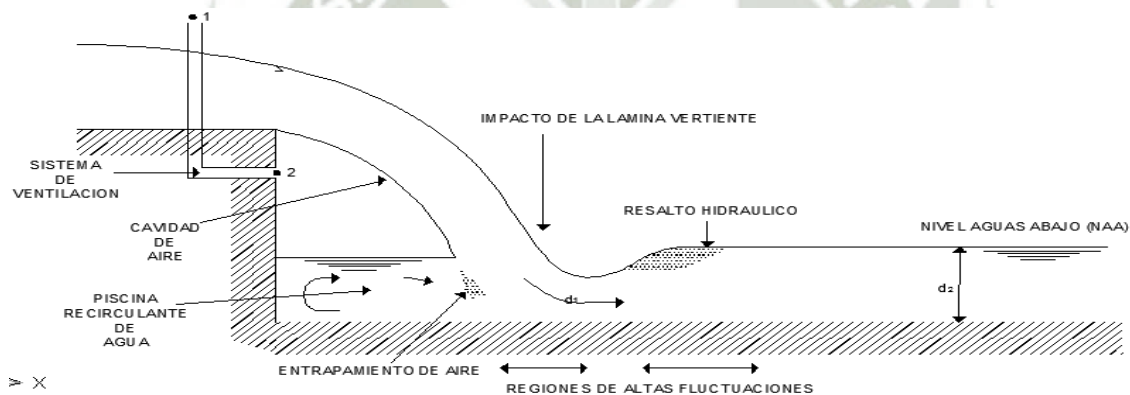
$$\frac{P_1}{\gamma_{aire}} = 0$$

$$\frac{P_2}{\gamma_{agua}} = 0.04 \text{ m col agua}$$

- $L = \text{Longitud de la tubería}$
- $D = \text{Diametro del tubo}$

- K_{ent} = coeficiente de fricción de pérdida de entrada = 1 (valor recomendado)
- K_b = coeficiente de fricción por pérdida por codo = 1.1 (valor recomendado)
- K_{sal} = coeficiente de fricción por pérdida por sali = 1 (valor recomendado)
- f = factor de fricción de Darcy Weisbach = 0.02 (valor recomendado)

Con este conjunto de ecuaciones se puede encontrar el valor del diámetro de la tubería a colocar en la zona de la cavidad de aire de la caída vertical.



Fuente: Hidráulica de flujo en canales abiertos, 2da Edición .Chanson 2002

Figura 2.13-. Vista de perfil de la Caída Vertical con la tubería de succión en la pared vertical.

2.3.1.2. Caída Vertical Tipo Sarda (India)

La caída tipo sarda es una estructura compuesta por una cresta elevada con un impacto vertical, esta estructura consta también de una pared de creta muros de defensa aguas arriba y aguas abajo,

un piso que es impermeable, una cisterna y de protección en la zona de las orillas y del lecho aguas abajo.

Se recomienda que el diseño de la cresta sea de la siguiente manera: La longitud de la cresta debe mantenerse igual al ancho del lecho del canal; sin embargo al aumentar su longitud en una cantidad igual a la profundidad del flujo es responsable de un incremento futuro en el caudal.

Se debe fijar el nivel de para no generar cambios en los niveles de agua aguas arriba. Si el nivel de referencia (NR) del nivel del suministro total (NST) es el tirante “ y ”, y el NR de la línea de energía total (LET) es:

$$E = y + \frac{V_a^2}{2g} \quad (0.41)$$

Donde el valor de V_a será la velocidad de aproximación en la zona de referencia.

Se sabe también que el valor de “ L_e ” es la longitud efectiva de la cresta, esta produce que el flujo este dado por la fórmula del vertedero:

$$H = \left(\frac{Q}{L_e C_d} \right)^{2/3} \quad (0.42)$$

Donde “ Q ” es el caudal, el valor de “ C_d ” es el coeficiente de descarga de la cresta y el valor de “ H ” vendría a ser la altura de agua por encima de la cresta.

Para este tipo de estructura se utilizan dos tipos de cresta una rectangular usada para caudales de hasta $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y trapezoidal para caudales mayores al anteriormente señalado. A continuación se mostrara los criterios de diseño establecidos por el Irrigation Research Institute en la India.

1. Para la estructura con cresta rectangular :

- El ancho de la cresta superior debe ser (valor dado en metros) :

$$B = 0.55d^{1/2} \quad (0.43)$$

- El ancho de la cresta inferior debe ser (valor dado en metros) :

$$B_1 = \frac{(H + D)}{S_s} \quad (0.44)$$

Donde “ S_s ” viene a ser la densidad relativa del material de la cresta (se recomienda que el valor de esta variable para mampostería debe ser ≈ 2 , en este caso el caudal está dado por:

$$Q = 1.835LH^{3/2} \left(\frac{H}{B}\right)^{1/6} \quad (0.45)$$

- La longitud de la zona de almacenamiento o cisterna debe ser:

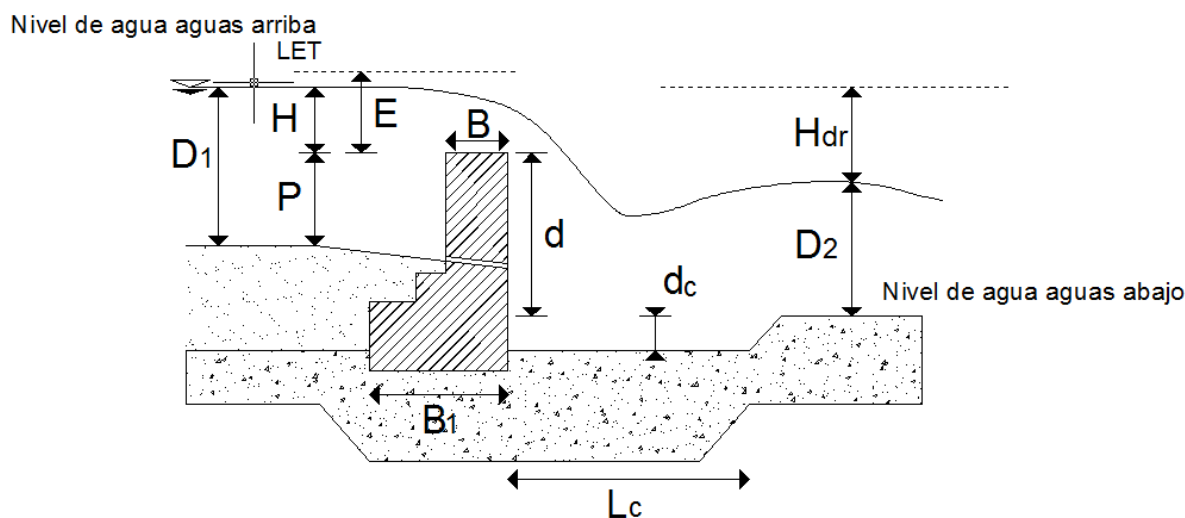
$$L_c = 5(EH_{dr})^{1/2} \quad (0.46)$$

- El valor de la profundidad debe ser:

$$d_c = \frac{1}{4}(EH_{dr})^{2/3} \quad (0.47)$$

- La longitud mínima del piso impermeable de la estructura debe ser :

$$L_{bd} = 2(D_1 + 1.20) + H_{dr} \quad (0.48)$$



Fuente: *Estructuras Hidráulicas*, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.14.-Cresta rectangular Caída de Tipo Sarda.

2.3.1.3. Caída vertical Tipo YMG T (Japón)

Este tipo de caída se utiliza de ordinario en secciones canalizadas apropiadas para canales pequeños, canales de riego, etc., con caudales hasta de $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A continuación se podrán observar los criterios de diseño que se recomiendan para dicho tipo de estructura:

1. La altura del umbral P puede variar de entre 0.06 m. a 0.14 m. con un caudal unitario de entre 0.2 a $1.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.
2. Se recomienda que la profundidad del cisterna debe ser:

$$d_c = \frac{1}{2} (E_c H_{dr})^{1/2} \quad (0.49)$$

3. La longitud del cisterna será:

$$L_c = 2.5 L_d \quad (0.50)$$

Dónde:

$$L_d = L_{d1} + L_{d2} \quad (0.51)$$

$$\frac{L_{d1}}{E_c} = 1.155 \left[\left(\frac{P'}{E_c} \right) + 0.33 \right]^{1/2} \quad (0.52)$$

$$L_{d2} = (D_2 + d_c) \cot \alpha \quad (0.53)$$

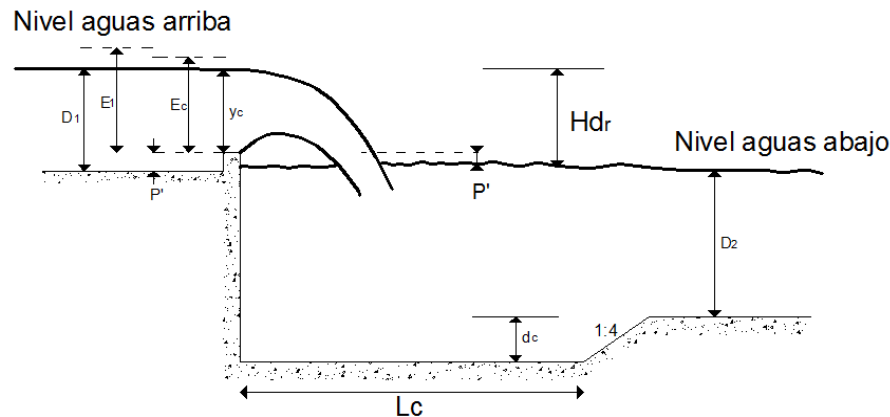
$$\cot \alpha = \frac{y_c}{L_{d1}} \quad (0.54)$$

4. Cabe señalar que los valores de “ E_c ” y “ y_c ” son:

$$y_c = \left(\frac{q^2_{unit}}{g} \right)^{1/3}$$

$$E_c = 1.5y_c \quad (0.55)$$

5. Alternativamente a las recomendaciones señaladas para este tipo de estructura ,también se pueden adoptar las recomendaciones de la estructura previamente señalada



Fuente: Estructuras Hidráulicas ,2da Edición, Novak 2001

Figura 2.15-. Esquema de Caída de Tipo YMG T Japon (Kraatz y Mahhajan,1975).

2.3.1.4. Caída vertedero rectangular de Cresta Delgada (Francia)

Se desarrollaron unas estructuras simples por (Kraatz y Mahajan, 1975) las cuales eran apropiadas para caídas verticales de hasta de 7m (para anchos de lechos de canales de 0.2 a 1 m.) con profundidades (al nivel del suministro total, NST) DE 0.1 a 0.7 m. A continuación se mostraran los criterios de diseño señalados:

1. Para el diseño de la cresta:

El valor del caudal será:

$$Q = CL(2g)^{1/2}H^{3/2} \quad (0.56)$$

Donde el valor del coeficiente “C” será igual a 0.36 para el paramento vertical aguas arriba de la pared de la cresta, y 0.40 para el paramento redondeado aguas arriba. La longitud de la cresta

tomara el valor de “ B_1 ” para canales rectangulares y $L = L_b - 0.10$ metros, para canales trapezoidales.

2. Para el diseño de zona de almacenamiento o cisterna:

El valor del volumen del tanque será:

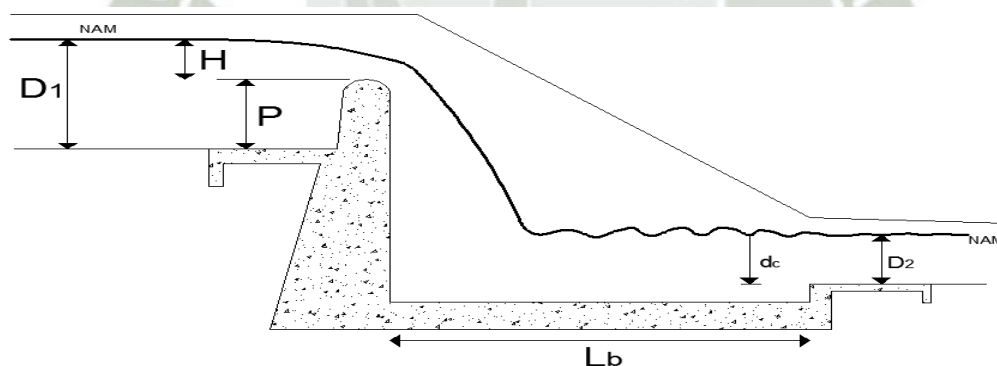
$$V = \frac{QH_{dr}}{150} \text{ m}^3 \quad (0.57)$$

El valor del volumen del tanque será:

$$W_B = \frac{V}{L_B(D_2 + d_c)} \quad (0.58)$$

Donde la profundidad del tanque:

$$d_c \approx 0.1 - 0.3 \text{ m.}$$



Fuente: Estructuras Hidráulicas, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.16 -. Esquema de Caída de vertedero rectangular con cresta elevada, Francia (Kraatz y Mahajan, 1975).

2.3.2. Impacto de caídas Verticales

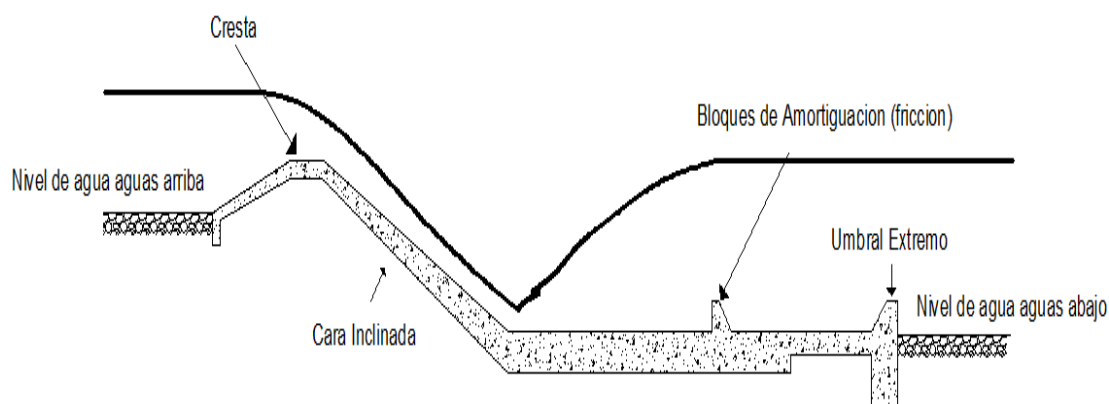
En el impacto de caída se forma un flujo recirculante de agua por detrás del chorro que cae. Ésta masa de agua es importante debido a que provee una fuerza de presión paralela al fondo, la cual se requiere para cambiar la dirección del momentum del chorro formando un ángulo con respecto al fondo a una dirección paralela con relación al fondo horizontal.

Si el nivel aguas abajo corresponde a un flujo subcrítico, ocurre un resalto hidráulico inmediatamente aguas abajo del impacto de la lámina vertiente.

2.3.3. Caídas inclinadas o rápidas

2.3.3.1. Rápidas

Estas estructuras se caracterizan por tener una cara inclinada con dirección hacia aguas abajo, compuestas también por un tanque de amortiguación que se encuentra en la continuación aguas debajo de la cara inclinada.



Fuente: Estructuras Hidráulicas ,2da Edición, Novak 2001

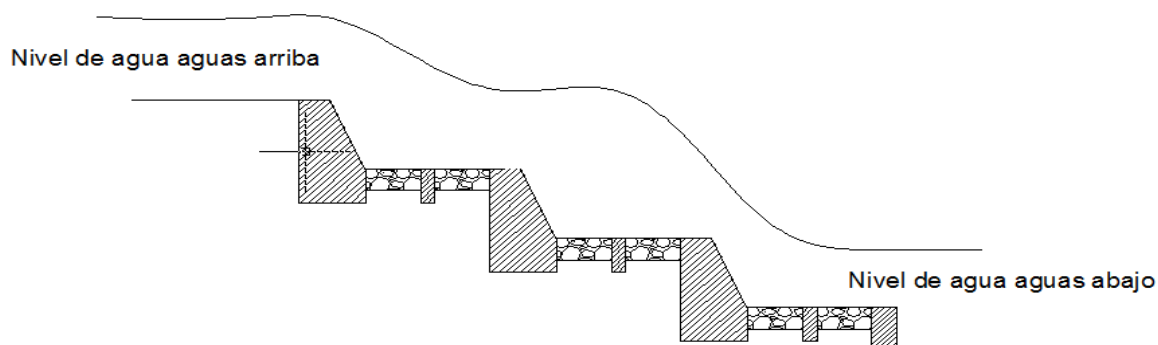
Figura 2.27-. Caída inclinada con tanque de amortiguación USBR Tipo III.

2.3.3.2. *Caída Inclinada India*

Es un tipo de caída económica en áreas donde sea fácil disponer de material rocoso, este tipo de caída es utilizada para caudales pequeños de hasta $0.75 \text{ m}^3/\text{seg.}$ con caídas de hasta una altura de 1.5 m. Esta estructura consta de una cara inclinada o glacis inclinado que es largo de entre una relación de 1:10 y 1:20, este glacis inclinado permite la formación del resalto hidráulico; la pendiente moderada hace posible la navegación de pequeñas embarcaciones.

2.3.3.3. *Caída tipo escalonada o cascada*

Es una estructura que está compuesta por pisos recubiertos con piedras entre una serie de bloques de vertedero que actúan como presas de detención y se utilizan en canales de pequeños caudales.



Fuente: Estructuras Hidráulicas, 2da Edición, Novak 2001

Figura 2.38-. Caída tipo escalonada o cascada

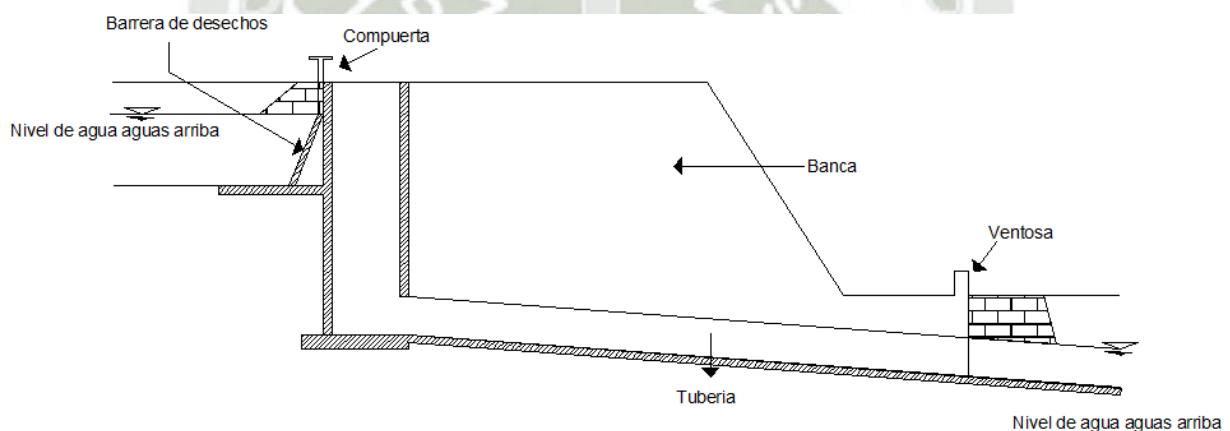
2.3.4. *Caídas en conducto o entubadas*

Son estructuras más económicas que las caídas inclinadas y se utilizan para caudales pequeños de hasta 50 l/seg. En general estas están compuestas por una compuerta de detención que se

encuentra aguas arriba, a la cual se le instala una rejilla la cual evite el paso de desechos para prevenir las obstrucciones en la entrada. Para esta estructura tenemos dos tipos:

2.3.4.1. *Estructura de caída tipo pozo*

Es una estructura que consiste en un pozo rectangular y una tubería seguida por un delantal aguas abajo. El pozo permite gran parte de la disipación de la energía, este tipo de caída es apropiada para caudales bajos de hasta 50 $l/seg.$ y caídas gradas de entre 2 a 3 metros de altura, y también se utiliza en la fuga de canales pequeños.



Fuente: Estructuras Hidráulicas ,2da Edición, Novak 2001

Figura 2.4.-Estructura de Caída tipo pozo.

2.3.4.2. *Caída tubificada*

Son estructuras económicas que son utilizadas en canales pequeños, estas consisten de una tubería (fundida en concreto) que algunas veces puede estar muy inclinada hacia aguas abajo para hacer frente a caídas grandes. Es necesario colocar un dissipador de energía apropiado aguas debajo de la tubería.

2.3.4.3. *Caída para irrigaciones*

Son estructuras similares a las utilizadas en los canales de distribución, se diferencian únicamente en que son más pequeñas y su construcción es más simple.

Esta constan de una abertura trapezoidal en una pared con cresta a través del canal, que contiene también aparatos que son apropiados para la disipación de la energía aguas debajo de la caída, también esta estructura es usada para para la medición de caudales.

2.4. Análisis dimensional y semejanza

2.4.1. Introducción

Todo modelo físico es una ejemplificación a escala del caso que va ser estudiado, en este caso el flujo hidráulico, para esto todas las variables que forman parte de este flujo junto con las condiciones de contorno deben ser escalados de una manera adecuada

Los modelos a ser estudiados, son empleados en la etapa de diseño de estructuras hidráulicas, para así de esta manera observar la operatividad de la estructura a realizar y asegurarse que esta funcione de manera óptima, en otros casos estos modelos físicos sirven para realizar el análisis y estudio de funcionamiento de algunos patrones de flujo que son muy complejos. Debido a su complejidad estos modelos físicos son la única manera para el análisis de este tipo de estructuras.

En el caso de la ingeniería Hidráulica los modelos estudiados resultan ser inferiores a la estructura en cuestión, sin embargo, existen algunos otros casos de modelación de estructuras donde su modelación puede ser mayor la del prototipo.

2.4.2. Análisis dimensional

El análisis dimensional consiste en determinar la relación de dependencia que existe entre una variable y una serie de parámetros que gobiernan en la estructura en cuestión, sin conocer la solución analítica del problema a ser analizado.

Con este análisis podemos identificar un grupo de variables y en función a la experimentación realizada se pueden determinar las relaciones que existen entre ellas. También el análisis dimensional permite comprender los mecanismos que forman parte del flujo.

2.4.2.1. *Magnitudes fundamentales y derivadas*

Para la elaboración del análisis dimensional es necesario antes definir un sistema de magnitudes o unidades fundamentales, las cuales ayuden a describir todos los parámetros que forman parte de un problema hidráulico. Al referirse sobre sistema de magnitudes fundamentales se habla del conjunto de magnitudes que son parte del espacio, formado por magnitudes independientes llamadas fundamentales. Cualquier otra magnitud se considera como magnitud derivada, y ninguna de las magnitudes fundamentales puede expresarse en función al resto.

En el caso de los fluidos trataremos con algunas magnitudes como longitud (L), el tiempo (T) y la masa (M) que forman parte de las fundamentales. En la hidráulica también nos podemos encontrar con variables dinámicas cinéticas y geométricas, a continuación se definirán los tres casos encontrados:

- Geométrico: longitud (L). Un ejemplo de magnitud derivada es el área " L^2 " y el volumen (L^3) %o

- Cinemático: longitud (L) y tiempo (T). Un ejemplo de magnitud derivada podría ser la velocidad (L/T). ‰
- Dinámico: longitud (L), tiempo (T) y masa (M). Un ejemplo de magnitud derivada es la fuerza (MLT^{-2}).

2.4.3. Tipos similitud

Todas las magnitudes físicas presentadas en la estructura a analizar, serán reproducidas en el modelo a través de la relación de escala. En caso esta sea una magnitud derivada, se puede expresar en función de las magnitudes fundamentales. A continuación se definirán los conceptos de los distintos tipos de similitudes.

2.4.3.1. Similitud geométrica

Este tipo de similitud es dependiente de la clase de movimiento y únicamente contempla a similitud de la forma. Los sistemas geoméricamente similares se caracterizan en qué relación de cualquier longitud con respecto a la longitud correspondiente del prototipo, es en todas partes igual. Esta relación es conocida como factor de escala y se expresa de la siguiente manera:

$$L_r = \frac{L_M}{L_P}$$

Donde L_M y L_P viene a ser la longitud del modelo y la longitud del prototipo, estas viene a tener dimensiones lineales, L_r es el factor de escala. Entonces:

$$A_r = L_r^2 = \left(\frac{L_M}{L_P}\right)^2 \quad (0.59)$$

$$V_r = L_r^3 = \left(\frac{L_M}{L_P}\right)^3 \quad (0.60)$$

Donde A_r es la relación de áreas y V_r la relación de volúmenes.

Este tipo de similitud es el requisito más indispensable en el desarrollo de un sistema modelo para corresponder con un sistema prototipo dado. Pero esta similitud no es fácil de obtener. Únicamente no debería ser la forma del modelo geoméricamente similar, sino que también las rugosidades de la superficie deberían ser geoméricamente similares

Esta similitud como ya se mencionó se extiende a las irregularidades, en este caso la rugosidad superficial de las paredes o la base por donde pasara el flujo, por lo tanto si el modelos posee un tamaño similar a una relación de $1/10$, las distintas alturas de las proyecciones deben estar en la misma escala.

Esta situación es muy difícil de ser replica en la práctica por lo que en algunos casos es necesario crear distorsiones geométricas en la dimensión longitudinal de la conducción, con respecto a las otras dos presentes dimensiones, así de esta manera lograr la misma relación en las distintas variables en ambas estructuras la de modelo y la del prototipo.

Según el problema que ahonda la investigación el grado para buscar la similitud geométrica debe ser los más preciso para obtener una solución más exacta

2.4.3.2. *Similitud cinemática*

Este tipo de similitud abarca la similitud de movimiento. Por lo tanto las similitudes de longitud que viene a ser una similitud geométrica, y la similitud de intervalos de tiempo se encuentran presentes en este caso. Las longitudes correspondientes se encuentran en una relación fija de longitudes y las velocidades de las partículas deber estar en relación fija con los intervalos de tiempo correspondientes. Entonces de la siguiente manera se expresa esta relación:

$$v_r = \frac{L_r}{T_r}$$

Donde " L_r " es la relación de longitudes y " T_r " la relación de intervalos de tiempo.

Cuando se presenta que los movimientos del fluido son similares, las formas o patrones formados por las líneas de corriente vienen a ser geoméricamente similares en el intervalo de tiempos correspondientes, esto debido a que los límites consisten de líneas de corriente los flujos cinéticamente similares solo son posibles a través de limites geoméricamente similares. Esta condición no es suficiente para garantizar la similitud geométrica.

2.4.3.3. *Similitud dinámica*

La similitud dinámica entre sistemas geoméricamente y cinéticamente similares requiere la presencia de todas las fuerzas, incluido las de inercia en los dos sistemas.

Basándonos en la segunda ley de Newton, esta podemos escribirla de la siguiente manera:

$$\sum F = m \cdot a$$

$$m \cdot a = F_p + F_g + F_v + F_t + F_e \quad (0.61)$$

Donde " F_p " es la fuerza de presión, " F_g " la fuerza de gravedad, " F_t " la fuerza producida por la tensión superficial, " F_v " la fuerza debido al corte, y, " F_e " la fuerza producida por la compresión elástica del fluido.

$$\frac{m_M \cdot a_M}{m_P \cdot a_P} = \frac{(F_p + F_g + F_v + F_t + F_e)_M}{(F_p + F_g + F_v + F_t + F_e)_P} \quad (0.62)$$

Es necesario evaluar cuales fuerza actúan con fuerza mínima o con fuerza predominante, en la practica el movimiento de un fluido puede ser reproducido buscando en el modelo de la similitud de solo una de las fuerzas de la ecuación antes mencionada.

Generalmente los problemas en obras hidráulicas se basan en el flujo libre ya que estos son dominados por las fuerzas de gravedad. Para este caso la ley de semejanza es llamada semejanza de Froude, la cual garantiza que esta fuerza en su proporción sea reproducida correctamente en el modelo.

2.4.3.4. *Teorema Buckingham-pi*

Se le conoce como el método de repetición de variables, este teorema consiste en generar parámetros adimensionales, para así de esta manera entender de una manera más sencilla como se desarrollan los fenómenos en un flujo.

Para cuando el número de variables son 4 o más, este teorema puede utilizarse, de manera que se puede agrupar las distintas magnitudes en un número de grupos adimensionales significativos, en función a estos grupos “ π ” se puede establecer una ecuación,

En un fenómeno físico pueden intervenir “ m ” variables, las cuales serán definidas de la forma $A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_n$, donde cada una de estas variables definidas son dependientes de un número “ n ” de magnitudes fundamentales que estarán definidas por la forma $B_1, B_2, B_3, B_4, \dots, B_n$.

Utilizando una función que nos permita relacionar las “ m ” variables” A_i , la función homogénea.

$$f(A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_n) = 0 \quad (0.63)$$

Donde “ r ” vendría a ser el rango de la matriz de exponentes de A_i , podemos expresar como otra función homogénea.

$$f(\Pi) = f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_{m-n}) = 0 \quad (0.64)$$

Donde Π es el valor adimensional y se define como el producto de la forma:

$$\Pi = A_1^{x_{1i}}, A_2^{x_{2i}}, A_3^{x_{3i}}, \dots, A_m^{x_{mi}} \quad (0.65)$$

Por lo que la ecuación dimensional de Π_i será:

$$[\Pi] = [A_1^{x_{1i}}, A_2^{x_{2i}}, A_3^{x_{3i}}, \dots \dots A_m^{x_{mi}}] \quad (0.66)$$

Reemplazando las ecuaciones dimensionales de cada variable A_i , que es función de $B_1, B_2, B_3, B_4, \dots B_n$ tenemos que:

$$[\Pi_i] = [B_1^{y_{11}}, B_2^{y_{21}}, B_3^{y_{31}}, \dots \dots B_n^{y_{ni}}]^{x_{1i}} \dots \dots [B_1^{y_{1m}}, B_2^{y_{2m}}, B_3^{y_{3m}}, \dots \dots B_n^{y_{nm}}]^{x_{mi}}$$

La condición principal es que para que Π_i sea dimensional, los exponentes de cada “B” sean iguales a cero, por lo que:

$$B_1: y_{11}x_{1i} + \dots \dots + y_{1m}x_{mi} = 0$$

$$B_2: y_{21}x_{1i} + \dots \dots + y_{2m}x_{mi} = 0$$

$$B_3: y_{31}x_{1i} + \dots \dots + y_{3m}x_{mi} = 0$$

$$B_n: y_{n1}x_{1i} + \dots \dots + y_{nm}x_{mi} = 0$$

En caso el valor de “m” sea menor que el de “n”, este sistema estará determinado o compatible, en caso contrario será indeterminado o incompatible, siendo el grado de compatibilidad “m-n”.

2.4.3.5. *Semejanza de Froude*

Esta semejanza se presenta cuando existen problemas con la lámina libre, debido a que las fuerzas de gravedad predominan, como ejemplos claros de esta situación puede tenerse los problemas de oleaje en vertederos, canales, desagües, etc.

Suponiendo que utilizamos λ para expresar la relación geométrica existente entre las dimensiones del modelo y del prototipo tenemos:

$$\lambda = \frac{L_P}{L_M} \quad (0.67)$$

El valor de λ constituye la relación de escala entre los dos casos, utilizando una semejanza de Froude:

$$F_r^2 = \frac{v^2}{gL} \quad (0.68)$$

El monomio adimensional permanece constante entre el prototipo y el modelo, esto indica que:

$$F_r^2 = \frac{v^2}{gL} = \frac{v_P^2}{g_M L_M} = cte$$

$$\frac{v_L^2}{v_M^2} = \frac{g_L L_L}{g_M L_M} \quad (0.69)$$

Las condiciones de gravedad entre el prototipo y el modelo no se podrán variar con facilidad, por lo tanto:

$$\frac{g_P}{g_M} = 1$$

$$\frac{v_P^2}{v_M^2} = \frac{L_P}{L_M} = \frac{L_P}{\frac{L_L}{\lambda}} = \lambda$$

Entonces:

$$\frac{v_P}{v_M} = \sqrt{\lambda}$$

Conociendo la velocidad y la longitud, el tiempo vendría a ser una magnitud derivada, por lo tanto:

$$t_P = \frac{L_P}{v_P}$$

$$\frac{t_P}{t_M} = \frac{\frac{L_P}{v_P}}{\frac{L_M}{v_M}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda}$$

Para el caudal que viene a ser una derivada del volumen con el tiempo tenemos:

$$Q_P = \frac{L_P^3}{t_P}$$

$$\frac{Q_P}{Q_M} = \frac{\left(\frac{L_P}{L_M}\right)^3}{\frac{t_P}{t_M}} = \frac{\lambda^3}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda^5}$$

Faltaría expresar la unidad de masa “M”, la cual la obtenemos a través de la densidad y el volumen:

$$\frac{M_P}{M_M} = \frac{\rho_P * L_P^3}{\rho_M * L_M^3} = \frac{\rho_P}{\rho_M} \lambda^3$$

Siendo ρ_P y ρ_M las densidades en el prototipo y modelo respectivamente, en caso que el fluido sea el mismo se tendría la relación de escalas para la masa dada por:

$$\frac{M_P}{M_M} = \lambda^3$$

2.4.3.6. *Similitud de Reynolds*

La viscosidad siempre se encuentra presente en los problemas hidráulicos, pero a importancia de esta disminuye a medida de que el contorno tiene menos importancias, esto sucede en el caso de grandes masas de agua, o cuando se tiene un valor de número de Reynolds muy elevado, lo que es habitual en regímenes turbulentos. Es para este caso donde el valor de vD es muy grande frente a la viscosidad, y su variación no generaría problemas en el estudio.

Si en el prototipo estamos a un régimen turbulento y en el modelo se generaría un régimen laminar, los errores cometidos serían muy elevados invalidando la semejanza adoptada.

Utilizaremos el valor de λ para expresar la relación de escala geométrica del prototipo y la escala geométrica del modelo. Con la semejanza de Reynolds el valor adimensional está dado por:

$$Re = \frac{vD}{\mu} = cte$$

$$\frac{v_L}{v_M} = \frac{D_L \mu_L}{D_M \mu_M}$$

Si el prototipo y el modelo es el mismo:

$$\frac{v_L}{v_M} = 1$$

$$\frac{v_L}{v_M} = \frac{D_P}{D_M} = \frac{1}{\lambda}$$

Al igual que el caso anterior, el tiempo es una magnitud derivada por tanto:

$$\frac{t_P}{t_M} = \frac{\frac{L_P}{v_P}}{\frac{L_M}{v_M}} = \frac{\lambda}{\frac{1}{\lambda}} = \lambda^2$$

Para el caudal que viene a ser una derivada del volumen con el tiempo tenemos:

$$Q_P = \frac{L_P^3}{t_P}$$

$$\frac{Q_P}{Q_M} = \frac{\left(\frac{L_P}{L_M}\right)^3}{\frac{t_P}{t_M}} = \frac{\lambda^3}{\lambda^2} = \lambda$$

Faltaría expresar la unidad de masa “M”, la cual la obtenemos a través de la densidad y el volumen:

$$\frac{M_P}{M_M} = \frac{\rho_P * L_P^3}{\rho_M * L_M^3} = \frac{\rho_P}{\rho_M} \lambda^3$$

Siendo ρ_P y ρ_M las densidades en el prototipo y modelo respectivamente, en caso que el fluido sea el mismo se tendría la relación de escalas para la masa dada por:

$$\frac{M_P}{M_M} = \lambda^3$$

2.4.3.7. Relaciones de escala en los problemas de semejanza

En la tabla mostrada a continuación se describen las relaciones de escala cuando se adopta la semejanza de Froude, Weber, Reynolds, Mach, para las magnitudes presentes en la hidráulica, cuando se considera la gravedad constante y se utiliza λ como coeficiente de escala geométrica.

Magnitud física	Dimensión	Ley de semejanza adoptada			
		Froude	Reynolds	Weber	Match
Longitud	L	λ	λ	λ	λ
Area	L^2	λ^2	λ^2	λ^2	λ^2
Volumen	L^3	λ^3	λ^3	λ^3	λ^3
Tiempo	T	$\sqrt{\lambda}$	λ^2	λ	$\sqrt{\lambda^3}$
Velocidad	LT^{-1}	$\sqrt{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	1	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$
Aceleración	LT^{-2}	1	$\frac{1}{\lambda^3}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
Caudal	L^3T^{-1}	$\sqrt{\lambda^5}$	λ	λ^3	$\sqrt{\lambda^3}$
Presión	$ML^{-1}T^{-2}$	λ	$\frac{1}{\lambda^2}$	1	$\frac{1}{\lambda}$
Energía	ML^2T^{-2}	λ^4	λ	λ^3	λ^2
Fuerza	MLT^{-2}	λ^3	1	λ^2	λ

Fuente: Modelos reducidos- Dr. Ing. Jaime García Palacios -Universidad Politécnica de Madrid-pág. 29

Figura 2.20 -.Relaciones de semejanza con las diferentes leyes.

Se utilizara la similitud de Froude para obtener la equivalencia del prototipo con el modelo, debido a que esta cumple con los requerimientos establecidos.

2.5. Análisis dimensional para el modelamiento en caídas verticales

2.5.1. Análisis dimensional para los datos obtenidos

Se identificaran las distintas variables en función de “ ΔZ ” que componen el desarrollo de caídas verticales.

$$y_1 = f(Q, y_0, y_{caida}, \Delta Z, L_d, \beta, g, \rho)$$

Dimensionamos las distintas variables:

q_{unit}	y_{caida}	y_p	y_1	L_d	β	g	ρ	ΔZ
$L^2 T^{-1}$	L	L	L	L	-	LT^{-2}	ML^{-3}	L

La dimensión β no contiene variable, por lo que j es menor o igual a 3 por lo tanto]:

$$k = n - j = 9 - 3 = 6$$

Se eligen las como variables repetitivas la densidad y la gravedad, ya que no son dependiente, no forma grupos adimensionales.

1. Se combina la gravedad, la altura de caída y la densidad del agua , con cada una de las variables adicionales para luego situarlas en el numero o denominador .Esto debido a que “Y” es variable dependiente, tenemos que:

$$\Pi_1 = \Delta Z^a g^b \rho^c y_1 = (L)^a (LT^{-2})^b (ML^{-3})^c L = M^0 L^0 T^0$$

Por lo tanto agrupando los exponentes tenemos que:

$$\text{Masa: } c = 0$$

$$\text{Longitud: } a + b - 3c + 1 = 0$$

$$\text{Tiempo: } -2b = 0$$

Resolviendo el sistema: $a = -1 \quad b = 0 \quad c = 0$

En función a esta relación:

$$\Pi_1 = y_1 / \Delta Z$$

2. Luego :

$$\Pi_2 = \Delta Z^a g^b \rho^c q_{unit} = (L)^a (LT^{-2})^b (ML^{-3})^c (L^2 T^{-1}) = M^0 L^0 T^0$$

➤ Por lo tanto agrupando los exponentes tenemos que:

$$\text{➤ Masa: } c = 0$$

$$\text{➤ Longitud: } a + b - 3c + 2 = 0$$

$$\text{➤ Tiempo: } -2b - 1 = 0$$

$$\text{➤ Resolviendo el sistema: } a = -3/2 \quad b = -1/2 \quad c = 0$$

En función a esta relación:

$$\Pi_2 = \frac{q_{unit}}{\sqrt{\Delta Z^3 g}}$$

3. Luego :

$$\Pi_3 = \Delta Z^a g^b \rho^c \beta = (L)^a (LT^{-2})^b (ML^{-3})^c = M^0 L^0 T^0$$

➤ Por lo tanto agrupando los exponentes tenemos que:

$$\text{➤ Masa: } c = 0$$

$$\text{➤ Longitud: } b - 3c + 2 = 0$$

$$\text{➤ Tiempo: } -2b = 0$$

$$\text{➤ Resolviendo el sistema: } a = 0 \quad b = 0 \quad c = 0$$

En función a esta relación:

$$\Pi_3 = 0$$

4. Luego:

$$\Pi_1 = \Delta Z^a g^b \rho^c y_{caida} = (L)^a (LT^{-2})^b (ML^{-3})^c L = M^0 L^0 T^0$$

➤ Por lo tanto agrupando los exponentes tenemos que:

$$\text{Masa: } c = 0$$

$$\text{➤ Longitud: } a + b - 3c + 1 = 0$$

$$\text{➤ Tiempo: } -2b = 0$$

➤ Resolviendo el sistema: $a = -1 \quad b = 0 \quad c = 0$

➤ En función a esta relación:

➤ $\Pi_4 = y_{caída} / \Delta Z$

5. Luego:

➤ $\Pi_1 = \Delta Z^a g^b \rho^c \gamma_p = (L)^a (LT^{-2})^b (ML^{-3})^c L = M^0 L^0 T^0$

➤ Por lo tanto agrupando los exponentes tenemos que:

Masa: $c = 0$

➤ Longitud: $a + b - 3c + 1 = 0$

➤ Tiempo: $-2b = 0$

➤ Resolviendo el sistema: $a = -1 \quad b = 0 \quad c = 0$

➤ En función a esta relación:

➤ $\Pi_5 = y_p / \Delta Z$

6. Luego:

➤ $\Pi_1 = \Delta Z^a g^b \rho^c L_d = (L)^a (LT^{-2})^b (ML^{-3})^c L = M^0 L^0 T^0$

➤ Por lo tanto agrupando los exponentes tenemos que:

Masa: $c = 0$

➤ Longitud: $a + b - 3c + 1 = 0$

➤ Tiempo: $-2b = 0$

➤ Resolviendo el sistema: $a = -1 \quad b = 0 \quad c = 0$

➤ En función a esta relación:

➤ $\Pi_5 = L_d / \Delta Z$

2.5.2. Cálculo de caudales en el prototipo según la similitud de Froude

ESCALA	1/5	1/10	1/12
MODELO (lt/seg.)	PROTOTIPO (m³/seg.)		
8.000	0.447	2.530	3.991
10.000	0.559	3.162	4.988
15.000	0.839	4.743	7.482
20.000	1.118	6.325	9.977
25.000	1.398	7.906	12.471
30.000	1.677	9.487	14.965
35.000	1.957	11.068	17.459
40.000	2.237	12.649	19.953
45.000	2.516	14.230	22.447
50.000	2.795	15.811	24.942
55.000	3.075	17.393	27.436
60.000	3.354	18.974	29.930

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 2.1-. Cálculo de caudales de laboratorio extrapolados a prototipo.

CAPITULO 3

DISEÑO, CONSTRUCCION MONTAJE Y TOMA DE DATOS EN EL CANAL MODULAR PARA LA EJECUCION DE LA EXPERIMENTACION HIDRAULICA EN CAIDAS VERTICALES

3.1. Introducción al diseño del canal modular

El diseño del canal modular se realizó gracias al trabajo en conjunto del Grupo de Investigación “Hydrosystems” creado en la ciudad de Arequipa teniendo como cabeza principal y fundamental del grupo al Ing. Víctor Oscar Rendón Dávila.

Para la realización de la experimentación hidráulica se construyó un canal modular, el cual presentaba también un sistema de recirculación para el flujo, el cual constaba de:

- 3 Motobombas (2 Motobombas de 4 plg y 1 Motobomba de 3 plg de salida)
- 3 tuberías de impulsión (2 tuberías de impulsión 4 pulgadas y una tubería de impulsión de 3 pulgadas)
- 3 mangueras de succión (2 mangueras de succión de 4 pulgadas y una manguera de succión de 3 pulgadas)
- Una piscina de almacenamiento
- Un pozo de almacenamiento
- Una compuerta

3.2. Diseño del canal modular y sus componentes

3.2.1. Descripción del canal modular

- Se realizó la construcción de un canal modular compuesto inicialmente por 5 módulos, los cuales cada uno de estos tenía una longitud de 1.50 metros y una base de 0.457 metros,

para que así estos en conjunto formaran un canal modular de una longitud total de 7.50 metros y un ancho de canal de 0.457 metros.

- Cada módulo que compone el presente canal modular está conformado por diferentes partes lo que permite el transporte más rápido y eficiente de este, para su posterior armado. Y está conformado por:

- Base del canal: Compuesto por una plancha de 3 mm la cual fue previamente cortada para luego ser plegada y poder obtener el ancho de 0.457 metros.
- Paredes del canal: Compuesta por acrílicos de ancho de 4mm. Con un alto de 0.60 metros y una longitud de 1.50 metros
- Faldones Laterales: Compuestos también por una plancha de 3mm. Y con una longitud de 1.50 metros, estos faldones permiten la unión del acrílico con la base del canal por medio de un sistema compuesto por pernos y tuercas.
- Ángulos laterales: Angulo en forma de “L” 1 1/2” X 3/16” que permiten la unión de la base del canal con la pared de acrílico, el faldón lateral y los arriostres superiores, cabe señalar también que estos permiten la unión con los demás módulos y así formar el canal en conjunto
- Arriostre Superior: Ángulos cuya función consiste en brindar al acrílico una forma recta y evitar que este se pandee.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.1.-Partes componentes de cada Módulo y armado del mismo.

- Dicho canal modular tuvo que ser modificado debido a las características que presentaba la investigación acerca de Caídas Verticales por lo que este canal modular se modificó de la siguiente manera:
 - Longitud del canal : 9.00 metros
 - Ancho del Canal : 0.457 metros
 - Altura del Canal : 0.60 metros



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.2 -. Canal modular a una altura fija.

3.2.1.1. Arreglos experimentales para la realización del estudio en caídas verticales

- Debido a las características que necesitaba este estudio experimental como primer paso se realizó la separación del canal modular para poder crear el desnivel y lograr así de esta manera la estructura de Caída Vertical.
- Se aumentó la longitud del canal de 7.50 metros a una longitud de 9 metros, por lo que se aumentó un canal modular más de una longitud de 1.50 metros
- Al crear el desnivel se levantaron 4 módulos a una altura de 1.30 metros, para poder crear de esta manera las condiciones del canal aguas arriba, y así de la misma manera colocar los 3 módulos restantes a una altura variable en relación al piso de 1.15 metros a 0.70 metros, este desnivel en razón a las distintas alturas de caída a ensayar que son de: 0.15 metros, 0.20 metros, 0.25 metros, 0.30 metros, 0.35 metros, 0.40 metros, 0.45 metros, 0.50 metros.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.3-. Canal modular luego de la creación del desnivel para el estudio de Caídas Verticales.

- Para el desarrollo óptimo de la fase de investigación, el canal modular en su parte superior e inferior fue nivelado con la ayuda de un nivel topográfico y una cinta métrica ,para así de esta manera poder corregir los desnivel creados por el terreno donde se ubicó la estructura



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.4-. Uso del nivel topográfico para la corrección de desnivel del terreno.

- Debido a la creación del desnivel ya previamente mostrado, se realizó la construcción de caballetes regulables junto con dos rieles de guía para así brindarle estabilidad a la parte

alta del canal modular, y para la parte baja del canal modular se construyó caballetes regulables con platina para las distintas variaciones de altura de la Caída Vertical.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.5-. Canal modular sostenido por caballetes regulables con tornillo, rieles de guía y con caballetes regulables con platina.

- Para poder observar de mejor manera las distintas características del flujo previo a la caída vertical y luego de esta, se construyó un canal modular con un longitud de 1.50 metros, 0.457 metros de base y con una altura de 1.20 metros; dicho canal modular se ubicó como el primer grupo de canales modulares en la parte bajo permitiendo así la unión de la parte alta del canal modular con la parte baja.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.6-. Canal modular de longitud de 1.50 metros y de altura de 1.20 metros permitiendo la unión de la parte superior del canal con la inferior.

- También se realizó la construcción de un pozo de recibimiento de flujo que forma parte del canal modular, para poder crear la amortiguación del flujo administrado por la motobombas, dicho pozo tiene como dimensiones: 1.50 metros de largo, 1.20 metros de altura y 0.90 metros como base.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.7-. Pozo de recibimiento de flujo parte del canal modular.

- Para la elevación de la parte aguas abajo del canal y poder tener alturas regulables para la caída, se crearon platinas ajustables a los caballetes, para así de esta manera tener un control para cada altura de caída a utilizar para realizar los distintos ensayos.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.8-. Sistema de caballetes regulables con platina para la el descenso y elevación del canal para las alturas de caídas determinadas.

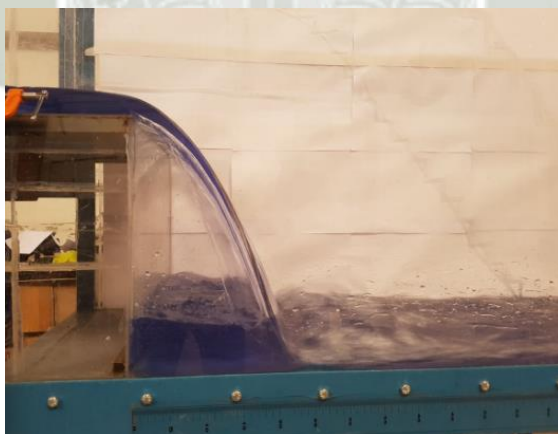
- Cabe resaltar que para el posible descenso y ascenso del canal modular aguas abajo se necesitó ayuda de un sistema de gatas tipo botella para el soporte de este y así para luego realizar su descenso o ascenso de una manera más segura.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.9 -.Uso de gata tipo botella para el ascenso o descenso del canal modular aguas arriba abajo.

- Se construyó también un elemento de continuación al canal modular aguas arriba conformado por una plancha de metal de 3 mm. Con una longitud de 0.20 m y 0.457m. de ancho, esta estructura permitió la mejor visualización de los tirantes de caída para cada altura respectiva y también la longitud del chorro, el ángulo del chorro y los tirantes de la pared de la caída como también los tirantes conjugados.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.10-. Vista en perfil del volado de 3mm. Para la mejor visualización de los componentes de la caída vertical

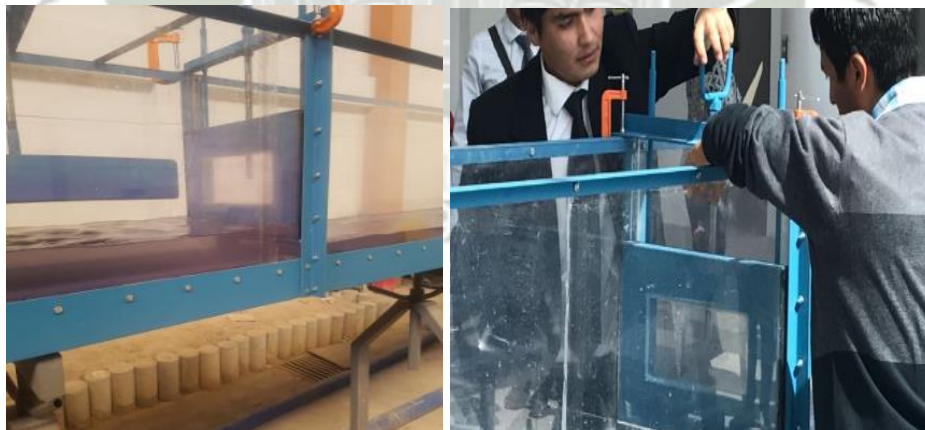
- Posteriormente se realizó el corte de planchas de acrílicos de 4 mm. Para cada altura de la caída, y para los acrílicos usados desde la altura de 0.3 a 0.5 m. se hicieron forados a la pared de acrílico para así poder crear la aireación de la caída vertical.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.11-. Corte de pared de acrílico para las distintas alturas de caída vertical y posterior forado para la aireación de la caída.

- Como último se construyó una compuerta para poder tener el control del caudal utilizado para cada prueba y. La compuerta está compuesta por tubos cuadrados ,pared de acrílico biselada como se describe en su diseño de este tipo de estructuras y también presenta tubos de metal y un tornillo para poder ascender o descender la compuerta.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.12-. Compuerta de 90 grados que permitió la obtención y control del caudal utilizado en cada prueba experimental.

- Este sistema permitió tener un circuito cerrado para el recibimiento y transporte del agua, por lo cual fue de vital importancia para el desarrollo de este proyecto de investigación, las partes que componen este sistema son:
 - **Piscina de almacenamiento “BESTWAY” 2.6 m³** :Piscina capaz de almacenar el agua a la salida del canal



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.13-. Piscina para el recibimiento y acumulación de agua.

- **Pozo de recibimiento de flujo 2.0 m³**:Pozo cuya labor permite el almacenamiento y transporte del agua al canal modular



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.14-. Pozo para recibimiento y transporte del agua al canal modular.

- **Motobombas MEBA 4 plg 13 HP:** Elemento fundamental que permitió el transporte de agua desde la piscina de almacenamiento hacia el pozo de recibimiento.
- **Motobomba HUMBOLDT 3 plg 7.5 HP:** Elemento fundamental que permitió el transporte de agua desde la piscina de almacenamiento hacia el pozo de recibimiento.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.15-. Sistema de motobombas para el transporte de flujo hacia el pozo de recibimiento de flujo.

- **Estabilizador de flujo:** Elemento compuesto por plancha de metal y dos tornillos reguladores para crear una lámina casi uniforme del flujo y permitir una medición más exacta de sus tirantes.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.16-. Estabilizador de flujo con tornillos

- **Tuberías de impulsión y succión:** Permitieron el transporte del agua de la piscina hacia la motobomba (succión), y el transporte del agua desde la bomba al pozo de recibimiento (impulsión).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 3.17-. Sistema de tuberías de impulsión (izquierda) y sistema de tuberías de succión (izquierda).

3.2.1.2. Dimensiones del caudal a ensayar

- Para el presente estudio experimental se ensayaran caudales de entre 9 a 60 litros/segundo ,dichos caudales serán generados por las motobombas independientemente y para algunos casos donde los caudales sean mayores se realizara el uso en conjunto de dos o las tres motobombas, para esto se presentaran a continuación :

➤ Diámetro tubería impulsión 1 y 2	4 pulg.
➤ Diámetro tubería impulsión 3	3 pulg.
➤ Diámetro tubería succión 1 y 2	4 pulg.
➤ Diámetro tubería succión 3	3 pulg.
➤ Motobomba Gasolinera 13 HP	4 pulg.
➤ Motobomba Gasolinera 13 HP	4 pulg.
➤ Motobomba Gasolinera 7 HP	3 pulg.
➤ Longitud tubería 1 succión de 4 plg.	4.00 m.
➤ Longitud tubería 2 succión de 4 plg.	4.00 m.
➤ Longitud tubería 3 succión de 3 plg.	4.00 m.
➤ Longitud tubería 1 impulsión de 4 plg.	11.93 m.
➤ Longitud tubería 2 impulsión de 4 plg.	11.93 m.
➤ Longitud tubería 3 impulsión de 3 plg.	11.93 m.
➤ Densidad del agua	1000 kg/m^3
➤ Gravedad (Arequipa)	9.77 m/s^2

- Se ensayara caudales de desde los 10 l/s a los 60 l/s para que así de esta manera exista una cantidad variada de caudales para así lograr que el estudio presentado sea más preciso, para esto se utilizaran 3 Motobombas.
- Es necesario calcular la potencia generada por cada motobomba para impulsar el caudal al cual cada una está diseñada.

- Se calculara la altura de la bomba para así de esta Manera luego poder determinar la potencia que requiere, por lo que es preciso determinar los términos de la ecuación a continuación mencionada:

$$H_{Bomba} = hf_{impulsion} + hf_{succion} + h_{locales} + H_{1-2}$$

Dónde:

H_{Bomba} : Altura de la Bomba (m.)

$hf_{impulsion}$: Perdidas debido a la fricción en la tubería de impulsión (m.)

$hf_{succion}$: Perdidas debido a la fricción en la tubería de succión (m.)

$h_{locales}$: Perdidas locales

H_{1-2} : Desnivel entre las zonas 1 y 2 (m.)

3.2.1.3. *Perdidas debido a la fricción en la impulsión*

- Definimos el desnivel entre las zonas 1 y 2 que viene a ser de la zona donde se encuentra el nivel de agua en la piscina de almacenamiento y la altura máxima a la cual llegara el flujo al ser bombeado, dicho desnivel es de 1.93 metros.
- Por lo tanto las pérdidas por fricción generadas son calculadas mediante la siguiente ecuación.

$$hf_{impulsion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

Dónde:

$hf_{impulsion}$: Perdidas debido a la fricción en la tubería de impulsión (m.)

f : Coeficiente de fricción

L	: Longitud de la tubería (m.)
D	: Diámetro de la tubería (m.)
V	: Velocidad media (m / seg.)
g	: Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)

- Para el uso de la ecuación anteriormente mencionada es necesario conocer el valor del coeficiente de fricción, el cual junto con la ayuda del Diagrama de Moody puede ser encontrado, para ello es necesario conocer el valor del Numero de Reynolds y la rugosidad relativa.
- Para el cálculo del número de Reynolds es necesario conocer el valor de la viscosidad del líquido, el diámetro de la tubería y la velocidad media del flujo que pasa por esta.

$$\# REYNOLDS = \frac{VD}{\nu}$$

Dónde:

ν	: Viscosidad cinemática del fluido (m.)
D	: Diámetro de la tubería (m.)
V	: Velocidad media (m / seg.)

Por lo tanto:

- Para las tuberías de impulsión de 4 pulgadas , para esto se sabe y se calculó con ayuda de una compuerta que el caudal suministrado por estas bombas es de 30 l/seg:

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

Dónde:

Q : Caudal (m^3/seg)

A : Área (m^2)

V : Velocidad media (m/seg)

*Diametro de la tuberia = 4 pulgadas = $4 * 0.0254 = 0.1016$ metros*

$$V = \frac{30 * 10^{-3}}{\pi * \frac{0.1016^2}{4}}$$

$$V = 3.7000 \text{ m/seg}$$

- Conociendo el valor de la velocidad media, y conjunto con el valor de la viscosidad cinemática del agua que es $0.0112 \text{ cm}^2/seg$, calculamos a continuación el valor del Número de Reynolds.

$$\# REYNOLDS = \frac{VD}{\nu}$$

$$\# REYNOLDS = \frac{3.7000 * 0.1016}{0.0112 * 10^{-4}}$$

$$\# REYNOLDS = 335642,857$$

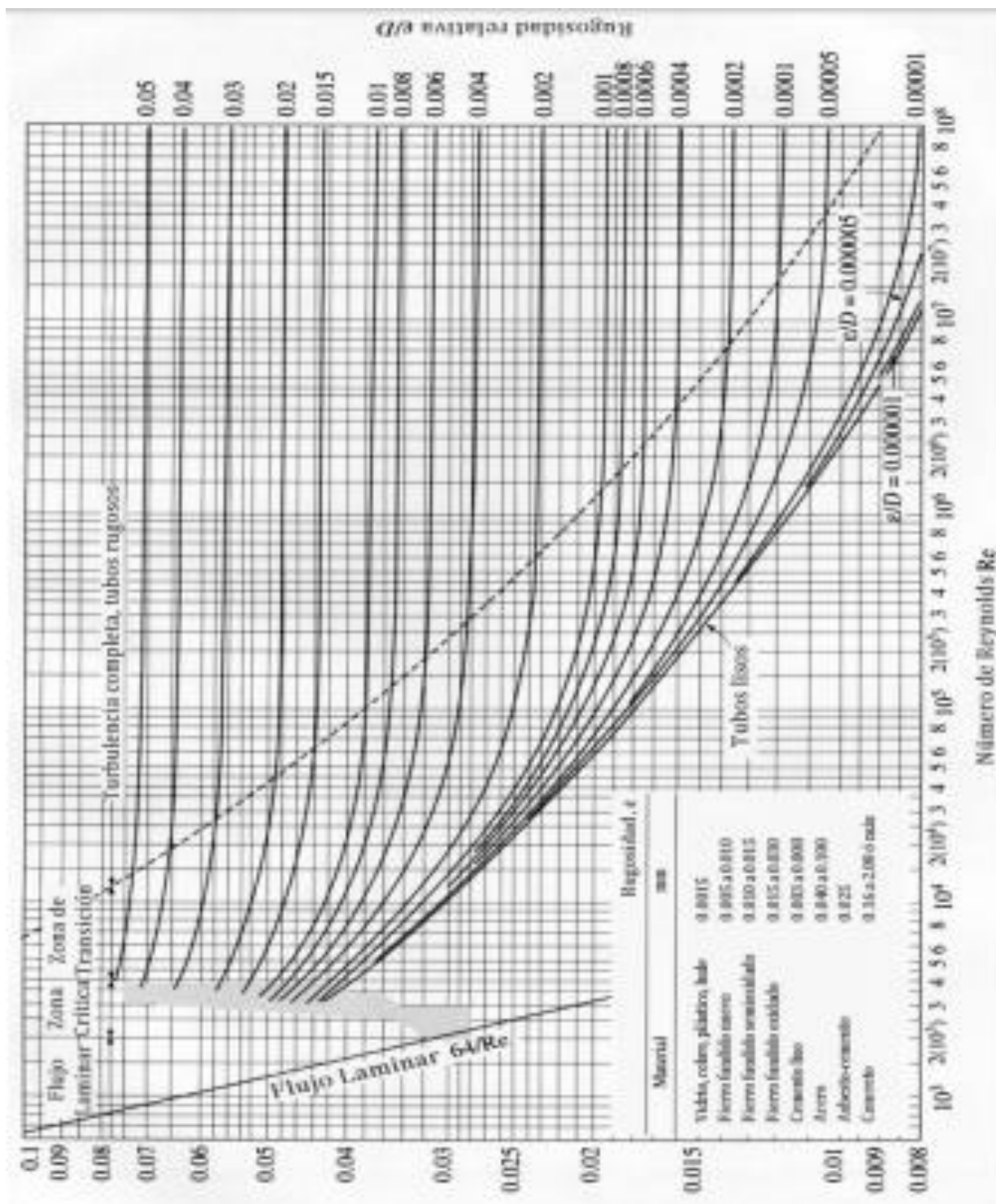
- Con el valor de rugosidad del PVC que es 0.0015 mm. Calculamos el valor de la rugosidad relativa con ayuda de la formula presentada a continuación:

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{e}{D}$$

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{0.0015}{0.1016 * 10^3}$$

$$Rugosidad\ Relativa = 1.4764 * 10^{-5}$$

- Utilizando los valores de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, nos apoyamos del Diagrama de Moody Fig 3.18.



Fuente: "Hidráulica General", Sotelo 200).

Figura 3.18-. Diagrama de Moody

- Con este diagrama podremos encontrar el valor del coeficiente de fricción que para este caso sería de:

$$\text{coeficiente de fricción} = f = 0.014$$

- Por lo tanto conociendo los siguientes datos para la tuberías de impulsión, procedeos a encontrar los valores de los $hf_{impulsion}$ para cada tubería.

$$hf_{impulsion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

- Para las tuberías de impulsión de 4 pulgadas, el valor $hf_{impulsion}$ sería:

$$hf_{impulsion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$hf_{impulsion} = 0.014 * \frac{11.93 * 3.70^2}{0.1016 * 2 * 9.7779}$$

$$hf_{impulsion} = 1.1508 \text{ m.}$$

- Para la tubería de impulsión de 3 pulgadas , para esto se sabe y se calculó con ayuda de una compuerta que el caudal suministrado por la bomba es de 15 l/seg:

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

Dónde:

Q : Caudal (m^3/seg)

A : Área (m^2)

V : Velocidad media (m/seg)

*Diametro de la tubería = 3pulgadas = $3 * 0.0254 = 0.0762$ metros*

$$V = \frac{15 * 10^{-3}}{\pi * \frac{0.0762^2}{4}}$$

$$V = 3.2892 \text{ m/seg}$$

- Conociendo el valor de la velocidad media, y conjunto con el valor de la viscosidad cinemática del agua que es $0.0112 \text{ cm}^2/seg$, calculamos a continuación el valor del Número de Reynolds.

$$\# \text{ REYNOLDS} = \frac{VD}{\nu}$$

$$\# \text{ REYNOLDS} = \frac{3.2892 * 0.0762}{0.0112 * 10^{-4}}$$

$$\# REYNOLDS = 223783,0714$$

- Con el valor de rugosidad del PVC que es 0.0015 mm. Calculamos el valor de la rugosidad relativa con ayuda de la formula presentada a continuación:

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{e}{D}$$

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{0.0015}{0.0762 * 10^3}$$

$$Rugosidad\ Relativa = 1.9685 * 10^{-5}$$

- Utilizando los valores de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, nos apoyamos del Diagrama de Moody Fig 4.8.
- Con este diagrama podremos encontrar el valor del coeficiente de fricción que para este caso sería de:

$$coeficiente\ de\ friccion = f = 0.016$$

- Por lo tanto conociendo los siguientes datos para la tubería de impulsión, procedemos a encontrar los valores de los $hf_{impulsion}$ para la tubería.

$$hf_{impulsion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

- Para las tubería de impulsión de 3 pulgadas, el valor $hf_{impulsion}$ seria:

$$hf_{impulsion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$hf_{impulsion} = 0.016 * \frac{11.93 * 3.2892^2}{0.0762 * 2 * 9.7779}$$

$$hf_{impulsion} = 1.3858 \text{ m.}$$

3.2.1.4. **Perdidas debido a la fricción en la succión**

- Calculamos las pérdidas por fricción generadas mediante la siguiente ecuación.

$$hf_{succion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

Dónde:

$hf_{succion}$: Perdidas debido a la fricción en la tubería de succión (m.)

f : Coeficiente de fricción

L : Longitud de la tubería (m.)

D : Diámetro de la tubería (m.)

V : Velocidad media (m / seg.)

g : Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)

- Para el uso de la ecuación anteriormente mencionada es necesario conocer el valor del coeficiente de fricción, el cual junto con la ayuda del Diagrama de Moody puede ser

encontrar, para ello es necesario conocer el valor del Numero de Reynolds y la rugosidad relativa.

- Para el cálculo del número de Reynolds es necesario conocer el valor de la viscosidad del líquido, el diámetro de la tubería y la velocidad media del flujo que pasa por esta.

$$\# REYNOLDS = \frac{VD}{\nu}$$

Dónde:

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m.)

D : Diámetro de la tubería (m.)

V : Velocidad media (m / seg.)

Por lo tanto:

- Para las tuberías de succión de 4 pulgadas , para esto se sabe y se calculó con ayuda de una compuerta que el caudal suministrado por estas bombas es de 30 l/seg:

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

Dónde:

Q : Caudal (m^3/seg)

A : Área (m^2)

V : Velocidad media (m/seg)

Diametro de la tubería = 4 pulgadas = $4 * 0.0254 = 0.1016$ metros

$$V = \frac{30 * 10^{-3}}{\pi * \frac{0.1016^2}{4}}$$

$$V = 3.7000 \text{ m/seg}$$

- Conociendo el valor de la velocidad media, y conjunto con el valor de la viscosidad cinemática del agua que es $0.0112 \text{ cm}^2/seg$, calculamos a continuación el valor del Número de Reynolds.

$$\# \text{ REYNOLDS} = \frac{VD}{\nu}$$

$$\# \text{ REYNOLDS} = \frac{3.7000 * 0.1016}{0.0112 * 10^{-4}}$$

$$\# \text{ REYNOLDS} = 335642,857$$

- Con el valor de rugosidad del PVC que es 0.0015 mm. Calculamos el valor de la rugosidad relativa con ayuda de la formula presentada a continuación:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{e}{D}$$

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{0.0015}{0.1016 * 10^3}$$

$$Rugosidad\ Relativa = 1.4764 * 10^{-5}$$

- Utilizando los valores de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, nos apoyamos del Diagrama de Moody Fig 4.8.
- Con este diagrama podremos encontrar el valor del coeficiente de fricción que para este caso sería de:

$$coeficiente\ de\ friccion = f = 0.014$$

- Por lo tanto conociendo los siguientes datos para la tuberías de impulsión, procedeos a encontrar los valores de los $hf_{succion}$ para cada tubería.

$$hf_{succion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

- Para las tuberías de succión de 4 pulgadas, el valor $hf_{impulsion}$ seria:

$$hf_{succion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$hf_{succion} = 0.014 * \frac{4.00 * 3.70^2}{0.1016 * 2 * 9.7779}$$

$$hf_{succion} = 0.3859\ m.$$

- Para la tubería de succión de 3 pulgadas , para esto se sabe y se calculó con ayuda de una compuerta que el caudal suministrado por la bomba es de 15 l/seg:

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

Dónde:

Q : Caudal (m^3/seg)

A : Área (m^2)

V : Velocidad media (m/seg)

*Diametro de la tubería = 3pulgadas = $3 * 0.0254 = 0.0762$ metros*

$$V = \frac{15 * 10^{-3}}{\pi * \frac{0.0762^2}{4}}$$

$$V = 3.2892 \text{ m/seg}$$

- Conociendo el valor de la velocidad media, y conjunto con el valor de la viscosidad cinemática del agua que es $0.0112 \text{ cm}^2/seg$, calculamos a continuación el valor del Número de Reynolds.

$$\# REYNOLDS = \frac{VD}{\nu}$$

$$\# REYNOLDS = \frac{3.2892 * 0.0762}{0.0112 * 10^{-4}}$$

$$\# REYNOLDS = 223783,0714$$

- Con el valor de rugosidad del PVC que es 0.0015 mm. Calculamos el valor de la rugosidad relativa con ayuda de la formula presentada a continuación:

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{e}{D}$$

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{0.0015}{0.0762 * 10^3}$$

$$Rugosidad\ Relativa = 1.9685 * 10^{-5}$$

- Utilizando los valores de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, nos apoyamos del Diagrama de Moody Fig 4.8.
- Con este diagrama podremos encontrar el valor del coeficiente de fricción que para este caso sería de:

$$coeficiente\ de\ friccion = f = 0.016$$

- Por lo tanto conociendo los siguientes datos para la tubería de impulsión, procedemos a encontrar los valores de los $hf_{succion}$ para la tubería.

$$hf_{succion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

- Para las tubería de succión de 3 pulgadas, el valor $hf_{impulsion}$ seria:

$$hf_{succion} = f \frac{LV^2}{D2g}$$

$$hf_{succion} = 0.016 * \frac{4.00 * 3.2892^2}{0.0762 * 2 * 9.7779}$$

$$hf_{succion} = 0.4647 \text{ m.}$$

3.2.1.5. *Perdidas locales*

- Definimos las distintas perdidas locales que son producidas generalmente por los distintos accesorios que componen nuestra línea de succión e impulsión, donde encontramos:

- | | |
|-----------------------------|--------|
| a) 4 codos de 90° de 4 plg. | K=0.90 |
| b) 3 codos de 90° de 3 plg. | K=0.90 |
| c) 2 codos de 45° de 4 plg. | K=0.42 |

- Encontramos las perdidas locales con la ecuación:

$$h_{locales} = \frac{V^2}{2g} * \sum K$$

Dónde:

$h_{locales}$: Perdidas Locales (m)

V : Velocidad media (m / seg.)

g : Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)

K : Perdidas por accesorios

- Utilizamos los valores de la velocidad media hallados en las tuberías de succión de 4 pulgadas para la obtención de las perdidas locales.

$$h_{locales} = \frac{V^2}{2g} * \sum K$$

$$h_{locales} = \frac{3.70^2}{2 * 9.7779} * 2.22$$

$$h_{locales} = 1.5541 m.$$

- Utilizamos el valor de la velocidad media hallada en las tubería de succión de 3 pulgadas para la obtención de las perdidas locales.

$$h_{locales} = \frac{V^2}{2g} * \sum K$$

$$h_{locales} = \frac{3.2892^2}{2 * 9.779} * 2.70$$

$$h_{locales} = 1.4936 \text{ m.}$$

- Entonces con los valores ya encontrados, se procede a calcular la altura de la bomba con la siguiente ecuación:

$$H_{Bomba} = hf_{impulsion} + hf_{succion} + h_{locales} + H_{1-2}$$

a) Para la Bomba de 4 pulgadas

- Calculamos la altura de la bomba:

$$H_{Bomba} = hf_{impulsion} + hf_{succion} + h_{locales} + H_{1-2}$$

$$H_{Bomba} = 1.1508 + 0.3859 + 1.5541 + 1.93$$

$$H_{Bomba} = 5.0208 \text{ m.}$$

- Calculamos la potencia de la bomba requerida:

$$P = \beta \rho g Q H_{Bomba}$$

Dónde:

P : Potencia de la bomba (HP)
 β : Coeficiente de la eficiencia de la bomba
 ρ : Densidad del agua (kg/m^3)
 Q : Caudal (m^3/seg)

H_{Bomba} : Altura de la Bomba (m.)

g : Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)

$$P = \rho \beta g Q H_{Bomba}$$

$$P = \frac{1000 * 0.03 * 9.7779 * 5.0208}{0.65}$$

$$P = 2265,8252 \text{ watts} = \mathbf{3.0385 HP}$$

a) Para la Bomba de 3 pulgadas

$$H_{Bomba} = hf_{impulsion} + hf_{succion} + h_{locales} + H_{1-2}$$

$$H_{Bomba} = 1.3858 + 0.4647 + 1.4936 + 1.93$$

$$\mathbf{H_{Bomba} = 5.2741 m.}$$

- Calculamos la potencia de la bomba requerida:

$$P = \beta \rho g Q H_{Bomba}$$

Dónde:

P : Potencia de la bomba (HP)

β : Coeficiente de la eficiencia de la bomba

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

Q : Caudal (m^3/seg)

H_{Bomba} : Altura de la Bomba (m.)

g : Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)

$$P = \rho \beta g Q H_{Bomba}$$

$$P = \frac{1000 * 0.015 * 9.7779 * 5.2741}{0.65}$$

$$P = 1190.06822 \text{ watts} = \mathbf{1.5959 HP}$$

3.2.2. Cálculo de la entrada de aire

Utilizando las fórmulas para los criterios de diseño de entrada de aire procedemos a calcular el diámetro de tubería a utilizar.

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho_a g} = [K_{ent} + K_b + K_{sal}] \frac{V^2}{2g} + fL \frac{V^2}{D2g}$$

- Calculamos la cantidad de aire que ingresara:

$$q_{aire} = 0.1 * \frac{q_{unit}}{\left(\frac{y_p}{y_{caida}}\right)^{1.5}}$$

$$q_{aire} = 0.1 * \frac{\frac{0.06}{0.4575}}{\left(\frac{0.227}{0.09}\right)^{1.5}} = 0.0033 \left(\frac{m^3}{s}\right)/m$$

$$Q_{aire} = B * q_{aire} = 0.4575 * 0.0033 = 0.0015 m^3/s$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho_a g} = [K_{ent} + K_b + K_{sal}] \frac{V^2}{2g} + fL \frac{V^2}{D 2g}$$

$$\left(\frac{P_2}{\rho g}\right)_{agua} = \frac{\rho_{aire}}{\rho_{agua}} \left[K_{ent} + K_b + K_{sal} + \frac{fL}{D} \right] \frac{V^2}{2g}$$

$$0.04 = \frac{1}{830} \left[0.5 + 1.0 + \frac{0.02 * 0.1}{D} \right] \frac{\left(\frac{0.0019}{D^2}\right)^2}{2 * 9.779}$$

$$D = 0.39 plg.$$

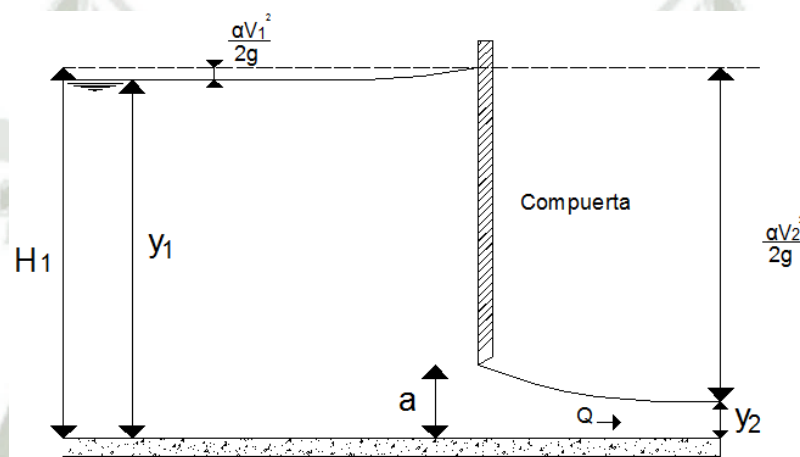
- Por guardar seguridad para la zona aireada se utilizó un diámetro de 1 pulgada para la tubería de ventilación.

3.2.3. Uso de la compuerta para medición de caudales

Una compuerta es una estructura que permite el control de flujo, éstas estructuras se caracterizan por ser una placa móvil plana o curva, que al levantarse forma una abertura entre su

borde inferior con la estructura hidráulica ya sea una presa, un canal, etc., Esta estructura es utilizada para la regulación de caudales en la mayoría de los casos y como emergencia y cierre para el mantenimiento de otras estructuras.

Las compuertas tienen las propiedades hidráulicas de los orificios y, cuando estas estructuras se encuentran perfectamente calibradas, pueden ser empleadas para la medición de caudales que pasa por la estructura.



Fuente: “Manual de Practicas Laboratorio de Hidráulica, (Universidad Nacional de Colombia)

Marbello Pérez Ramiro

Figura 3.19-. Flujo que se desarrolla a través de una compuerta plana.

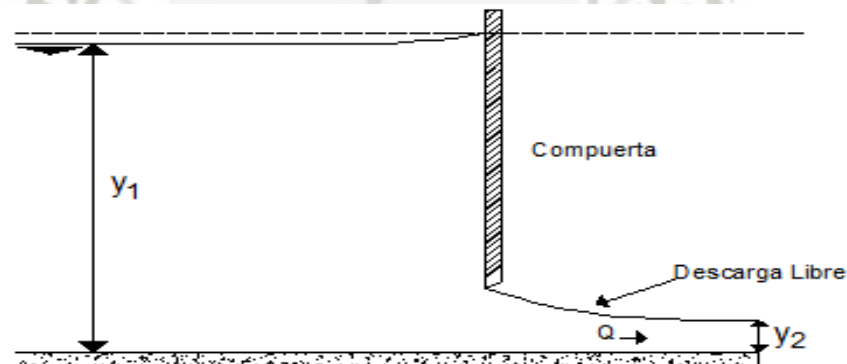
En las compuertas se desarrollan descargas libres o sumergidas. La descarga libre se caracteriza por un chorro aireado que fluye por la parte baja de la compuerta sujeto a la condición de borde $p = \text{cte}$. Ésta condición de borde conduce a que el coeficiente de contracción “ C_c ” depende del Número de Froude, cuando los valores del Número de Froude son mayores de 10, el valor del coeficiente de contracción se vuelve independiente del Número de Froude y toma valores que

corresponden a los de la condición de borde $V=0$ a lo largo del chorro., condición de borde que se caracteriza tanto con el caso del chorro sumergido como el caso del chorro libre.

Dentro de la clasificación de las compuertas estas se ven sometidas a las condiciones físicas, hidráulicas, cinéticas y de operación, estas condiciones imponen la selección del tipo y tamaño adecuado de la estructura. Estas estructuras son diseñadas de diferentes maneras y con variadas características en su operación y manera de izado, las cuales permiten clasificarlas en:

1. Según las condiciones del flujo aguas abajo pueden ser:

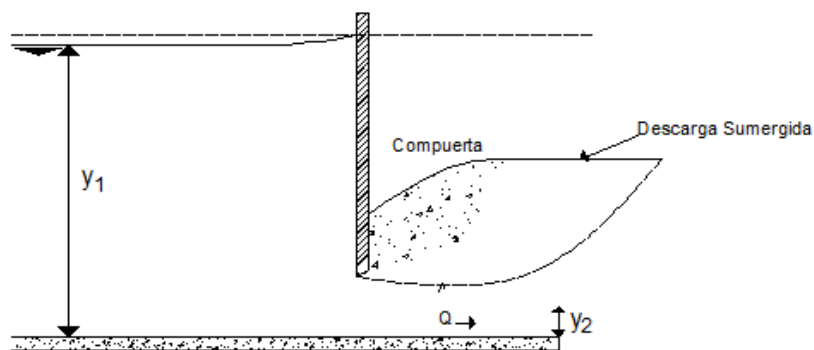
- Compuerta con descarga libre
- Compuerta con descarga sumergida



Fuente: “Manual de Practicas Laboratorio de Hidráulica, (Universidad Nacional de Colombia)

Marbello Pérez Ramiro

Figura 3.20-. Esquema de descarga libre en compuertas planas.



Fuente: "Manual de Practicas Laboratorio de Hidráulica, (Universidad Nacional de Colombia)

Marbello Pérez Ramiro

Figura 3.21-. Esquema de descarga sumergida en compuertas planas.

2. Según el tipo de funcionamiento:

- Compuertas de regulación
- Compuertas de guarda o de cierre
- Compuerta de Emergencia

3. Según el mecanismo de izado:

- Compuertas deslizantes
- Compuertas rodantes

4. Según sus características geométricas:

- Compuertas Curvas
- Compuertas Planas

- En el presente estudio se utilizara una compuerta plana para poder establecer la medición del flujo que se pasa a través del canal, por lo que es necesario conocer la manera en cómo obtener este valor del caudal en función a este tipo de estructura.

3.2.3.1. *Calculo del caudal con compuertas planas*

Una compuerta es una estructura que permite el control de flujo, éstas estructuras se caracterizan por ser una placa móvil plana o curva, que al levantarse forma una abertura entre su borde inferior con la estructura hidráulica ya sea una presa, un canal, etc., Esta estructura es utilizada para la regulación de caudales en la mayoría de los casos y como emergencia y cierre para el mantenimiento de otras estructuras.

El flujo formado por el orificio entre el labio inferior de la compuerta y el fondo del canal puede considerarse bidimensional. El flujo en esa zona es supercrítico y este flujo reduce progresivamente su profundidad a lo largo de una corta distancia “T” aguas abajo hasta la sección donde la contracción del flujo es completa.

La profundidad del flujo aguas abajo “ y_2 ”, se relaciona con la abertura “a” por medio del coeficiente de contracción.

$$C_c = \frac{y_{2c}}{a} \quad (0.1)$$

Para compuertas planas verticales se ha comprobado que:

$$I = \frac{a}{C_c}$$

$$I = \frac{a^2}{y_{2c}} \quad (0.2)$$

Utilizando la conservación de la masa entre los puntos 1 y 2 e introduciendo el coeficiente de velocidad “ C_v ” se tiene que:

$$V_{2\text{ real}} = C_v \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}} * \sqrt{2gy_{1c}}} \quad (0.3)$$

Entonces:

$$Q = V_{2\text{ real}} * Area_2$$

$$Q = V_{2\text{ real}} * B * y_{2c}$$

$$Q = \frac{C_v}{\sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}} * \sqrt{2gy_{1c}} * B * y_2$$

Reemplazando el valor de “ y_{2c} ”:

$$Q = \frac{C_v}{\sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}} * \sqrt{2gy_{1c}} * B * a * C_c$$

$$Q = \frac{C_v * C_c}{\sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}} * \sqrt{2gy_{1c}} * B * a$$

Introduciendo el coeficiente de descarga “ C_d ” como:

$$C_d = \frac{C_v * C_c}{\sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}}$$

Por lo tanto:

$$Q = C_d * \sqrt{2gy_{1c}} * B * a \quad (0.4)$$

Tenemos:

$$C_d = \frac{C_v * C_c}{\sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}}$$

$$C_v = \frac{C_d}{C_c} \sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}$$

$$C_v C_c = C_d \sqrt{1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}}$$

Elevamos al cuadrado:

$$C_v^2 C_c^2 = C_d^2 \left(1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}\right)$$

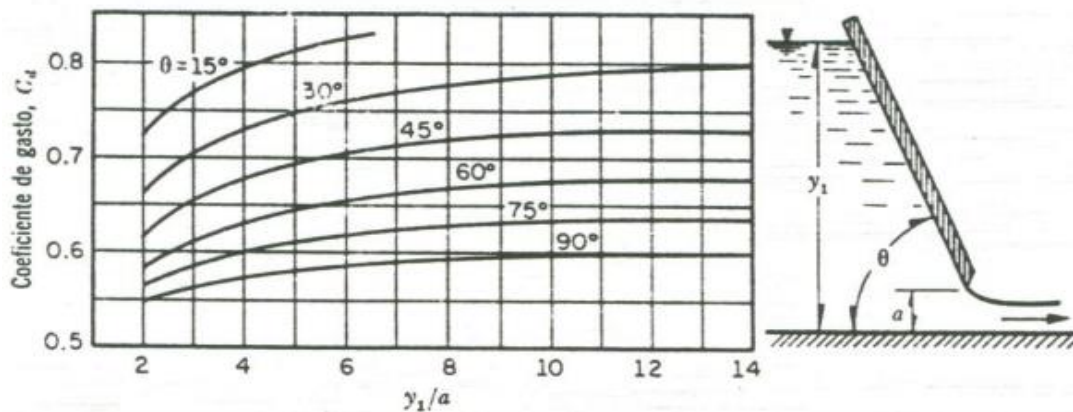
$$C_c^2 = \frac{C_d^2}{C_v^2} \left(1 + \frac{aC_c}{y_{1c}}\right)$$

$$C_c^2 - \frac{C_d^2}{C_v^2} - \frac{a}{y_{1c}} \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^2 C_c = 0$$

$$C_c = \frac{\frac{a}{y_{1c}} \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^2 \pm \sqrt{\left(\frac{a}{y_{1c}} \right)^2 \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^4 - 4 \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^2}}{2}$$

$$C_c = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{y_{1c}} \right) \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^2 \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{a}{y_{1c}} \right)^2 \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^4 - \left(\frac{C_d}{C_v} \right)^2}$$

Hunter Rouse afirma que los valores del coeficiente de descarga para compuertas planas verticales son esencialmente constantes y con ligeras variaciones alrededor de 0.61.



Fuente: “Manual de Practicas Laboratorio de Hidráulica, (Universidad Nacional de Colombia)

Marbello Pérez Ramiro

Figura 3.22-. Abaco para el cálculo de coeficientes de descarga para compuertas planas e inclinadas.

CAPITULO 4

MODELACION DE LAS CARACTERISITICAS DEL FLUJO HIDRAULICO Y MEDICION DE VARIABLES EN CAIDAS VERTICALES

4.1. Proceso para la medición de las diversas variables físicas

El desarrollo de la campaña experimental para el presente proyecto de investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María donde previamente como ya se detalló anteriormente se realizó la colocación del canal modular con su diversos componentes para así posteriormente comenzar con la campaña experimental sobre el “ANALISIS EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO HIDRAULICO EN CAIDAS VERTICALES”.

La toma de los datos esenciales para el desarrollo del estudio de este proyecto de investigación se dividió en 5 fases las cuales fueron las siguientes:

1. Encendido de las Motobombas
2. Descendimiento del estabilizador de flujo
3. Medición de tirantes aguas arriba del canal modular
4. Medición de tirantes y demás variables de caídas verticales ,aguas abajo del canal modular
5. Medición del caudal ensayado

Los pasos mencionados previamente se realizaron para la toma de los datos para las pruebas de caída vertical “VENTILADA” y de la caída vertical “NO VENTILADA”.

A continuación se detallara las fases principales que fueron parte de cada prueba experimental realizada durante el proceso de este proyecto.

4.1.1. Medición de los tirantes aguas arriba del canal modular y aguas abajo

Como primera medición de la prueba se realiza con ayuda de una regla de aluminio la medida del tirante aguas arriba del canal como así también la medida del tirante previo y en el filo de la caída vertical.

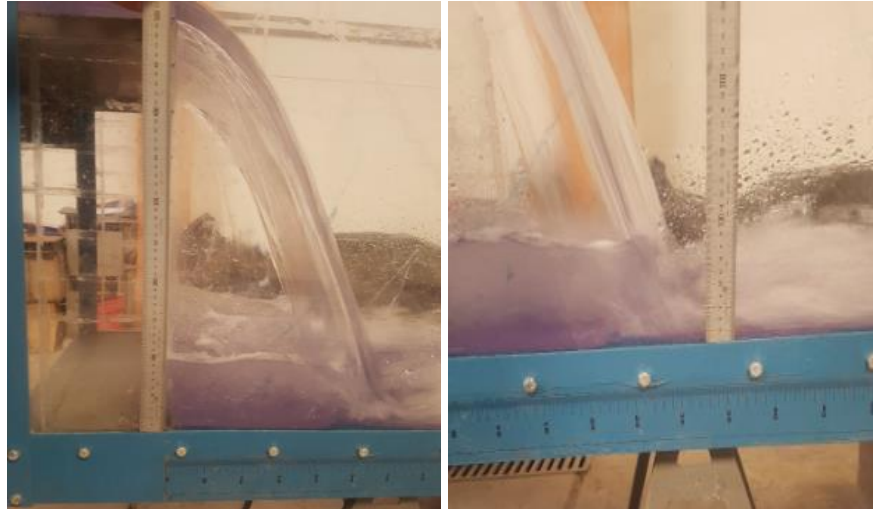


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.1.- Medición con regla de aluminio del tirante de la caída " $y_{caída}$ ".

La medición de las distintas variables que se encuentran en la parte aguas abajo del canal junto con el tirante de la caída son las más importantes para el desarrollo de este proyecto de investigación ya que aquí es donde se centra el estudio principal para este. Dentro de las variables a medir en esta sección se encuentran:

- Longitud del chorro " L_d "
- Tirantes conjugados " y_1 " " y_2 "
- Angulo del chorro " β "
- Tirante en la pared de la caída " y_p "



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.2-. Medición del tirante " y_1 " y la longitud del chorro " L_d ".

- Para el cálculo del tirante crítico es necesario utilizar la formula mencionada a continuación:

$$y_{crit} = \sqrt[3]{\frac{q_{unit}^2}{g}}$$

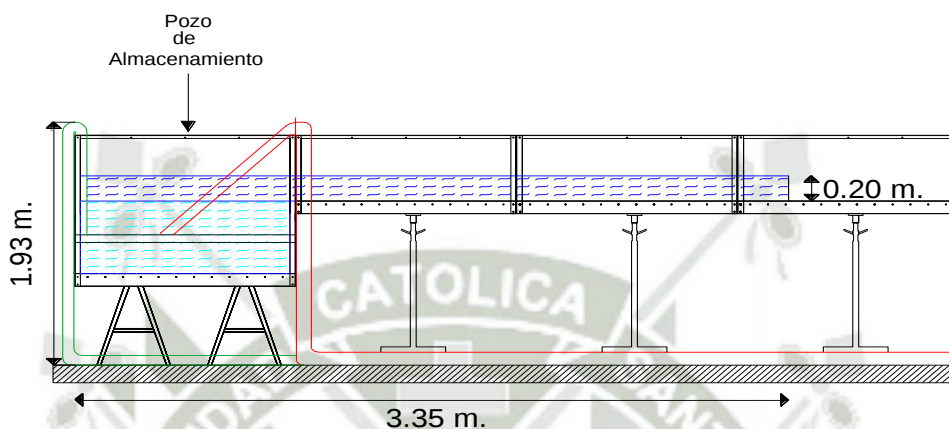
4.1.2. Modelación de caudales

Previamente al desarrollo de la campaña experimental se desarrollaron pruebas para poder conocer el caudal suministrado por cada motobomba que formaba parte de toda la estructura, para esto se realizó dos tipos de mediciones para determinar la cantidad de caudal suministrado por cada Motobomba.

4.1.2.1. Medición del método volumétrico

Se utilizó el canal modular para realizar la siguiente medición que permitió tener un control más preciso del flujo y así conocer las distintas variables físicas a ser medidas para la obtención del caudal bajo este método. En su desarrollo se necesitaron medir las siguientes variables:

- Longitud ocupada por el flujo
- Base del canal modular
- Altura de carga del agua o tirante del flujo
- Tiempo de llenado hasta la zona requerida



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

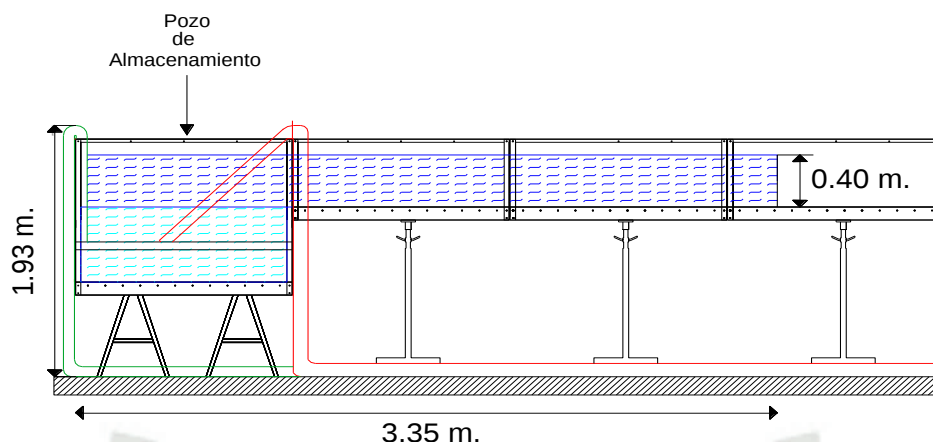
Figura 4.3-. Control de caudales mediante altura de carga de agua para Método Volumétrico Motobomba “Humboldt”.

Se realizaron estas mediciones para la bomba “HUMBOLDT” de 3 pulgadas, como así también para las motobombas “MEBA” de 4 pulgadas.

MOTOBOMBA HUMBOLDT 3 PLG. 7.5 HP					
ACEL..	TIEMPO (seg.)	ALTURA (m.)	BASE (m.)	LONG. (m.)	CAUDAL (l/s)
Mínima	32.8600	0.2000	0.4570	3.3500	9.3180
Media	26.1600	0.2000	0.4570	3.3500	11.7045
Máxima	19.4800	0.2000	0.4570	3.3500	15.7182

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.1-.Medición volumétrica de caudales Motobomba “HUMBOLDT” 3 plg. 7.5 HP.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.4.- Control de caudales mediante altura de carga de agua para Método Volumétrico Motobombas “MEBA”.

MOTOBOMBA MEBA 4 PLG. 13 HP					
ACEL.	TIEMPO (seg.)	ALTURA (m.)	BASE (m.)	LONG. (m.)	CAUDAL (l/s)
Mínima	36.7600	0.4000	0.4570	3.3500	16.6589
Media	23.9800	0.4000	0.4570	3.3500	25.5371
Máxima	19.4500	0.4000	0.4570	3.3500	31.4848

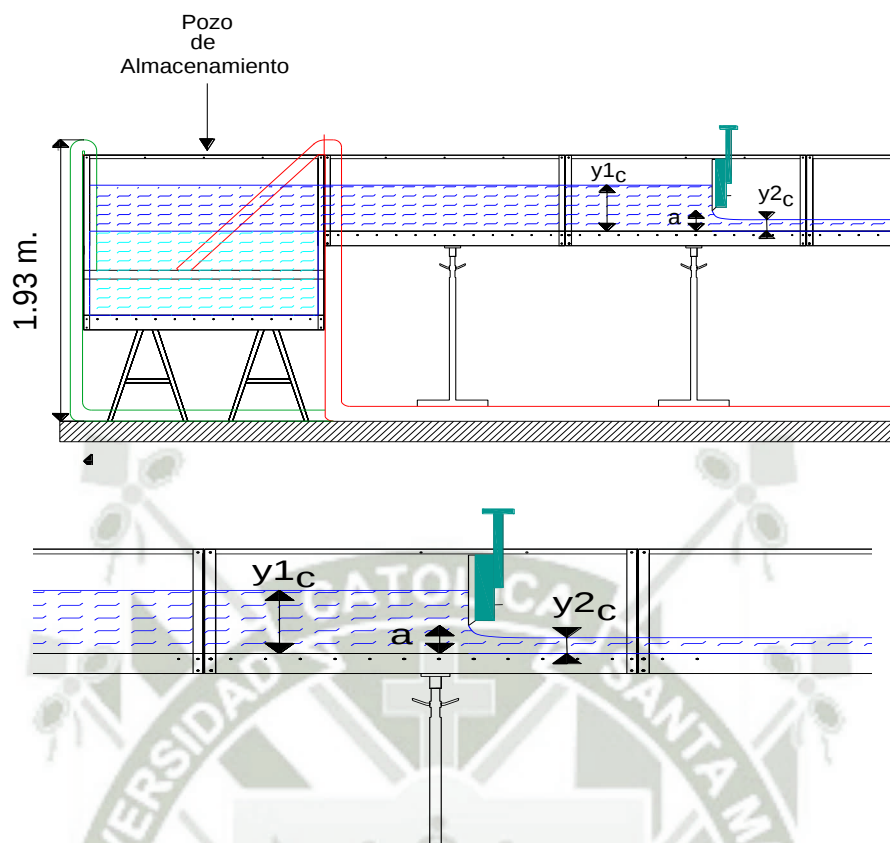
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.2.-Medición volumétrica de caudales Motobomba “MEBA” 4 plg. 13 HP.

4.1.2.2. Medición con compuerta

Para la medición del caudal ensayado por cada prueba se necesitó de una compuerta la cual con sus distintas variables que presenta para el cálculo de caudales se conoció con exactitud la cantidad de agua que pasaba por el canal modular en el momento de la prueba. Dentro de sus variables encontramos:

- Tirante previo a la compuerta " y_{1c} "
- Tirante posterior a la compuerta " y_{2c} "
- Abertura de la compuerta " a "



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.5-. Control de caudales mediante uso de compuerta.

MOTOBOMBA HUMBOLDT 3 PLG. 7.5 HP							
ACE.	$y1c(m)$	$a(m.)$	$y1/a$	$I (m.)$	Cc	Cd	Caudal (l/s)
MIN.	0.107	0.021	5.095	0.0245	0.734	0.580	8.0606
MED	0.118	0.03	3.687	0.0427	0.562	0.570	12.676
MAX	0.100	0.04	2.469	0.0608	0.444	0.580	15.028

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.3-. Medición de caudales con compuerta para Motobomba “HUMBOLDT” 3 plg. 7.5 HP.

MOTOBOMBA MEBA 4 PLG. 13 HP

ACE.	y1c(m)	a(m.)	y1/a	I (m.)	Cc	Cd	Caudal (l/s)
MIN.	0.115	0.04	2.805	0.0600	0.466	0.56	15.7525
MED.	0.163	0.06	3.019	0.0729	0.549	0.57	25.1415
MAX.	0.176	0.07	2.708	0.0939	0.479	0.55	30.7846

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.4 -. Medición de caudales con compuerta para Motobomba “MEBA” 4 plg. 13 HP.

Las tablas mostradas para la medición de caudales por medio de compuerta se realizaron como ya se mencionó anteriormente para cada prueba experimental realizada durante el desarrollo de este proyecto de investigación. Estas pruebas mencionadas en esta parte son pruebas realizadas previas al desarrollo del proyecto para conocer con mayor exactitud el desenvolvimiento de las bombas y hacer que su control en el periodo de pruebas sea más ágil y eficiente.

Con estas dos maneras de medición de caudales se pudo conocer con exactitud la cantidad de caudal que suministra cada bomba en función a su aceleración.

4.1.3. Cálculo de velocidades

Se calcularon velocidades medias teniendo como datos los tirantes medidos junto con la medida de la base del canal y el caudal medido anteriormente para la compuerta, de esta manera con estos datos y con ayuda de la fórmula del número de Froude se pudo encontrar el valor de estas velocidades medias. Las fórmulas utilizadas para este cálculo se mencionan a continuación:

$$Fr = \frac{q_{unit}}{\sqrt{gy^3}}$$

$$V = Fr * \sqrt{gy}$$

Dónde:

- Fr = Numero de Froude
- q_{unit} = Caudal unitario
- g = Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)
- y = Tirante o altura de carga (m)
- V = Velocidad media (m/seg)

También se calculó el efecto del tirante " y_p " en el cálculo de la velocidad, el cual fue calculado de la siguiente manera:

$$E_c = E_{y_p}$$

$$\Delta Z + 1.5y_{critico} = y_p + \frac{V_{y_p}^2}{2g}$$

$$V_{y_p} = \sqrt{2g(\Delta Z + 1.5y_{critico} - y_p)}$$

Dónde:

- ΔZ = Altura de la caída (m)
- g = Aceleración de la gravedad (m/seg^2 .)
- y_p = Tirante de la pared de la caída (m)
- V_{y_p} = Velocidad media " y_p " (m/seg)

4.2. Datos obtenidos en campaña experimental

En el desarrollo de la campaña experimental se obtuvieron las siguientes variables:

- Tirante aguas arriba de la caída " y_0 " a 0.75 m. del borde de la caída vertical
- Tirante de la caída " $y_{caída}$ " ubicado en el borde de la caída vertical
- Tirante de la pared de la caída " y_p "
- Tirantes conjugado " y_1 " aguas abajo del canal
- Longitud del chorro " L_d "
- Angulo " β " que forma el chorro con el tirante de la piscina

La medida de cada una de las distintas variables mencionadas anteriormente se realizaron en la parte media del canal y se realizaron 3 medidas para cada una, así de esta manera tener una medida más precisa de cada variable en función al promedio de estas.

4.3. Modelación o caracterización hidráulica

Conforme a lo presentado en el marco teórico se realizara el siguiente estudio teniendo en cuenta los siguientes puntos:

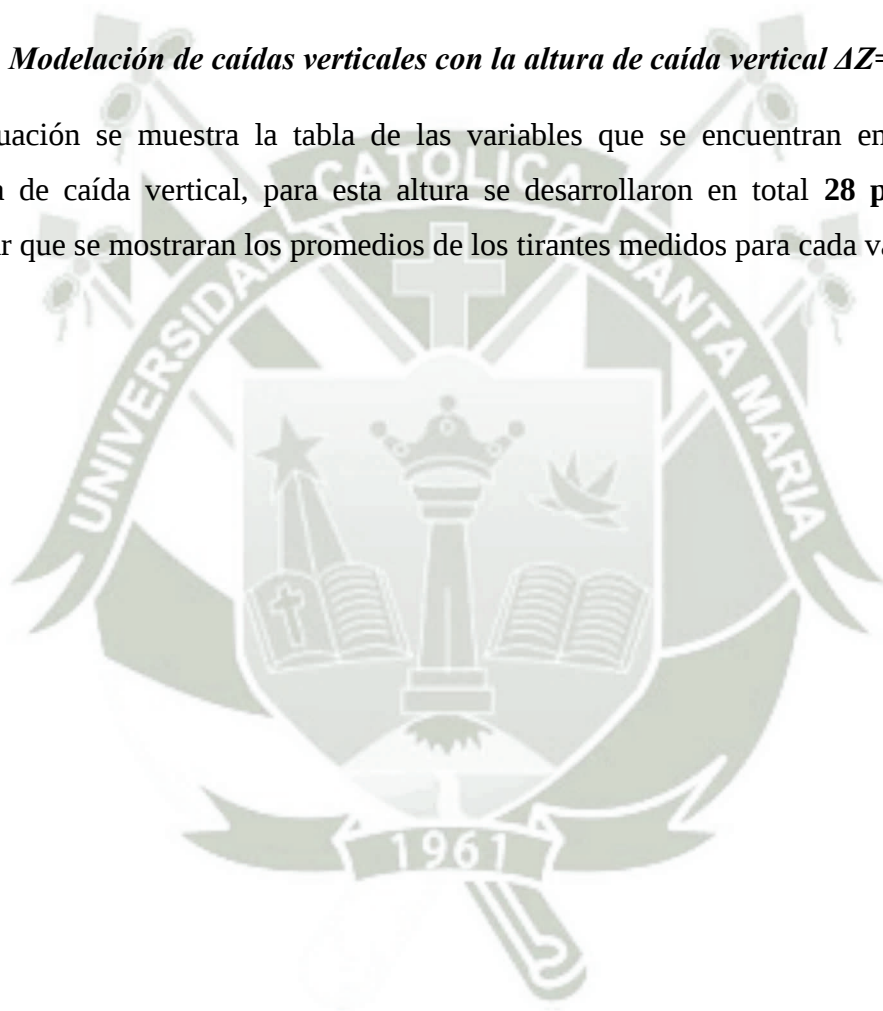
- Pruebas experimentales con distintas alturas de caídas verticales " ΔZ " (0.149 m., 0.20 m., 0.25 m., 0.30 m., 0.35 m., 0.40 m., 0.45 m., 0.50 metros).

- Pruebas experimentales con las alturas mencionadas anteriormente para caídas verticales **SIN VENTILACION**.
- Pruebas experimentales con alturas de caída vertical " ΔZ " (0.30 m., 0.35 m., 0.40 m., 0.45 m., 0.50 metros) **CON VENTILACION**.

4.3.1. Modelación de caídas verticales sin ventilación

4.3.1.1. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.149$ metros

- A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **28 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.



PRUEBA	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld(cm.)	β°
#1	14.900	11.935	4.250	3.217	7.433	1.533	15.067	45
#2	14.900	14.984	5.533	3.427	7.583	2.100	15.733	43
#3	14.900	12.101	5.333	2.900	7.100	2.033	15.267	44
#4	14.900	15.047	5.533	3.367	7.750	1.767	16.067	43
#5	14.900	10.288	4.367	3.433	7.577	1.533	15.300	44
#6	14.900	11.526	4.033	2.633	6.267	1.650	15.033	45
#7	14.900	12.680	5.033	2.967	7.133	2.167	15.367	44
#8	14.900	13.588	5.067	3.167	6.367	2.267	15.533	44
#9	14.900	15.354	5.500	3.567	7.633	2.367	16.133	43
#10	14.900	15.732	5.633	3.600	7.933	2.367	16.200	43
#11	14.900	10.802	4.500	2.733	6.633	1.500	14.967	45
#12	14.900	14.138	5.300	3.533	7.633	2.333	15.433	44
#13	14.900	14.768	5.333	3.533	7.700	2.133	15.567	44
#14	14.900	17.259	6.233	3.733	9.033	2.533	16.133	43
#15	14.900	21.655	6.767	4.467	9.667	2.633	20.133	37
#16	14.900	21.281	7.533	4.600	10.900	3.000	18.167	39
#17	14.900	10.541	5.167	3.100	7.600	1.633	15.067	45
#18	14.900	27.902	7.333	5.300	14.033	3.167	18.200	39
#19	14.900	20.009	6.733	4.667	10.133	2.767	17.967	40
#20	14.900	31.862	7.967	6.333	14.900	4.000	20.833	36
#21	14.900	35.194	8.633	6.433	14.900	4.100	23.033	33
#22	14.900	28.042	7.800	5.433	11.567	3.233	20.767	36
#23	14.900	40.477	9.333	6.467	14.900	4.333	24.267	32
#24	14.900	43.603	10.200	6.933	14.900	5.933	25.133	31
#25	14.900	52.726	11.600	8.833	14.900	6.067	28.400	28
#26	14.900	57.595	11.967	8.967	14.900	7.033	33.800	24
#27	14.900	52.078	12.000	8.767	14.900	6.867	33.667	24
#28	14.900	60.287	12.433	9.167	14.900	7.267	34.200	24

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.5-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.149$ metros..

PRUEBA	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	ycrit (cm.)	Vyp (m/s)	V1(m/s)	Ecrit (m.)	E1(m.)	ΔE (m.)
#1	14.900	11.935	4.114	1.633	1.701	0.211	0.163	0.047
#2	14.900	14.984	4.787	1.684	1.560	0.221	0.145	0.075
#3	14.900	12.101	4.151	1.656	1.301	0.211	0.107	0.104
#4	14.900	15.047	4.800	1.675	1.862	0.221	0.195	0.026
#5	14.900	10.288	3.726	1.589	1.467	0.205	0.125	0.080
#6	14.900	11.526	4.019	1.693	1.527	0.209	0.136	0.074
#7	14.900	12.680	4.283	1.666	1.279	0.213	0.105	0.108
#8	14.900	13.588	4.485	1.728	1.310	0.216	0.110	0.106
#9	14.900	15.354	4.866	1.688	1.418	0.222	0.126	0.095
#10	14.900	15.732	4.945	1.677	1.453	0.223	0.132	0.092
#11	14.900	10.802	3.849	1.657	1.574	0.207	0.142	0.065
#12	14.900	14.138	4.605	1.665	1.324	0.218	0.113	0.105
#13	14.900	14.768	4.741	1.673	1.513	0.220	0.138	0.082
#14	14.900	17.259	5.260	1.640	1.489	0.228	0.139	0.089
#15	14.900	21.655	6.119	1.679	1.798	0.241	0.192	0.049
#16	14.900	21.281	6.049	1.599	1.551	0.240	0.153	0.087
#17	14.900	10.541	3.787	1.593	1.411	0.206	0.118	0.088
#18	14.900	27.902	7.246	1.515	1.926	0.258	0.221	0.036
#19	14.900	20.009	5.805	1.623	1.581	0.236	0.155	0.081
#20	14.900	31.862	7.916	1.524	1.741	0.268	0.195	0.073
#21	14.900	35.194	8.459	1.575	1.876	0.276	0.221	0.055
#22	14.900	28.042	7.270	1.669	1.896	0.258	0.216	0.042
#23	14.900	40.477	9.285	1.650	2.042	0.288	0.257	0.032
#24	14.900	43.603	9.757	1.692	1.606	0.295	0.191	0.104
#25	14.900	52.726	11.075	1.802	1.900	0.315	0.245	0.070
#26	14.900	57.595	11.747	1.856	1.790	0.325	0.234	0.091
#27	14.900	52.078	10.984	1.795	1.658	0.314	0.209	0.105
#28	14.900	60.287	12.110	1.885	1.813	0.331	0.241	0.090

Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.6-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.149$ m..

- Como se puede observar en la Tabla 4.4 la caída vertical comienza a ahogarse a partir de aproximadamente los 30 lt/seg, es en esta situación donde la altura del tirante " y_p " a partir de la altura mencionada toma el valor de la altura de la caída " ΔZ ".
- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre n 22 a un 45%.
- A continuación, se mostrarán fotografías las cuales muestran el cambio de la caída vertical según el cambio del caudal al que se sometió la caída vertical a la altura ya mencionada en esta fase.
- Para el caso del Angulo " β " para la caída vertical ahogada, su valor se determina con el Angulo que forma la trayectoria de caída del chorro con la base del canal modular aguas abajo.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.6.- Apreciación de los perfiles de la caída vertical no ahogada (izquierda), y cuando esta se encuentra ahogada (derecha) para la altura $\Delta Z=0.149\text{m}$.

4.3.1.2. *Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.200$ metros*

A continuación, se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **19 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.



PRUEBA	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	20.000	9.325	4.200	2.700	7.267	0.953	19.567	46
#2	20.000	12.396	4.967	2.667	7.967	1.233	19.433	46
#3	20.000	13.859	5.467	2.867	8.833	1.367	21.000	44
#4	20.000	14.811	5.467	3.333	9.500	1.467	22.467	42
#5	20.000	15.090	5.733	3.600	9.067	1.667	22.833	41
#6	20.000	9.810	4.567	2.833	7.367	1.000	19.733	45
#7	20.000	10.771	4.667	2.633	7.600	1.133	19.633	46
#8	20.000	13.740	5.167	3.033	8.567	1.367	19.567	46
#9	20.000	14.853	5.500	3.767	9.367	1.567	21.633	43
#10	20.000	11.535	4.567	2.533	7.900	1.267	19.900	45
#11	20.000	25.372	7.767	4.933	13.733	3.233	21.533	43
#12	20.000	18.134	6.467	3.800	12.733	1.900	17.667	52
#13	20.000	30.550	8.167	5.433	20.000	3.367	22.033	45
#14	20.000	34.015	8.700	5.400	20.000	3.800	23.000	44
#15	20.000	39.685	9.367	6.233	20.000	4.267	26.000	41
#16	20.000	44.410	9.900	6.900	20.000	4.933	26.767	40
#17	20.000	56.490	12.233	8.000	20.000	5.933	33.733	34
#18	20.000	54.014	11.700	7.800	20.000	5.867	34.900	33
#19	20.000	60.053	12.633	8.433	20.000	6.233	36.033	32

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla4.7-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.200$ metros..

PRUEBA	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	ΔE
#1	20.000	9.325	3.489	1.874	2.138	0.252	0.243	0.009
#2	20.000	12.396	4.219	1.895	2.197	0.263	0.259	0.004
#3	20.000	13.859	4.544	1.875	2.217	0.268	0.265	0.003
#4	20.000	14.811	4.750	1.857	2.207	0.271	0.264	0.007
#5	20.000	15.090	4.810	1.884	1.979	0.272	0.217	0.055
#6	20.000	9.810	3.609	1.879	2.144	0.254	0.245	0.009
#7	20.000	10.771	3.841	1.885	2.077	0.258	0.232	0.026
#8	20.000	13.740	4.518	1.887	2.198	0.268	0.261	0.007
#9	20.000	14.853	4.759	1.864	2.072	0.271	0.235	0.036
#10	20.000	11.535	4.021	1.883	1.990	0.260	0.215	0.045
#11	20.000	25.372	6.801	1.795	1.715	0.302	0.183	0.119
#12	20.000	18.134	5.437	1.737	2.086	0.282	0.242	0.040
#13	20.000	30.550	7.697	1.503	1.983	0.315	0.235	0.081
#14	20.000	34.015	8.269	1.557	1.957	0.324	0.234	0.090
#15	20.000	39.685	9.164	1.640	2.033	0.337	0.254	0.083
#16	20.000	44.410	9.877	1.702	1.968	0.348	0.247	0.101
#17	20.000	56.490	11.596	1.844	2.081	0.374	0.281	0.093
#18	20.000	54.014	11.254	1.817	2.012	0.369	0.266	0.103
#19	20.000	60.053	12.078	1.882	2.106	0.381	0.289	0.092

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.8-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.200$ m..

- Como se puede observar en la Tabla 4.6 la caída vertical comienza a ahogarse a partir de aproximadamente los 30 lt/seg, es en esta situación donde el altura del tirante " y_p " a partir de la altura mencionada toma el valor de la altura de la caída " ΔZ ".
- A continuación se mostraran fotografías las cuales muestran el cambio de la caída vertical según el cambio del caudal al que se sometió la caída vertical a la altura ya mencionada en esta fase.
- Para el caso del Angulo " β " para la caída vertical ahogada, su valor se determina con el Angulo que forma la trayectoria de caída del chorro con la base del canal modular aguas abajo.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.7-. Apreciación de los perfiles de la caída vertical no ahogada (izquierda), y cuando esta se encuentra ahogada (derecha) para la altura $\Delta Z=0.200$ m.

4.3.1.3. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.250$ metros

A continuación, se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **20 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	25.000	10.140	4.200	2.700	7.267	0.953	19.567	52
#2	25.000	12.396	4.967	2.667	7.967	1.200	19.433	52
#3	25.000	13.859	5.467	2.867	8.833	1.267	21.000	50
#4	25.000	14.811	5.467	3.333	9.500	1.367	22.467	48
#5	25.000	15.090	5.733	3.600	9.067	1.467	22.833	48
#6	25.000	10.365	4.567	2.833	7.367	1.000	19.733	52
#7	25.000	10.771	4.667	2.633	7.600	1.133	19.633	52
#8	25.000	13.740	5.167	3.033	8.567	1.300	19.567	52
#9	25.000	14.853	5.500	3.767	9.367	1.567	21.633	49
#10	25.000	11.535	4.567	2.533	7.900	1.267	19.900	51
#11	25.000	17.395	5.900	4.167	10.333	1.667	25.767	43
#12	25.000	21.584	6.767	4.500	11.333	1.900	27.633	43
#13	25.000	27.863	7.467	5.467	12.467	2.900	28.800	40
#14	25.000	28.885	7.833	5.600	13.000	2.967	30.067	40
#15	25.000	34.460	8.433	5.900	14.000	3.233	30.633	39
#16	25.000	35.897	8.767	6.500	14.367	3.567	32.167	39
#17	25.000	39.337	9.667	6.767	15.767	3.933	33.467	36
#18	25.000	49.372	10.633	7.700	16.833	4.600	37.833	32
#19	25.000	57.718	11.900	8.833	17.967	5.533	39.167	30
#20	25.000	66.764	13.833	9.633	19.800	6.933	42.733	25

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.9-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.250$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	Ecrit (m.)	E1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E1$ (m.)
#1	25.000	10.140	3.690	2.133	2.325	0.305	0.286	0.019
#2	25.000	12.396	4.219	2.137	2.258	0.313	0.273	0.041
#3	25.000	13.859	4.544	2.120	2.392	0.318	0.305	0.013
#4	25.000	14.811	4.750	2.103	2.369	0.321	0.301	0.021
#5	25.000	15.090	4.810	2.128	2.249	0.322	0.273	0.049
#6	25.000	10.365	3.744	2.132	2.266	0.306	0.272	0.034
#7	25.000	10.771	3.841	2.128	2.077	0.308	0.232	0.076
#8	25.000	13.740	4.518	2.131	2.310	0.318	0.286	0.032
#9	25.000	14.853	4.759	2.110	2.072	0.321	0.235	0.086
#10	25.000	11.535	4.021	2.127	1.990	0.310	0.215	0.095
#11	25.000	17.395	5.288	2.102	2.281	0.329	0.283	0.047
#12	25.000	21.584	6.106	2.113	2.483	0.342	0.334	0.007
#13	25.000	27.863	7.239	2.139	2.100	0.359	0.255	0.104
#14	25.000	28.885	7.415	2.126	2.128	0.361	0.261	0.100
#15	25.000	34.460	8.341	2.144	2.330	0.375	0.310	0.065
#16	25.000	35.897	8.571	2.143	2.200	0.379	0.283	0.095
#17	25.000	39.337	9.110	2.116	2.186	0.387	0.284	0.103
#18	25.000	49.372	10.600	2.169	2.346	0.409	0.327	0.082
#19	25.000	57.718	11.763	2.197	2.280	0.426	0.321	0.105
#20	25.000	66.764	12.962	2.195	2.105	0.444	0.296	0.149

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.10-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.250$ m..

- En esta altura de caída no se presenta ahogamiento, por lo cual la medida del ángulo " β " será mas precisa
- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre n 10 a un 33%.
- Debido al diseño del volado para la mejor vista de las distintas variables de la caída, no se pudo agregar la ventilación a esta altura por lo que a partir de la altura de 0.30m. se pudo realizar el tipo de pruebas previamente señaladas.
- A continuación se mostraran fotografías las cuales muestran el cambio de la caída vertical según el cambio del caudal al que se sometió la caída vertical a la altura ya mencionada en esta fase.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.8-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.250$ m.

4.3.1.4. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.300$ metros

A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **17 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	30.000	9.347	4.133	2.133	6.850	1.367	20.333	55
#2	30.000	10.680	4.567	2.500	8.133	1.200	20.733	55
#3	30.000	11.526	4.733	3.100	8.567	1.333	21.300	54
#4	30.000	12.631	5.133	3.233	8.567	1.467	21.933	53
#5	30.000	13.471	5.300	3.367	8.900	1.767	24.000	51
#6	30.000	14.081	5.433	3.000	9.233	1.733	24.767	50
#7	30.000	14.125	5.467	3.600	9.467	1.867	25.000	49
#8	30.000	10.476	4.660	2.700	7.533	1.300	20.233	55
#9	30.000	12.090	5.033	2.833	7.700	1.500	22.033	53
#10	30.000	14.256	5.533	3.467	9.333	1.900	25.000	53
#11	30.000	19.833	6.367	4.200	11.900	1.700	27.267	47
#12	30.000	22.132	7.000	4.733	12.733	2.100	28.733	45
#13	30.000	26.420	7.533	4.933	13.233	3.000	30.433	49
#14	30.000	28.132	7.900	5.367	15.767	3.033	31.133	40
#15	30.000	34.463	8.667	6.000	14.667	3.667	34.233	41
#16	30.000	42.299	9.933	6.900	16.567	4.033	37.600	38
#17	30.000	61.809	12.467	8.967	19.167	5.867	43.500	36

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.11-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.300$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E_1$ (m.)
#1	30.000	9.347	3.495	2.356	1.495	0.352	0.128	0.224
#2	30.000	10.680	3.820	2.323	1.945	0.357	0.206	0.152
#3	30.000	11.526	4.019	2.317	1.890	0.360	0.196	0.164
#4	30.000	12.631	4.272	2.333	1.882	0.364	0.196	0.168
#5	30.000	13.471	4.459	2.331	1.667	0.367	0.160	0.207
#6	30.000	14.081	4.593	2.326	1.776	0.369	0.179	0.190
#7	30.000	14.125	4.602	2.316	1.654	0.369	0.159	0.210
#8	30.000	10.476	3.771	2.345	1.761	0.357	0.172	0.185
#9	30.000	12.090	4.149	2.362	1.762	0.362	0.174	0.189
#10	30.000	14.256	4.631	2.324	1.640	0.369	0.157	0.213
#11	30.000	19.833	5.771	2.287	2.550	0.387	0.350	0.037
#12	30.000	22.132	6.209	2.280	2.304	0.393	0.292	0.101
#13	30.000	26.420	6.987	2.308	1.925	0.405	0.219	0.185
#14	30.000	28.132	7.285	2.218	2.027	0.409	0.240	0.169
#15	30.000	34.463	8.341	2.334	2.054	0.425	0.252	0.173
#16	30.000	42.299	9.562	2.331	2.292	0.443	0.309	0.134
#17	30.000	61.809	12.313	2.394	2.303	0.485	0.330	0.155

Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.12-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.300$ m..

- Es a partir de esta altura donde se pueden notar las diferencias entre la caída ventilada y no ventilada, estas diferencias serán explicadas más adelante.
- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 25 a un 50%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.300$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.9-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.300$ m.

4.3.1.5. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.350$ metros

A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **18 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	35.000	9.225	4.433	2.367	9.233	1.167	15.433	66
#2	35.000	12.017	4.833	2.633	10.167	1.467	18.933	62
#3	35.000	10.276	4.467	2.300	9.400	1.267	16.233	65
#4	35.000	13.588	5.167	3.433	11.267	1.833	20.067	60
#5	35.000	13.717	5.467	3.367	11.633	1.733	20.067	60
#6	35.000	10.748	4.633	2.433	10.267	1.167	19.333	61
#7	35.000	15.302	5.633	3.300	11.767	1.600	20.733	59
#8	35.000	17.011	6.300	3.700	12.900	1.867	21.567	58
#9	35.000	21.376	6.733	4.500	14.233	2.067	23.500	56
#10	35.000	23.202	7.100	4.700	15.867	2.367	23.667	56
#11	35.000	28.162	7.667	4.733	17.100	3.033	24.767	55
#12	35.000	25.435	7.187	3.500	11.867	2.467	20.600	60
#13	35.000	29.738	7.600	5.700	17.667	3.267	23.900	56
#14	35.000	30.311	9.500	5.500	18.367	3.267	23.133	57
#15	35.000	39.299	9.667	6.500	21.500	3.767	25.133	54
#16	35.000	37.614	9.500	6.700	21.500	3.833	28.367	51
#17	35.000	40.534	9.933	6.700	21.267	3.767	31.367	48
#18	35.000	65.095	13.667	9.933	22.567	5.667	49.200	35

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.13-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.350$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E_1$ (m.)
#1	35.000	9.225	3.464	2.461	1.728	0.402	0.164	0.238
#2	35.000	12.017	4.132	2.463	1.791	0.412	0.179	0.233
#3	35.000	10.276	3.723	2.469	1.773	0.406	0.173	0.232
#4	35.000	13.588	4.485	2.441	1.620	0.417	0.153	0.265
#5	35.000	13.717	4.513	2.428	1.730	0.418	0.170	0.247
#6	35.000	10.748	3.836	2.442	2.014	0.408	0.219	0.189
#7	35.000	15.302	4.855	2.443	2.090	0.423	0.239	0.183
#8	35.000	17.011	5.210	2.419	1.992	0.428	0.222	0.207
#9	35.000	21.376	6.067	2.417	2.261	0.441	0.282	0.159
#10	35.000	23.202	6.407	2.371	2.143	0.446	0.258	0.188
#11	35.000	28.162	7.291	2.375	2.029	0.459	0.241	0.218
#12	35.000	25.435	6.812	2.554	2.254	0.452	0.284	0.168
#13	35.000	29.738	7.560	2.368	1.990	0.463	0.235	0.228
#14	35.000	30.311	7.657	2.345	2.028	0.465	0.243	0.222
#15	35.000	39.299	9.104	2.304	2.281	0.487	0.304	0.183
#16	35.000	37.614	8.842	2.288	2.145	0.483	0.274	0.209
#17	35.000	40.534	9.294	2.326	2.352	0.489	0.321	0.169
#18	35.000	65.095	12.745	2.484	2.511	0.541	0.379	0.162

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.14-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.350$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 30 a un 54%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.350$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.10-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.350$ m.

4.3.1.6. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.400$ metros

A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **17 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	40.000	10.242	4.600	2.667	8.367	1.133	19.867	64
#2	40.000	13.197	5.200	3.033	11.500	1.300	21.267	62
#3	40.000	15.015	5.467	3.100	11.667	1.367	22.500	61
#4	40.000	11.210	4.700	2.800	10.200	0.833	20.067	63
#5	40.000	18.265	6.367	4.033	14.333	1.500	22.467	61
#6	40.000	40.002	9.733	6.700	20.500	2.933	30.033	53
#7	40.000	21.743	6.700	4.500	15.533	1.933	23.100	60
#8	40.000	23.105	7.267	4.600	15.900	1.700	24.133	59
#9	40.000	26.470	7.567	5.000	17.400	1.967	24.500	59
#10	40.000	29.249	8.533	5.533	17.767	2.200	26.433	57
#11	40.000	31.632	8.800	5.717	19.500	2.400	26.300	57
#12	40.000	32.869	8.900	5.867	19.800	2.600	26.500	56
#13	40.000	34.128	8.933	5.800	20.367	2.900	27.567	55
#14	40.000	36.158	9.600	6.133	20.867	3.067	28.433	48
#15	40.000	38.023	9.367	6.733	18.600	3.833	38.967	47
#16	40.000	62.788	12.467	9.000	22.467	4.967	46.100	38
#17	40.000	59.115	11.967	8.633	22.900	4.767	48.033	39
#18	40.000	55.499	11.467	7.567	20.900	5.067	44.433	42
#19	40.000	50.104	10.733	6.967	19.467	4.567	42.033	46

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

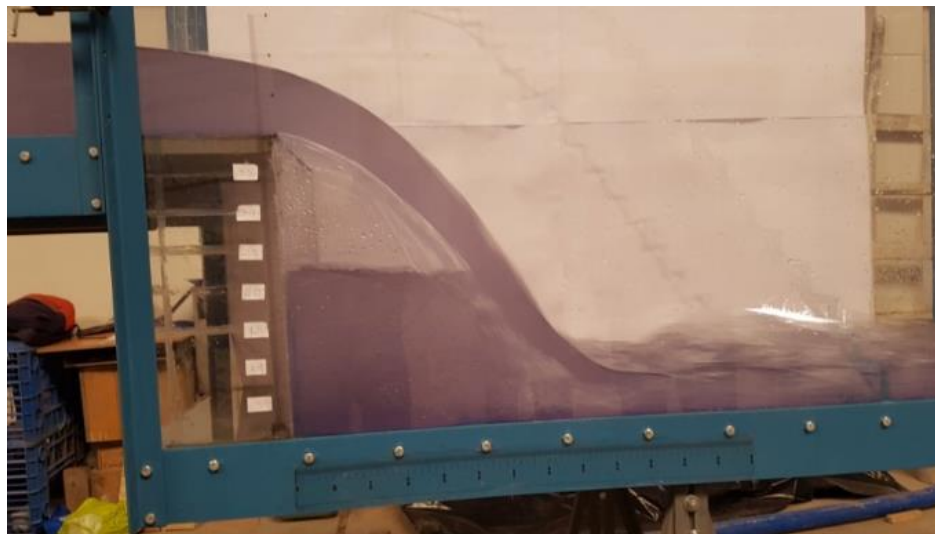
Tabla 4.15-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.400$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E_1$ (m.)
#1	40.000	10.242	3.715	2.697	1.975	0.456	0.211	0.245
#2	40.000	13.197	4.399	2.620	2.219	0.466	0.265	0.201
#3	40.000	15.015	4.794	2.636	2.402	0.472	0.309	0.163
#4	40.000	11.210	3.945	2.643	2.940	0.459	0.450	0.009
#5	40.000	18.265	5.463	2.573	2.662	0.482	0.377	0.105
#6	40.000	40.002	9.212	2.553	2.981	0.538	0.484	0.055
#7	40.000	21.743	6.136	2.566	2.458	0.492	0.328	0.164
#8	40.000	23.105	6.389	2.567	2.971	0.496	0.468	0.028
#9	40.000	26.470	6.996	2.544	2.942	0.505	0.462	0.043
#10	40.000	29.249	7.477	2.558	2.906	0.512	0.454	0.058
#11	40.000	31.632	7.878	2.514	2.881	0.518	0.448	0.070
#12	40.000	32.869	8.082	2.514	2.763	0.521	0.416	0.105
#13	40.000	34.128	8.287	2.504	2.572	0.524	0.367	0.157
#14	40.000	36.158	8.612	2.504	2.577	0.529	0.370	0.159
#15	40.000	38.023	8.906	2.607	2.168	0.534	0.279	0.255
#16	40.000	62.788	12.443	2.661	2.763	0.587	0.440	0.147
#17	40.000	59.115	11.952	2.617	2.711	0.579	0.423	0.156
#18	40.000	55.499	11.460	2.664	2.394	0.572	0.344	0.228
#19	40.000	50.104	10.705	2.675	2.398	0.561	0.340	0.221

Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.16-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.400$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 30 a un 54%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.400$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.11-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.400$ m.

4.3.1.7. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.450$ metros

A continuación, se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **19 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	45.000	9.890	4.367	2.133	8.533	0.767	22.633	63
#2	45.000	11.473	4.900	2.500	9.500	0.867	25.367	60
#3	45.000	12.823	5.067	2.867	10.233	1.133	25.667	60
#4	45.000	13.596	5.167	2.933	10.967	1.267	27.367	58
#5	45.000	14.763	5.467	3.133	10.967	1.367	27.667	58
#6	45.000	15.118	5.867	3.267	12.500	1.467	26.600	59
#7	45.000	19.509	6.533	3.733	13.867	1.800	26.567	59
#8	45.000	21.584	6.733	4.067	14.933	2.167	27.867	58
#9	45.000	23.908	7.433	4.667	16.133	2.367	28.433	57
#10	45.000	26.563	7.500	4.933	16.067	2.500	29.733	56
#11	45.000	28.646	8.000	5.400	17.533	2.767	30.467	56
#12	45.000	31.417	8.500	5.533	17.600	2.933	31.133	55
#13	45.000	33.311	8.533	6.033	19.200	3.200	32.267	54
#14	45.000	35.626	9.200	6.600	19.400	3.400	32.300	54
#15	45.000	36.481	9.967	6.500	19.000	3.833	33.967	53
#16	45.000	38.638	9.367	6.700	19.867	3.467	40.100	51
#17	45.000	47.772	10.433	7.033	22.733	4.533	39.467	50
#18	45.000	56.628	11.700	7.833	25.900	4.867	40.367	36
#19	45.000	60.003	12.267	8.400	23.300	5.533	46.267	39

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.17-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.450$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E_1$ (m.)
#1	45.000	9.890	3.629	2.863	2.820	0.504	0.414	0.090
#2	45.000	11.473	4.007	2.849	2.894	0.510	0.437	0.073
#3	45.000	12.823	4.315	2.840	2.473	0.515	0.324	0.191
#4	45.000	13.596	4.487	2.823	2.346	0.517	0.294	0.223
#5	45.000	14.763	4.740	2.837	2.361	0.521	0.299	0.222
#6	45.000	15.118	4.816	2.787	2.253	0.522	0.274	0.248
#7	45.000	19.509	5.708	2.786	2.369	0.536	0.305	0.231
#8	45.000	21.584	6.106	2.770	2.177	0.542	0.264	0.277
#9	45.000	23.908	6.537	2.750	2.208	0.548	0.273	0.275
#10	45.000	26.563	7.012	2.778	2.322	0.555	0.301	0.254
#11	45.000	28.646	7.374	2.745	2.263	0.561	0.290	0.271
#12	45.000	31.417	7.842	2.767	2.341	0.568	0.310	0.258
#13	45.000	33.311	8.154	2.727	2.275	0.572	0.297	0.276
#14	45.000	35.626	8.528	2.740	2.290	0.578	0.302	0.276
#15	45.000	36.481	8.664	2.761	2.080	0.580	0.260	0.320
#16	45.000	38.638	9.002	2.749	2.436	0.585	0.338	0.247
#17	45.000	47.772	10.370	2.720	2.303	0.606	0.317	0.289
#18	45.000	56.628	11.615	2.672	2.543	0.624	0.379	0.245
#19	45.000	60.003	12.072	2.790	2.370	0.631	0.343	0.288

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.18-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.450$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 40 a un 56%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.450$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.12-. Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.450$ m.

4.3.1.8. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z = 0.500$ metros

- A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **19 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	50.000	17.138	6.033	3.433	13.933	1.200	25.867	63
#2	50.000	21.592	6.567	4.333	15.500	2.067	29.500	59
#3	50.000	25.382	7.500	5.167	16.533	2.167	31.200	58
#4	50.000	27.600	7.600	5.233	17.700	2.367	32.133	57
#5	50.000	29.914	8.400	5.333	18.100	2.900	33.367	56
#6	50.000	9.889	4.433	2.667	10.833	0.667	22.233	66
#7	50.000	11.305	4.933	2.867	11.967	0.800	23.833	64
#8	50.000	12.934	5.133	3.000	12.367	0.900	25.033	63
#9	50.000	13.134	5.200	3.067	12.000	1.200	25.267	63
#10	50.000	14.024	5.500	3.367	12.800	1.467	26.067	62
#11	50.000	32.321	8.633	5.767	18.600	3.167	35.500	54
#12	50.000	36.012	9.300	6.233	19.067	3.833	36.533	54
#13	50.000	37.631	9.533	6.000	19.700	3.967	35.733	54
#14	50.000	39.503	9.533	6.367	20.033	3.967	37.633	53
#15	50.000	37.008	9.433	6.167	19.400	3.700	35.300	55
#16	50.000	56.190	11.567	8.367	26.533	4.667	39.033	49
#17	50.000	50.629	11.067	7.867	24.833	4.300	38.067	49
#18	50.000	47.735	10.567	7.600	24.233	4.067	37.500	51
#19	50.000	65.225	13.233	9.033	28.267	5.467	40.733	47

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.19-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.500$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E1$ (m.)
#1	50.000	17.138	5.236	2.931	3.122	0.579	0.510	0.068
#2	50.000	21.592	6.107	2.922	2.284	0.592	0.287	0.304
#3	50.000	25.382	6.803	2.922	2.561	0.602	0.357	0.245
#4	50.000	27.600	7.193	2.903	2.549	0.608	0.356	0.252
#5	50.000	29.914	7.590	2.909	2.255	0.614	0.289	0.325
#6	50.000	9.889	3.629	2.954	3.242	0.554	0.544	0.010
#7	50.000	11.305	3.967	2.933	3.089	0.560	0.496	0.064
#8	50.000	12.934	4.340	2.938	3.141	0.565	0.514	0.051
#9	50.000	13.134	4.384	2.953	2.392	0.566	0.305	0.261
#10	50.000	14.024	4.580	2.936	2.090	0.569	0.238	0.331
#11	50.000	32.321	7.992	2.913	2.231	0.620	0.286	0.334
#12	50.000	36.012	8.589	2.927	2.053	0.629	0.254	0.375
#13	50.000	37.631	8.845	2.919	2.074	0.633	0.260	0.373
#14	50.000	39.503	9.136	2.922	2.177	0.637	0.282	0.355
#15	50.000	37.008	8.747	2.924	2.186	0.631	0.281	0.350
#16	50.000	56.190	11.555	2.825	2.632	0.673	0.401	0.272
#17	50.000	50.629	10.779	2.843	2.574	0.662	0.382	0.280
#18	50.000	47.735	10.364	2.842	2.566	0.655	0.377	0.278
#19	50.000	65.225	12.762	2.827	2.608	0.691	0.402	0.289

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.20-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical NO VENTILADA $\Delta Z=0.500$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 41 a un 58%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.500$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.13--. **Apreciación del perfil la caída vertical NO VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.500$ m.**

4.3.2. Modelación de caídas verticales con ventilación

4.3.2.1. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.300$ metros

A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **10 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	30.000	11.913	4.667	2.900	8.067	1.033	21.333	53
#2	30.000	15.028	5.633	3.267	9.033	1.300	24.733	50
#3	30.000	20.293	6.500	4.333	11.033	1.667	25.333	47
#4	30.000	22.132	6.967	5.000	11.700	2.433	30.033	45
#5	30.000	26.420	7.533	4.967	12.033	2.967	31.700	43
#6	30.000	29.155	8.000	5.800	13.233	2.933	33.667	42
#7	30.000	34.463	8.667	6.000	13.533	3.333	33.133	41
#8	30.000	42.299	9.933	7.000	15.333	4.167	38.467	37
#9	30.000	61.809	12.533	8.867	17.967	5.967	44.267	34
#10	30.000	51.955	11.400	7.967	17.233	5.033	42.967	33

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.21-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.300$ metros..

ENS .	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E_1$ (m.)
#1	30.000	11.913	4.108	2.344	2.520	0.362	0.335	0.027
#2	30.000	15.028	4.797	2.347	2.527	0.372	0.339	0.032
#3	30.000	20.293	5.860	2.330	2.661	0.388	0.379	0.009
#4	30.000	22.132	6.209	2.324	1.988	0.393	0.226	0.167
#5	30.000	26.420	6.987	2.359	1.947	0.405	0.223	0.181
#6	30.000	29.155	7.461	2.338	2.172	0.412	0.271	0.141
#7	30.000	34.463	8.341	2.381	2.260	0.425	0.294	0.131
#8	30.000	42.299	9.562	2.382	2.219	0.443	0.293	0.150
#9	30.000	61.809	12.313	2.442	2.264	0.485	0.322	0.163
#10	30.000	51.955	10.967	2.390	2.256	0.465	0.311	0.154

Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.22-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.300$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 7 a un 33%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.300$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.14-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.300$ m., $Q= 61.809$ l/seg.

4.3.2.2. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.350$ metros

A continuación se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **9 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	35.000	8.061	5.033	2.833	8.833	0.767	26.933	55
#2	35.000	12.676	5.467	3.467	9.667	1.000	27.167	53
#3	35.000	17.439	6.067	3.867	10.667	1.467	28.933	51
#4	35.000	22.613	6.967	4.567	12.233	1.767	33.033	47
#5	35.000	24.866	7.567	5.067	13.100	2.100	34.867	45
#6	35.000	29.352	7.867	5.467	13.767	2.533	36.900	43
#7	35.000	34.044	8.467	6.033	14.767	2.967	37.733	43
#8	35.000	42.694	9.900	6.900	16.167	3.533	42.133	40
#9	35.000	65.095	13.667	9.933	20.300	5.967	50.367	35

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.23-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.350$ metros..

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E1$ (m.)
#1	35.000	8.061	3.166	2.459	2.298	0.397	0.278	0.120
#2	35.000	12.676	4.282	2.492	2.771	0.414	0.403	0.012
#3	35.000	17.439	5.297	2.512	2.599	0.429	0.360	0.069
#4	35.000	22.613	6.298	2.510	2.798	0.444	0.418	0.027
#5	35.000	24.866	6.710	2.500	2.588	0.451	0.364	0.087
#6	35.000	29.352	7.495	2.520	2.533	0.462	0.353	0.109
#7	35.000	34.044	8.273	2.527	2.508	0.474	0.351	0.123
#8	35.000	42.694	9.621	2.551	2.641	0.494	0.392	0.102
#9	35.000	65.095	12.745	2.572	2.385	0.541	0.350	0.191

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.24-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.350$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 19 a un 35%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.350$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.15-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.350$ m. $Q= 65.095$ l/seg.

4.3.2.3. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.400$ metros

A continuación, se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **11 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	40.000	11.810	4.900	2.933	9.167	1.067	28.633	57
#2	40.000	13.747	5.167	3.367	9.600	1.067	29.400	56
#3	40.000	20.581	6.300	4.500	11.900	1.767	33.633	52
#4	40.000	24.263	7.067	4.767	12.900	2.233	35.367	50
#5	40.000	29.735	7.567	5.867	14.267	2.600	39.267	51
#6	40.000	36.151	8.633	6.467	15.267	3.167	41.133	44
#7	40.000	38.023	9.233	6.900	16.300	3.567	41.533	44
#8	40.000	62.788	12.633	8.967	20.233	5.733	50.133	39
#9	40.000	59.115	12.133	8.267	19.667	5.167	49.233	40
#10	40.000	55.499	11.600	7.700	19.400	4.800	45.200	43
#11	40.000	50.104	10.767	7.100	18.400	4.400	44.567	35

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.25-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.400$ metros..

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E1$ (m.)
#1	40.000	11.810	4.085	2.688	2.420	0.461	0.310	0.151
#2	40.000	13.747	4.520	2.696	2.817	0.468	0.416	0.051
#3	40.000	20.581	5.915	2.689	2.546	0.489	0.349	0.139
#4	40.000	24.263	6.601	2.690	2.375	0.499	0.311	0.188
#5	40.000	29.735	7.560	2.693	2.500	0.513	0.346	0.168
#6	40.000	36.151	8.611	2.713	2.495	0.529	0.350	0.179
#7	40.000	38.023	8.906	2.692	2.330	0.534	0.313	0.220
#8	40.000	62.788	12.443	2.741	2.394	0.587	0.350	0.236
#9	40.000	59.115	11.952	2.735	2.501	0.579	0.371	0.208
#10	40.000	55.499	11.460	2.718	2.527	0.572	0.375	0.197
#11	40.000	50.104	10.705	2.714	2.489	0.561	0.361	0.200

Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.26-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.400$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 25 a un 40%.
- A continuación se mostrara una fotografía la que mostrara el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.400$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.16-.Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.400$ m. $Q= 62.788$ l/seg.

4.3.2.4. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.450$ metros

A continuación, se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **10 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	45.000	10.189	4.467	2.733	9.267	0.733	28.833	60
#2	45.000	13.347	5.100	3.267	10.333	1.167	31.333	57
#3	45.000	20.604	6.300	4.067	12.733	1.500	35.900	54
#4	45.000	24.802	29.133	4.767	13.733	1.767	37.367	52
#5	45.000	28.322	7.533	5.100	14.767	2.533	40.067	51
#6	45.000	30.785	7.967	5.433	15.233	2.867	40.867	49
#7	45.000	38.638	9.433	6.200	17.467	3.533	44.467	52
#8	45.000	47.772	10.467	7.033	18.800	4.100	47.967	43
#9	45.000	56.628	11.633	7.833	20.500	5.433	48.800	42
#10	45.000	60.003	12.367	8.467	20.900	5.767	50.567	40

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.27-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.450$ metros..

PRUEBA	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E1$ (m.)
#1	45.000	10.189	3.702	2.841	3.037	0.506	0.479	0.027
#2	45.000	13.347	4.432	2.842	2.501	0.516	0.331	0.185
#3	45.000	20.604	5.920	2.837	3.002	0.539	0.476	0.063
#4	45.000	24.802	6.699	2.842	3.069	0.550	0.499	0.051
#5	45.000	28.322	7.318	2.839	2.444	0.560	0.331	0.229
#6	45.000	30.785	7.737	2.844	2.347	0.566	0.310	0.256
#7	45.000	38.638	9.002	2.833	2.390	0.585	0.327	0.258
#8	45.000	47.772	10.370	2.858	2.547	0.606	0.373	0.233
#9	45.000	56.628	11.615	2.863	2.278	0.624	0.320	0.305
#10	45.000	60.003	12.072	2.873	2.274	0.631	0.322	0.309

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.28-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.450$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 30 a un 45%.
- A continuación, se mostrarán unas fotografías las que mostraran el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.450$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.17-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z=0.450$ m. $Q= 10.189$ l/seg (arriba), 60.003 l/seg (abajo).

4.3.2.5. Modelación de caídas verticales con la altura de caída vertical $\Delta Z=0.50$ metros

A continuación, se muestra la tabla de las variables que se encuentran en la estructura hidráulica de caída vertical, para esta altura se desarrollaron en total **11 pruebas**. Cabe mencionar que se mostraran los promedios de los tirantes medidos para cada variable.

ENS.	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y0 (cm.)	y caída (cm.)	yp (cm.)	y1 (cm.)	Ld (cm.)	β°
#1	50.000	10.893	4.733	3.233	9.333	0.833	29.867	62
#2	50.000	13.625	5.467	3.033	10.367	1.067	31.900	59
#3	50.000	18.316	6.333	3.933	11.733	1.467	33.867	56
#4	50.000	20.296	7.167	4.467	12.833	1.800	36.000	56
#5	50.000	25.993	7.933	5.300	14.333	2.433	39.067	53
#6	50.000	32.343	8.867	6.033	16.167	2.500	41.767	51
#7	50.000	37.824	9.167	6.567	17.767	3.300	43.467	50
#8	50.000	56.190	11.623	8.467	21.333	4.900	49.133	44
#9	50.000	50.629	11.067	7.867	20.200	4.533	48.067	45
#10	50.000	47.735	10.567	7.567	19.633	4.367	47.267	45
#11	50.000	65.225	13.233	9.033	22.733	5.933	53.067	41

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.29-. Variables medidas en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.500$ metros..

PRUEBA A	ΔZ (cm.)	Q (lt/seg)	y crit (cm.)	Vyp (m/s)	V1 (m/s)	E crit (m.)	E 1 (m.)	$\Delta E = E_{crit} - E_1$ (m.)
#1	50.000	10.893	3.870	3.015	2.857	0.558	0.426	0.132
#2	50.000	13.625	4.493	3.011	2.792	0.567	0.409	0.158
#3	50.000	18.316	5.473	3.015	2.730	0.582	0.396	0.186
#4	50.000	20.296	5.860	2.998	2.465	0.588	0.329	0.259
#5	50.000	25.993	6.911	3.000	2.335	0.604	0.303	0.301
#6	50.000	32.343	7.995	2.994	2.828	0.620	0.434	0.186
#7	50.000	37.824	8.875	2.984	2.505	0.633	0.354	0.279
#8	50.000	56.190	11.555	2.999	2.507	0.673	0.370	0.303
#9	50.000	50.629	10.779	2.998	2.441	0.662	0.350	0.312
#10	50.000	47.735	10.364	2.996	2.389	0.655	0.336	0.320
#11	50.000	65.225	12.762	3.013	2.403	0.691	0.355	0.337

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 4.30-. Variables de velocidad y energía en laboratorio para Caída Vertical VENTILADA $\Delta Z=0.500$ m..

- La disipación de energía entre el punto " y_0 " y " y_1 " se dio entre un 32 a un 48%.
- A continuación se mostraran unas fotografías las que mostraran el perfil del flujo hidráulico en la estructura de caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.450$ m.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 4.18-. Apreciación del perfil la caída vertical VENTILADA para la altura $\Delta Z = 0.450$ m. $Q = 25.993$ l/seg (arriba), 32.343 l/seg (abajo).

En total se realizaron un conjunto de 210 pruebas experimentales, dividiéndose en 159 pruebas de estructura de caída vertical sin ventilación y 51 pruebas de estructura de caída vertical con ventilación, permitiendo así de esta manera tener un gran universo de datos para que el análisis de datos sea más eficiente y preciso.

CAPITULO 5

ANALISIS COMPARATIVO DE DATOS OBTENIDOS EN LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL

5.1. Introducción al análisis comparativo

Se realizara el análisis comparativo de los datos obtenidos en esta campaña experimental con los demás investigadores mencionados en el Capítulo 2 subtitulo 2.2.1.1.1, la manera en la que se realizara esta comparación de datos tiene como eje principal la relación que existe entre $y_{Critico}/\Delta Z$, ya que el tirante critico depende del caudal que pasa por la zona del canal modular, en función a la relación anteriormente mencionada, se elaboraran tablas en las cuales se evaluara la manera en que varían los datos obtenidos en Laboratorio según con las ecuaciones administradas por cada investigador, así de esta manera se tendrá como final la respuesta si es que existen o no cambios en el diseño según el cambio de nivel geográfico al que se realizan los distintos ensayos, en caso existan estos, se propondrá como objetivo final de este proyecto de investigación, un nuevo diseño para las estructuras de caída vertical aplicable a zonas con alturas mayores a los 2200 m.s.n.m., para esto se tuvo en cuenta el valor de la gravedad del sitio donde se desarrollaron los ensayos, éste valor fue usado en cada ensayo realizado para este proyecto.

Se realizaran líneas de tendencia potenciales pen todos los casos, esta línea de tendencia permitirá al final conocer el valor " R^2 " mas conocido como coeficiente de correlación que nos indicara cuanto se ajustan a la línea los datos obtenidos en laboratorio y de esta manera saber si los datos obtenidos en la campaña experimental se ajustan o no al modelo, su valor oscila de entre 0 a 1 y cuanto más cerca este de 1 como ya se mencionó anteriormente el ajuste será el óptimo.

Location	City Search	Result
Result for		
Longitude:		-71.549000°
Latitude:		-16.420000°
Height: (SRTM-Model)		2278.9 m
Gravity:		9.777903 m/s²
Uncertainty 95%		+/- 0.000045 m/s ²

.Fuente: “Physikalisch-Technische Bundesanstalt” PTB, Instituto de Metrología de Alemania

Figura 5.1-. Valor de la aceleración de la gravedad del lugar donde se desarrollaron los ensayos para la investigación.

Dentro de las relaciones a comparar se encuentran:

1. $y_p/\Delta Z$ VS. $y_{critico}/\Delta Z$
2. $y_1/\Delta Z$ VS $y_{critico}/\Delta Z$
3. $L_d/\Delta Z$ VS $y_{critico}/\Delta Z$
4. $\cos\beta$ VS $y_{critico}/\Delta Z$
5. y_{caida} VS $y_{critico}$
6. $\Delta E/E_1$ VS $y_{critico}/\Delta Z$

Distintos investigadores tiene sus relaciones que fueron previamente ensayadas por cada uno de estos para su posterior publicación.

5.2. Modelación obtenida durante la experimentación

5.2.1. Según el método propuesto por Moore (1943)

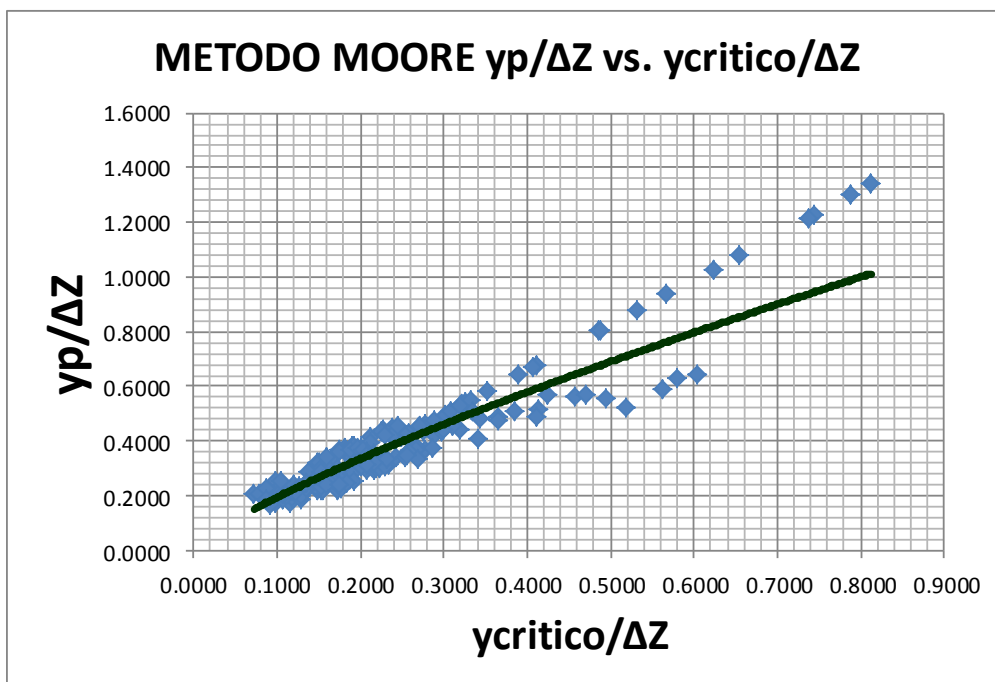
VARIABLE	MOORE (1943)
$y_p/\Delta Z$	$\sqrt{\left(\frac{y_1}{y_{critico}}\right)^2 + 2\left(\frac{y_{critico}}{y_1}\right)} - 3$

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 0.1-. Relación en caídas verticales según Moore (1943).

5.2.1.1. Para caídas verticales sin ventilación

Teniendo en cuenta la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$, se realizó un cálculo de esta para caídas no ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.

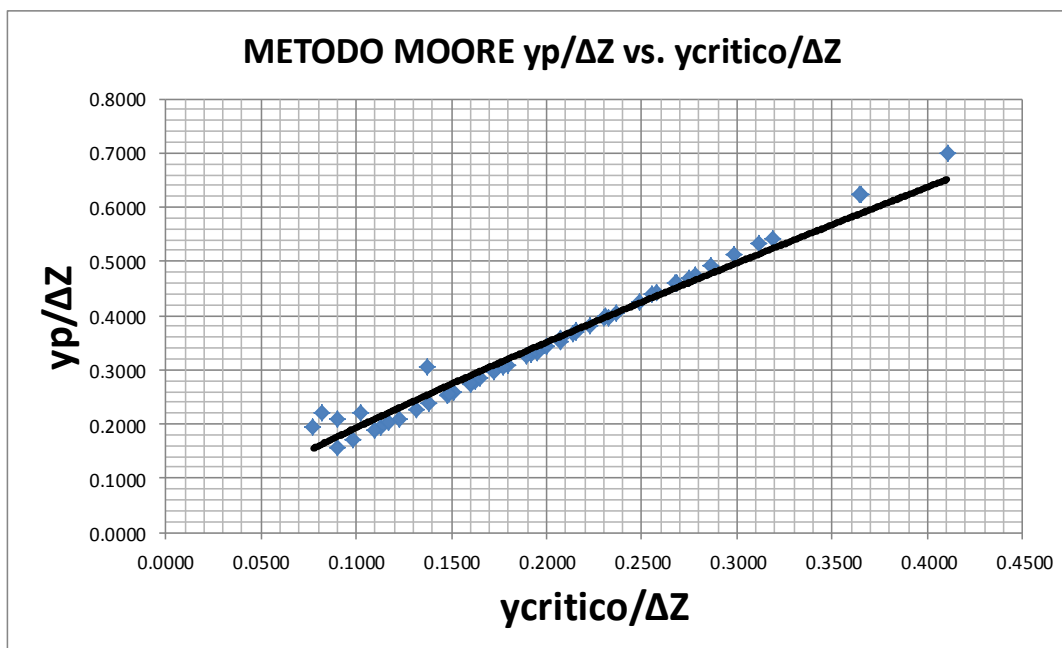


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.2-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moore (1943).

5.2.1.2. Para caídas verticales con ventilación

Teniendo en cuenta la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$, se realizó un cálculo de esta para caídas ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.3-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moore (1943).

5.2.2. Según el método propuesto por Rand (1955)

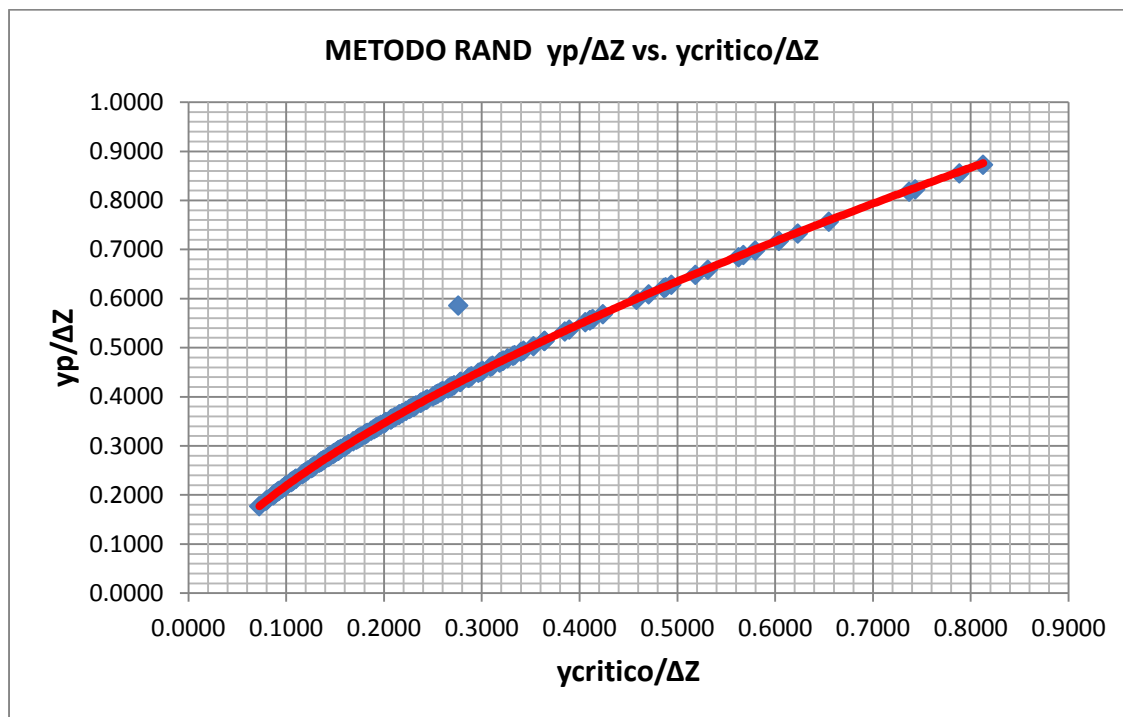
VARIABLES	RAND (1955)
$y_p/\Delta Z$	$1.00 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{0.66}$
$y_1/\Delta Z$	$0.54 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{1.275}$
$L_d/\Delta Z$	$4.30 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{0.81}$
$\cos \beta$	$\frac{1.06}{\sqrt{\frac{\Delta Z}{y_{crit}} + 1}}$

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 5.2-. Relación en caídas verticales según Rand (1955).

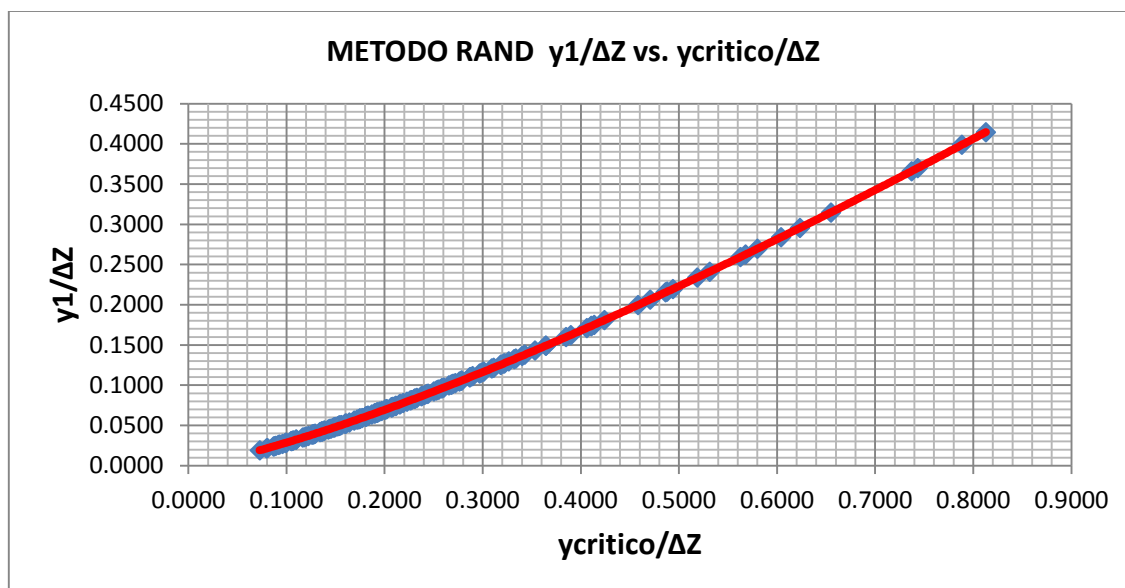
5.2.2.1. Para caídas verticales sin ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas no ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



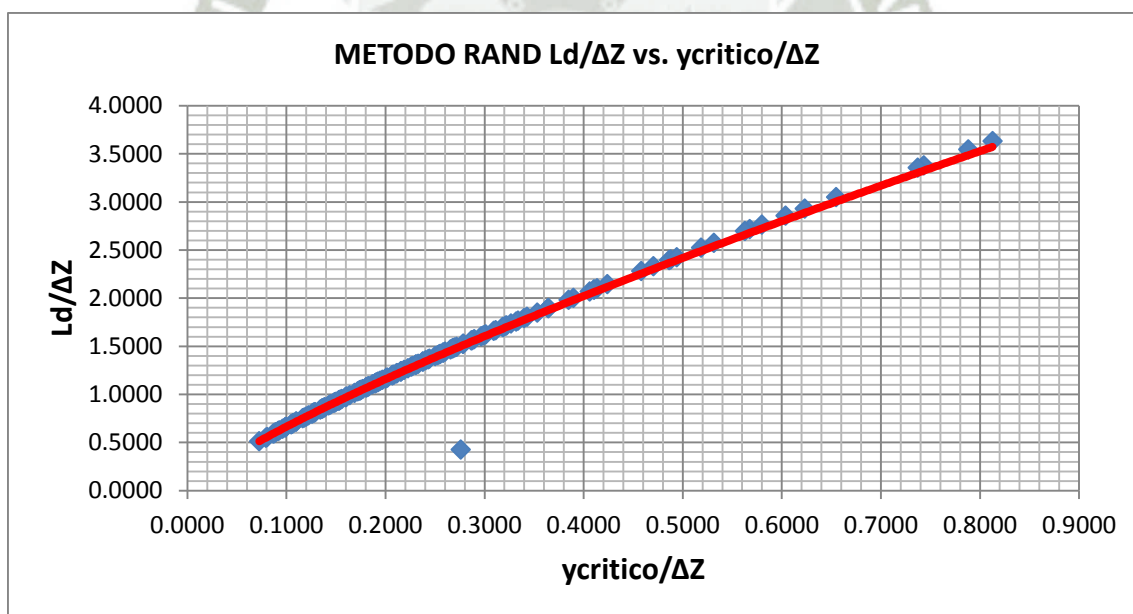
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.4-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).



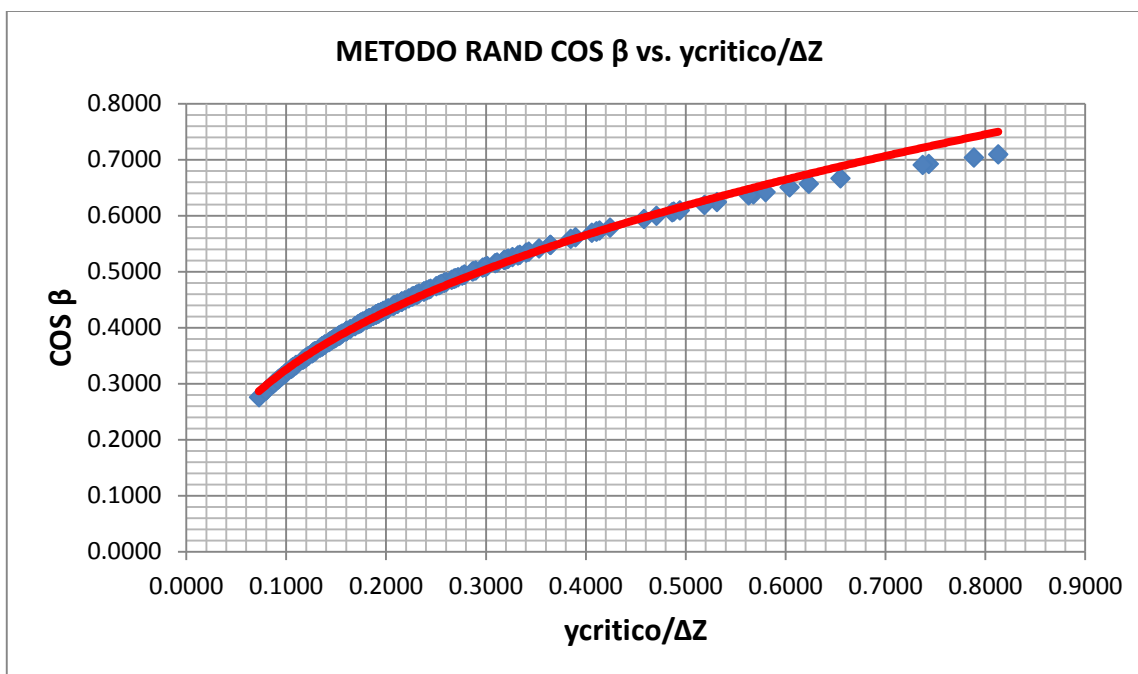
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.5-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.6-. Relación. $l_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).

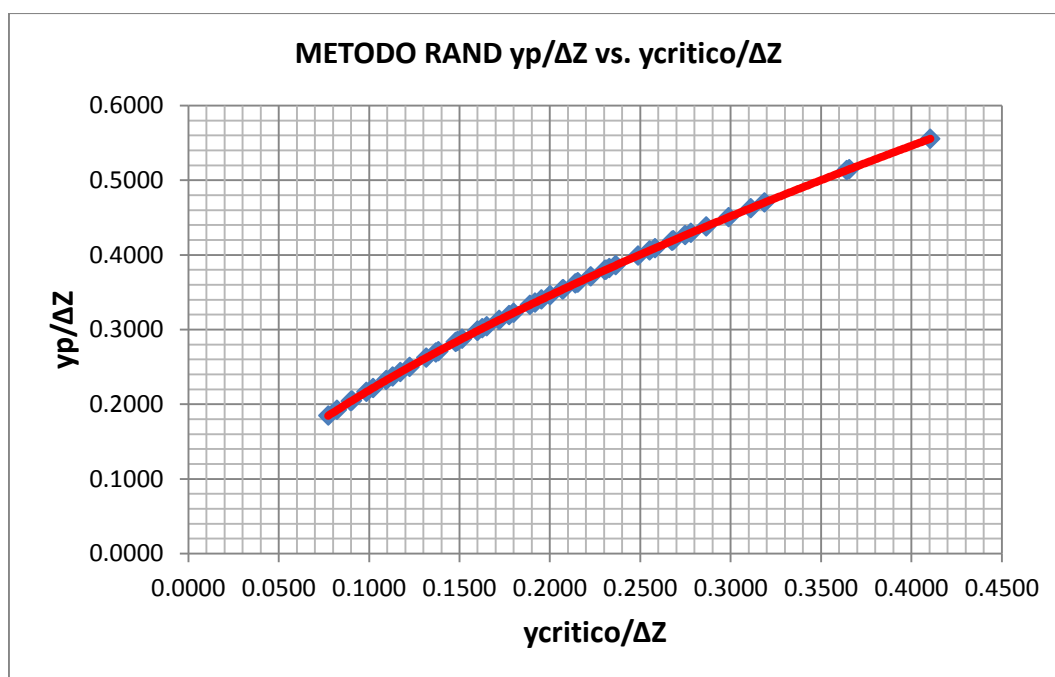


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.7.- Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rand (1955).

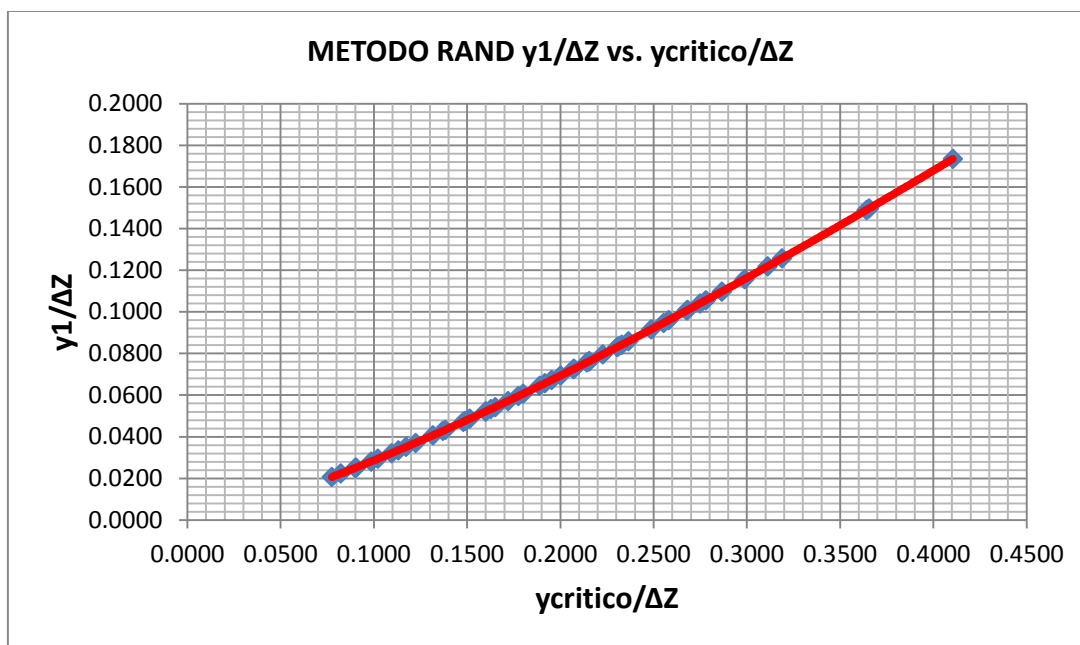
5.2.2.2. Para caídas verticales con ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



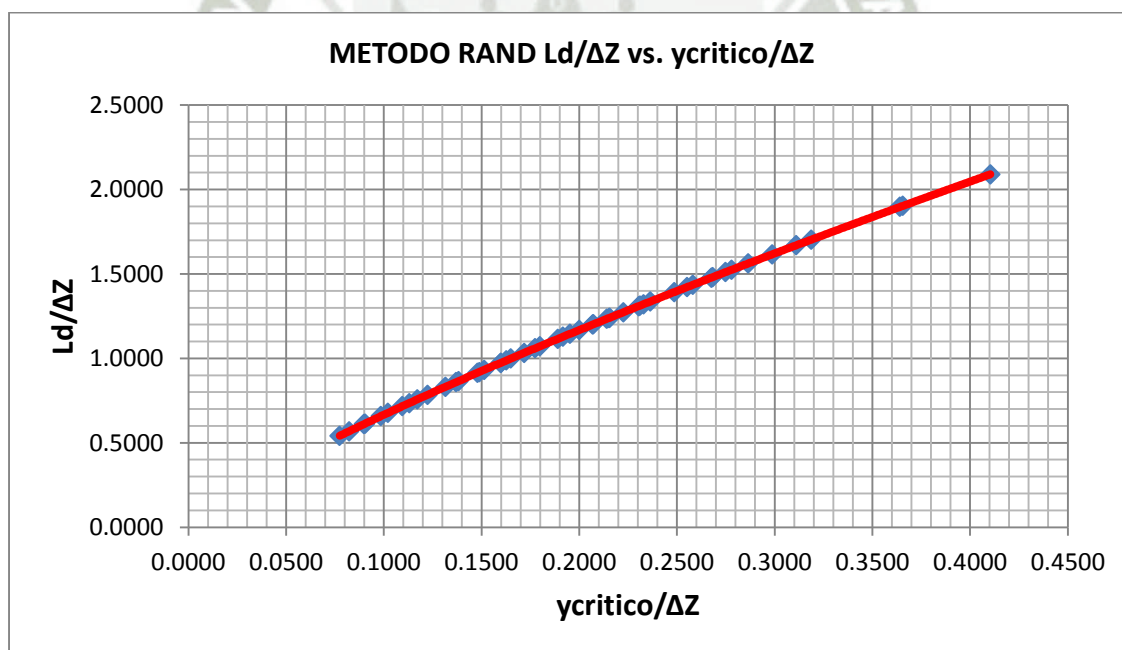
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.8-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).



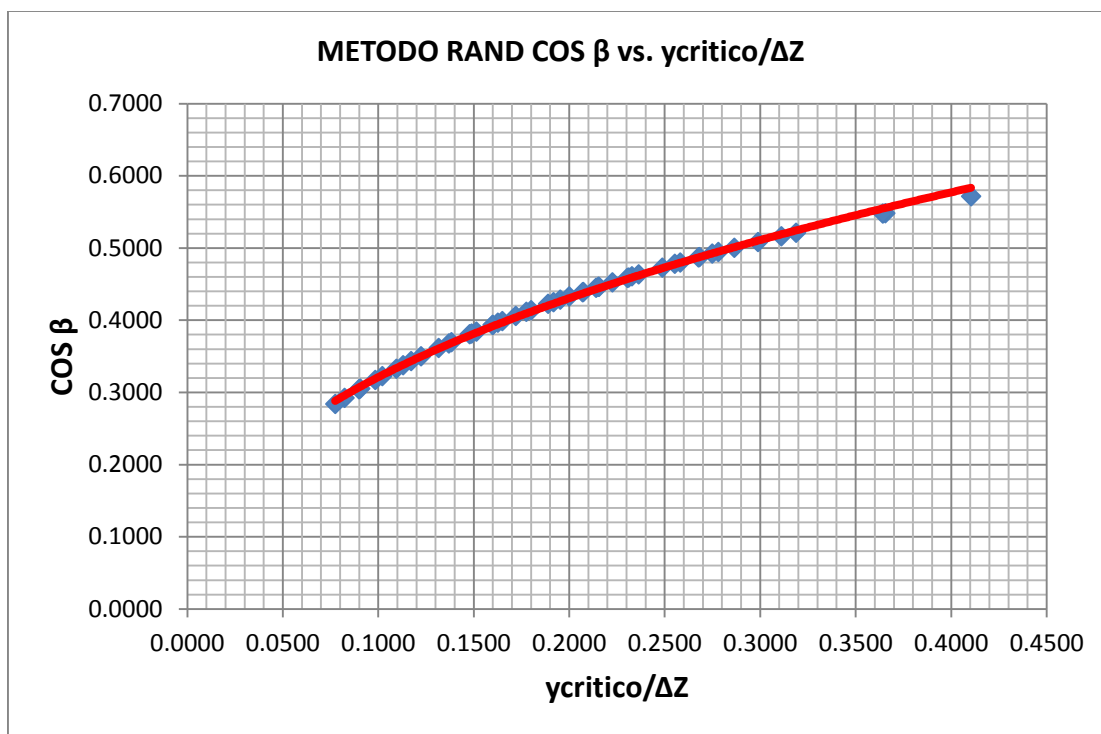
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.9.- Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.10.- Relación. $l_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.11-. Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rand (1955).

5.2.3. Según el método propuesto por Gill (1979)

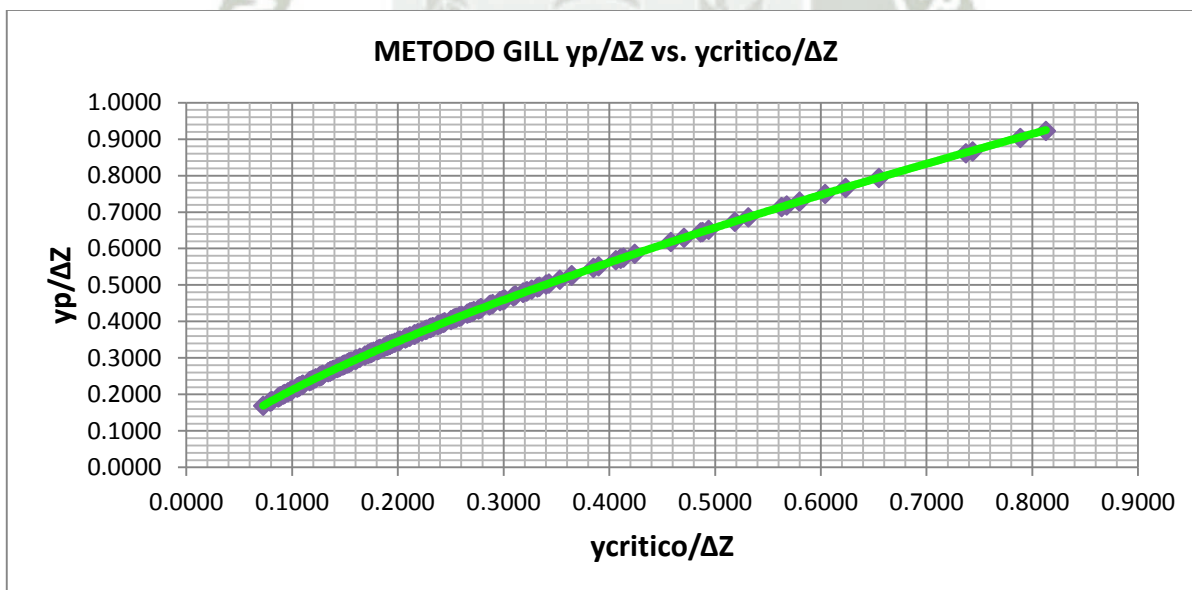
VARIABLES	GILL (1979)
$y_p/\Delta Z$	$1.067\left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.0016\right)^{0.697}$
$y_1/\Delta Z$	$0.524\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.0053\right)^{0.283}$
$\cos \beta$	$0.968\left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.0058\right)^{0.305}$

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 5.3-. Relación en caídas verticales según Gill (1979).

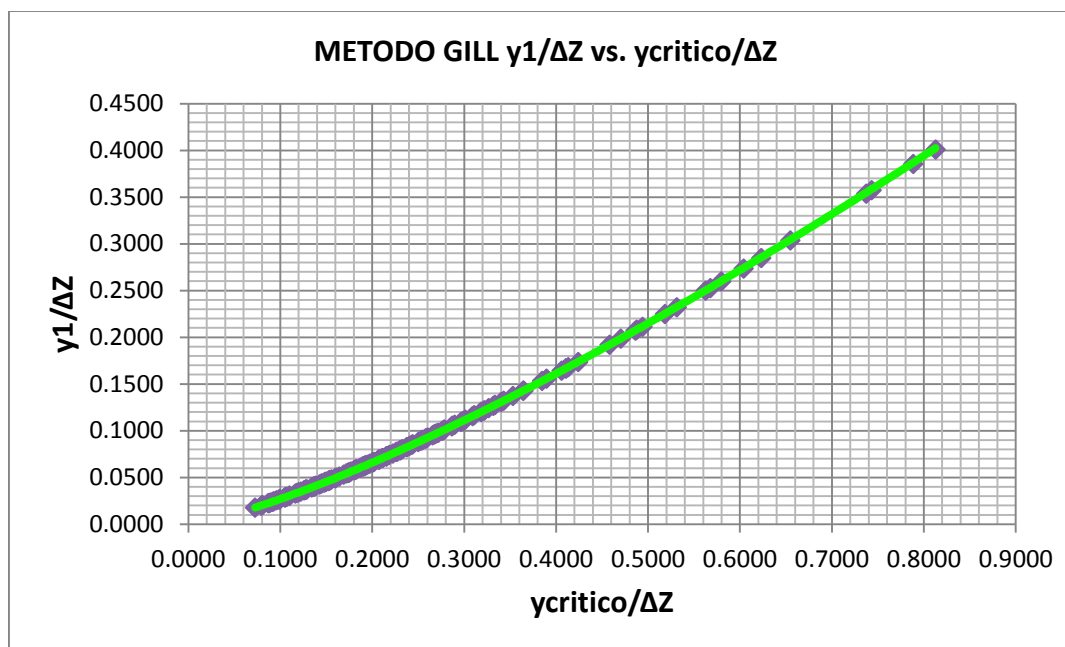
5.2.3.1. Para caídas verticales sin ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas no ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



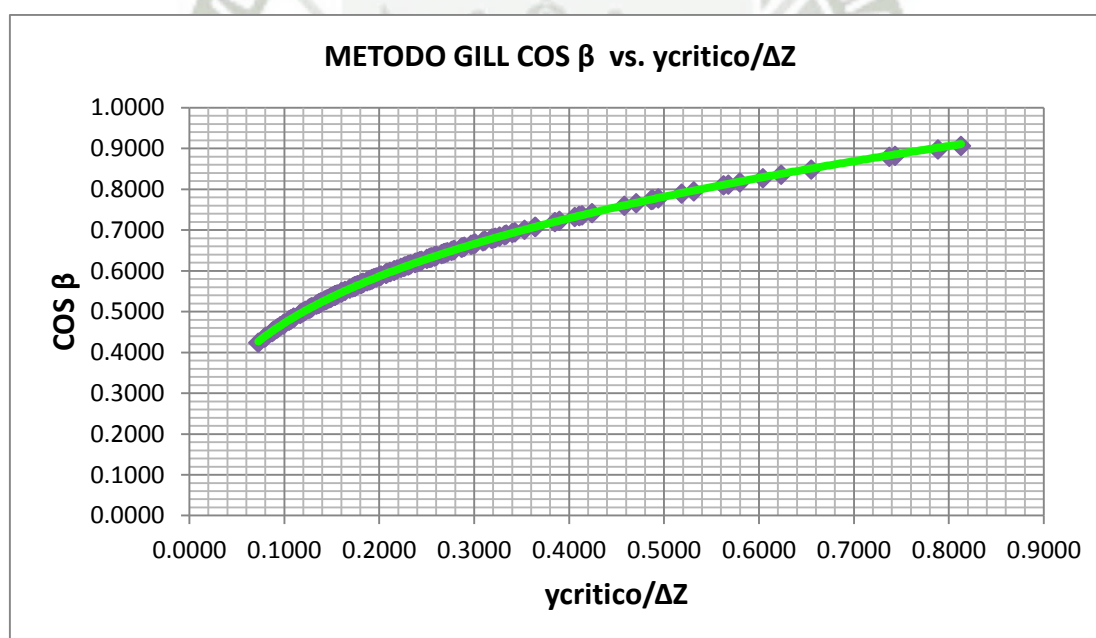
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.12-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Gill (1979).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.13-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Gill (1979).

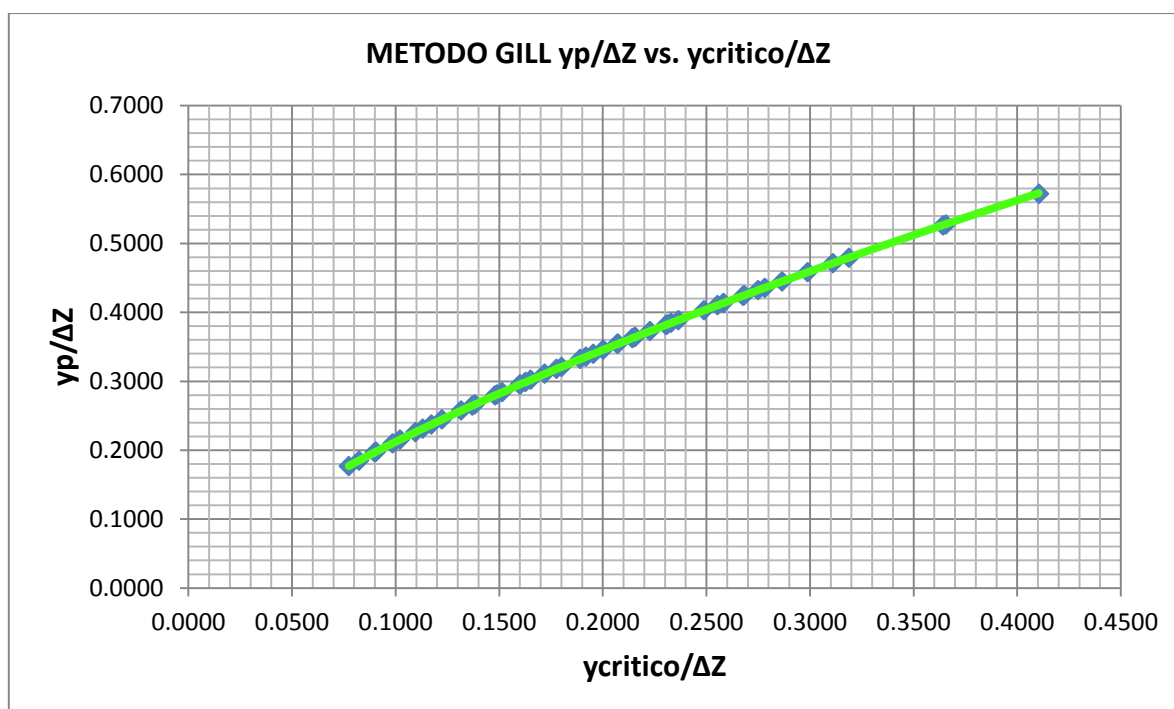


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.14-. Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Gill (1979).

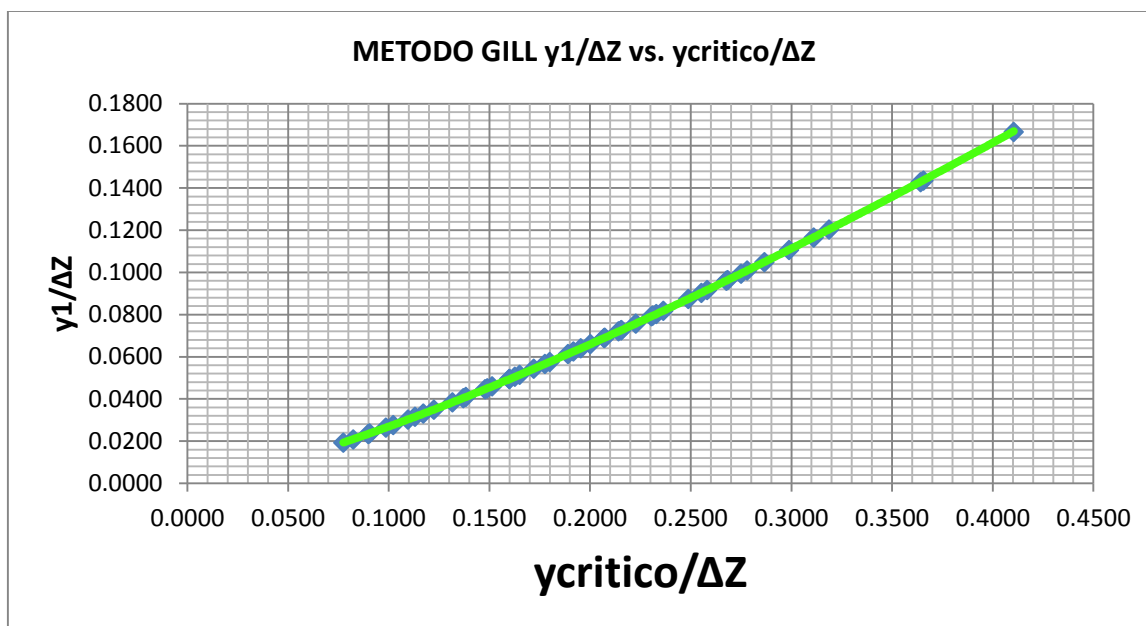
5.2.3.2. Para caídas verticales con ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



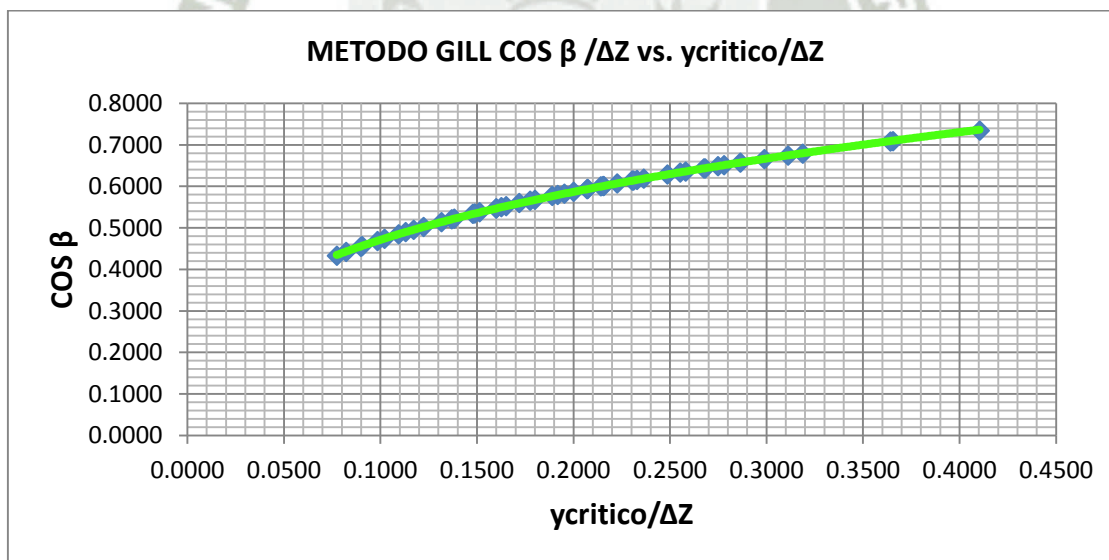
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.15-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Gill (1979).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.16-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Gill (1979).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.17-. Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Gill (1979).

5.2.4. Según el método propuesto por Chanson (1994)

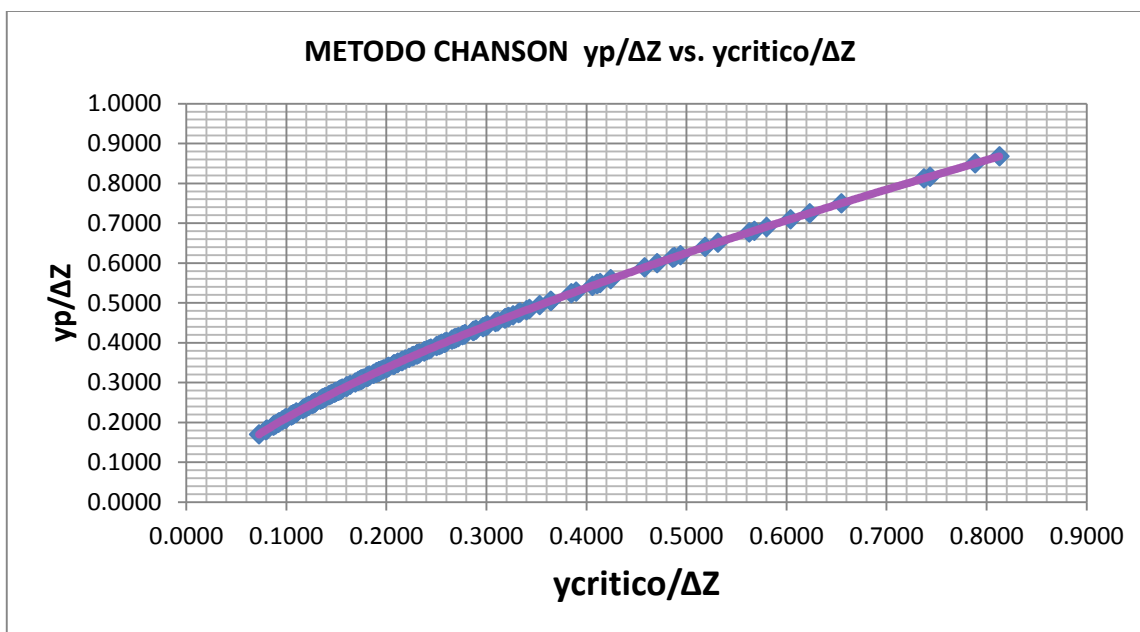
VARIABLES	CHANSON (1994)
$y_p/\Delta Z$	$0.998 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{0.675}$
$y_1/\Delta Z$	$0.625 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{1.326}$
$L_d/\Delta Z$	$2.171 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{0.525}$
$\tan \beta$	$0.855 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{-0.582}$

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 5.4-. Relación en caídas verticales según Chanson (1994).

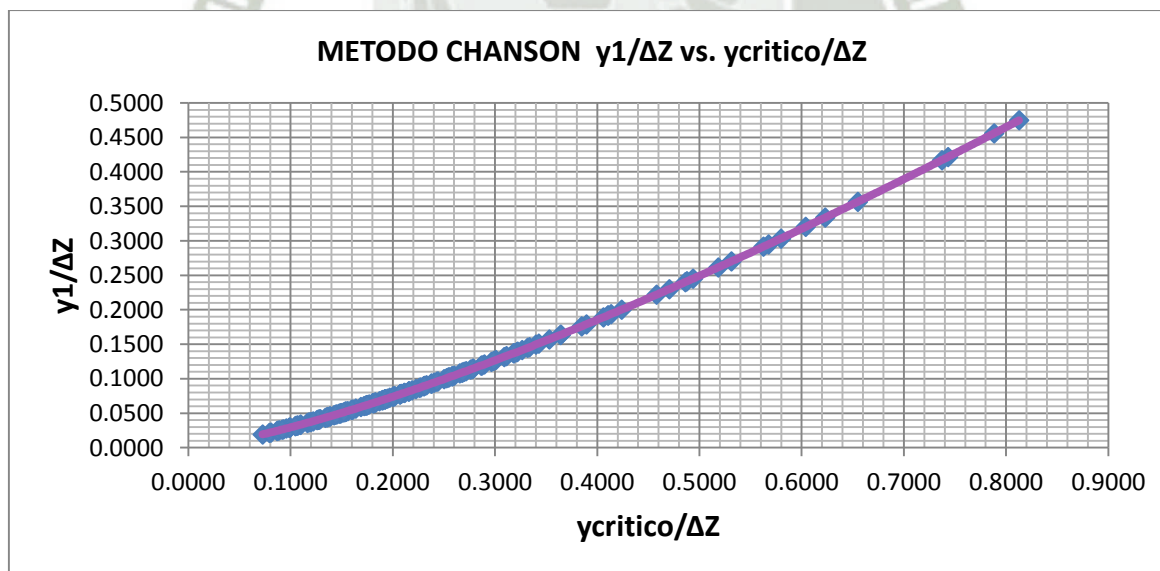
5.2.4.1. Para caídas verticales sin ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas no ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



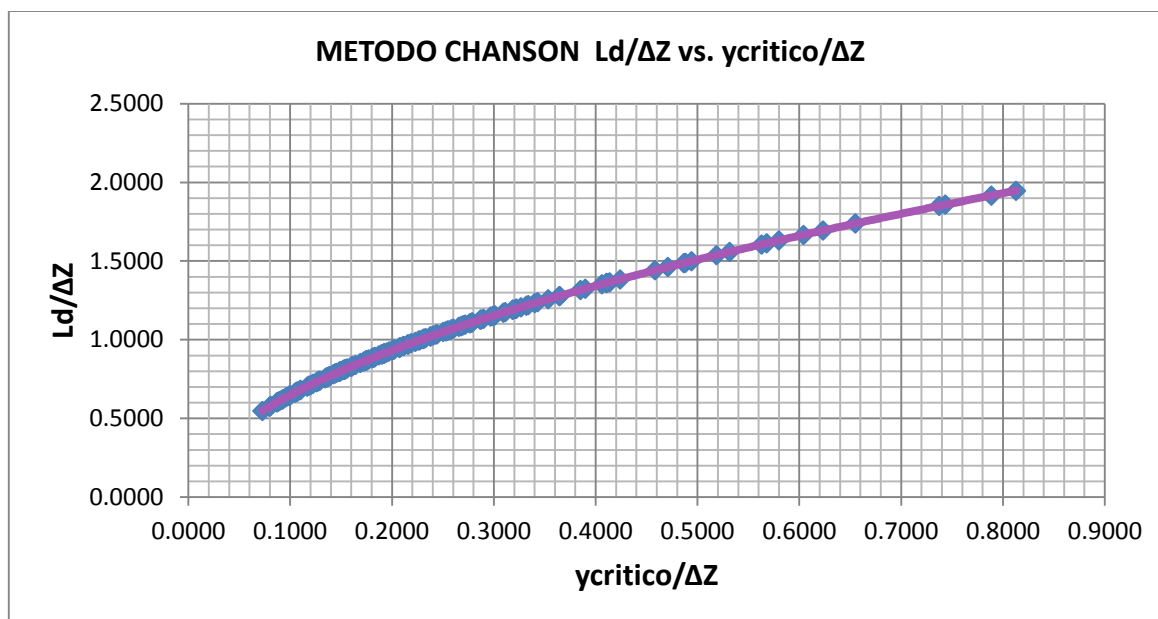
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.18-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).



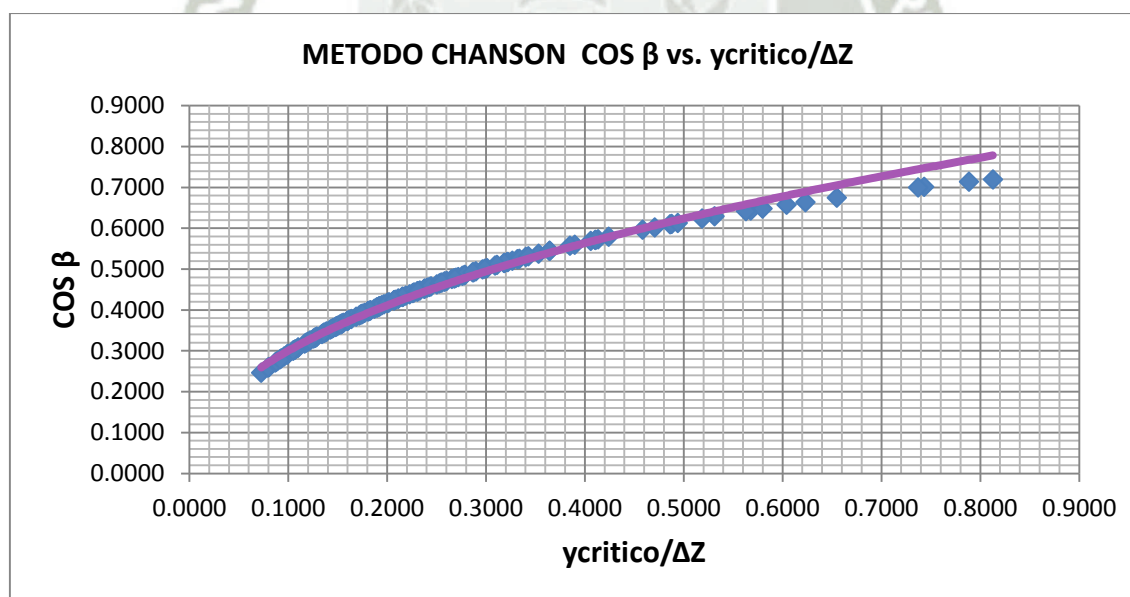
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.19-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.20-. Relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).

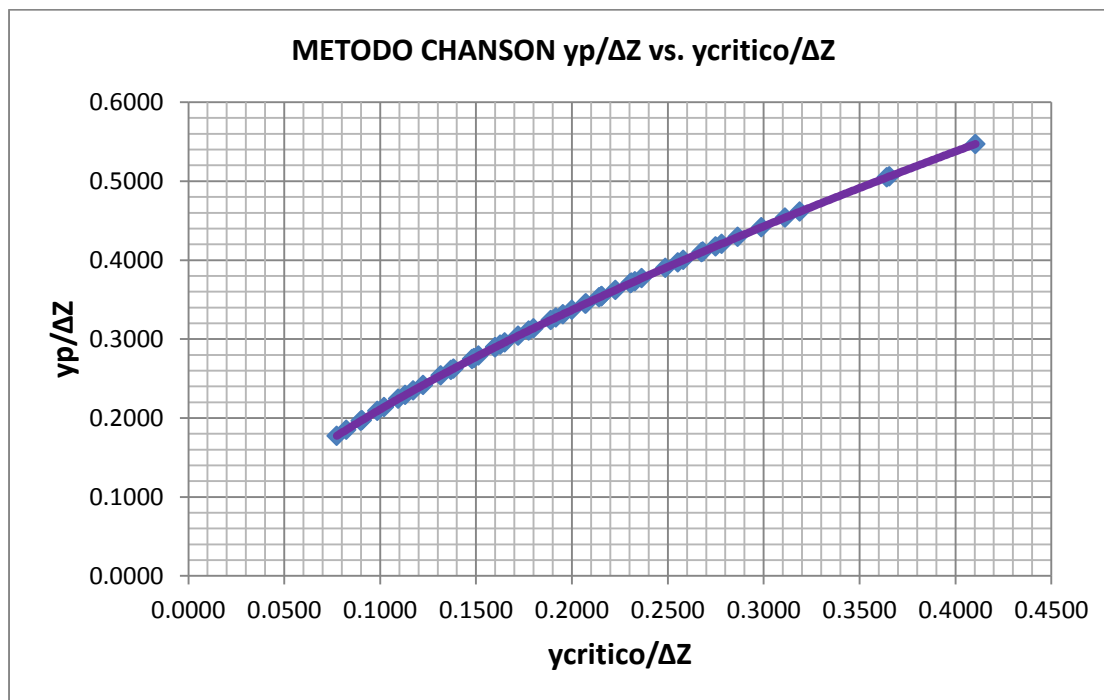


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.21-. Relación. $\cos \beta/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).

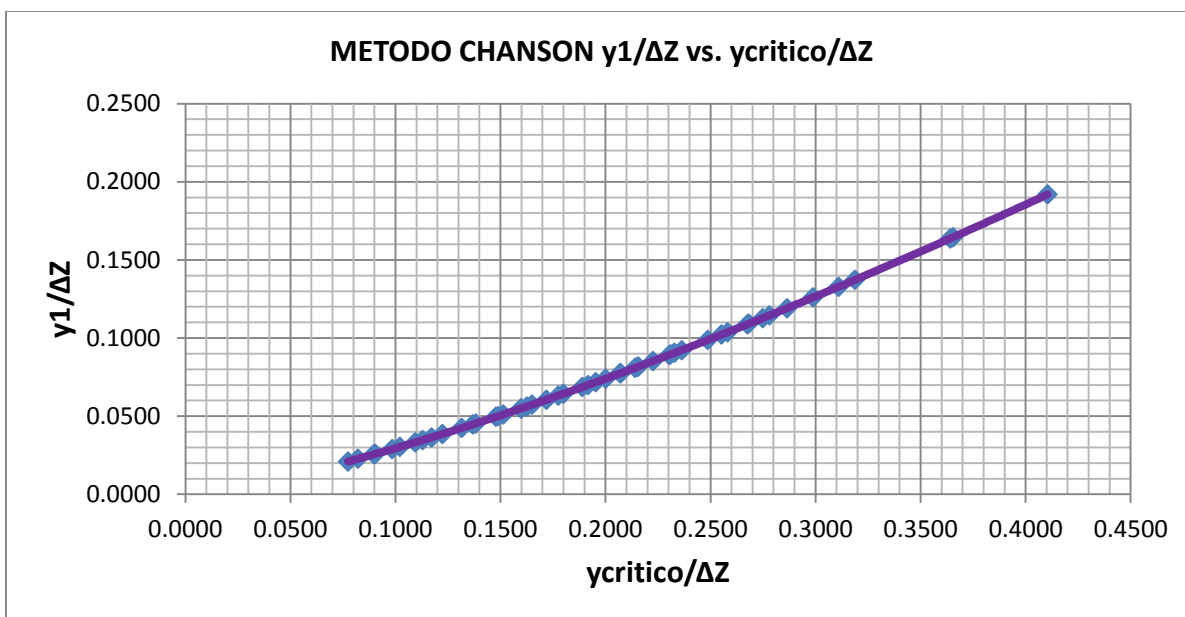
5.2.4.2. Para caídas verticales con ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



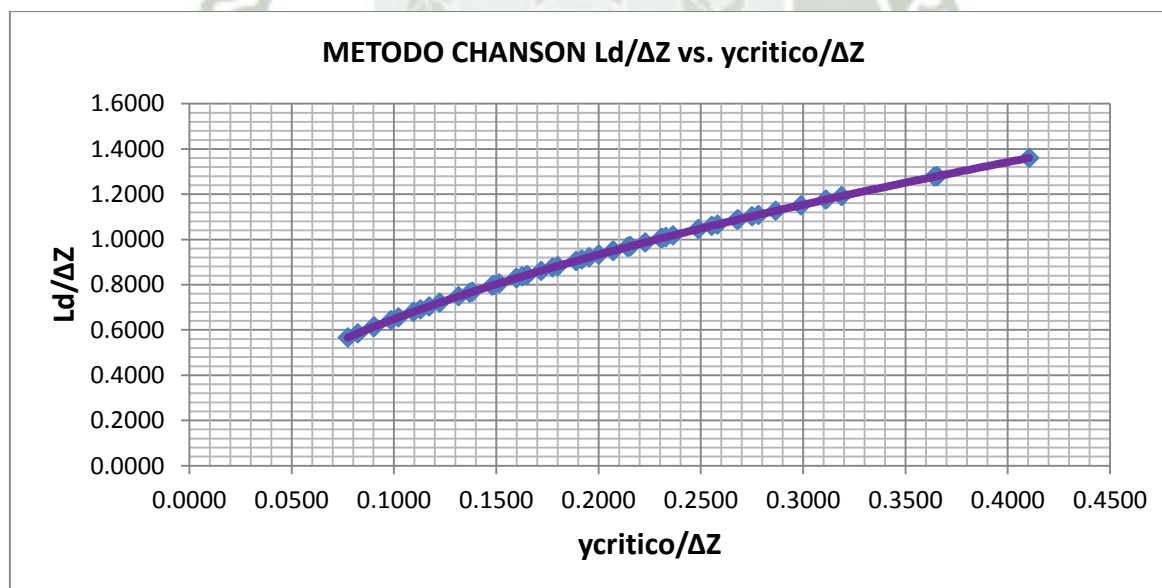
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.22-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).



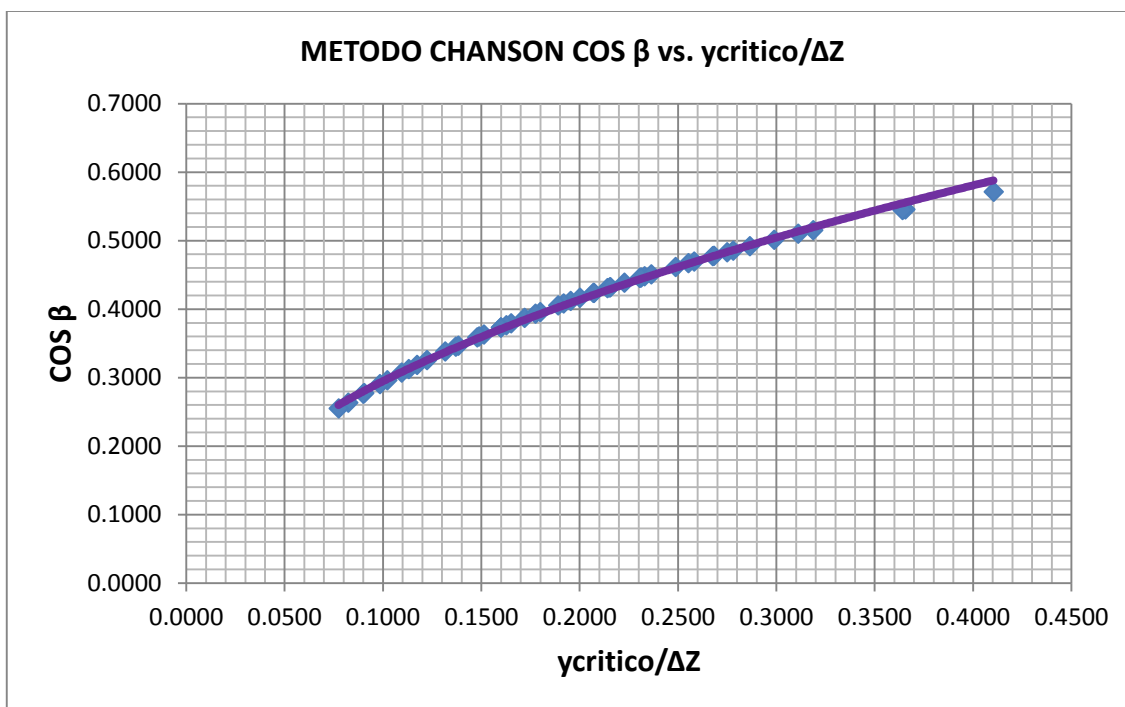
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.23-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.24-. Relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.25-. Relación. $\cos \beta/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Chanson (1994).

5.2.5. Según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995)

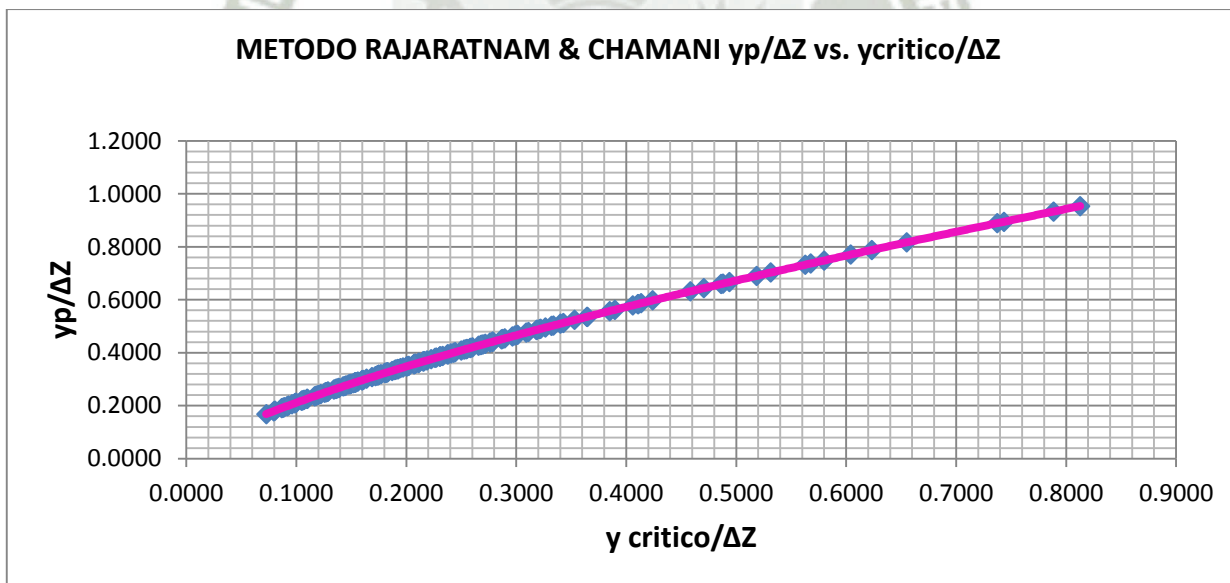
VARIABLES	RAJARATNAM & CHAMANI (1995)
$y_p/\Delta Z$	$1.107 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{0.719}$
$\Delta E/E_{critico}$	$0.896 * \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z}\right)^{-0.766}$

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 5.5-. Relación en caídas verticales según Rajaratnam & Chamani (1995).

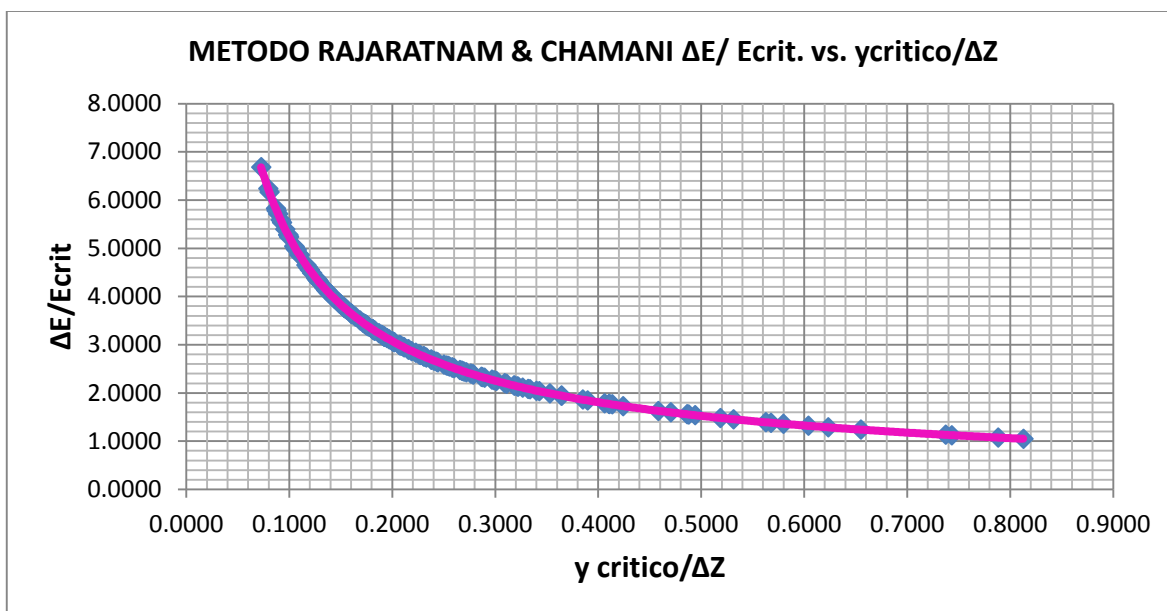
5.2.5.1. Para caídas verticales sin ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, presentadas se realizó un cálculo de estas para caídas no ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.26-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).

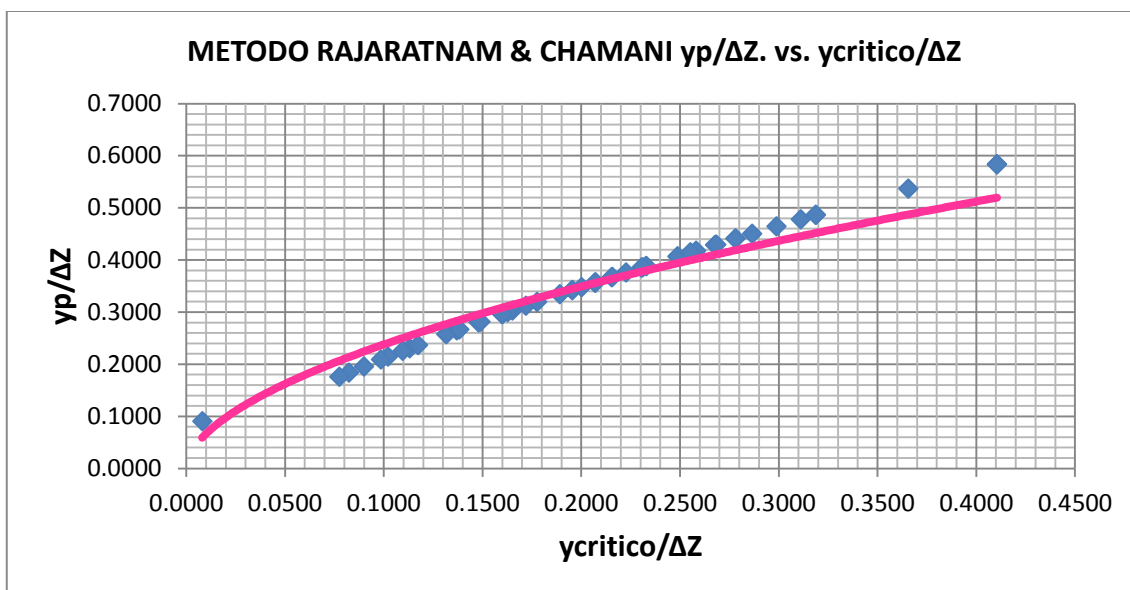


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.27-. Relación. , " $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).

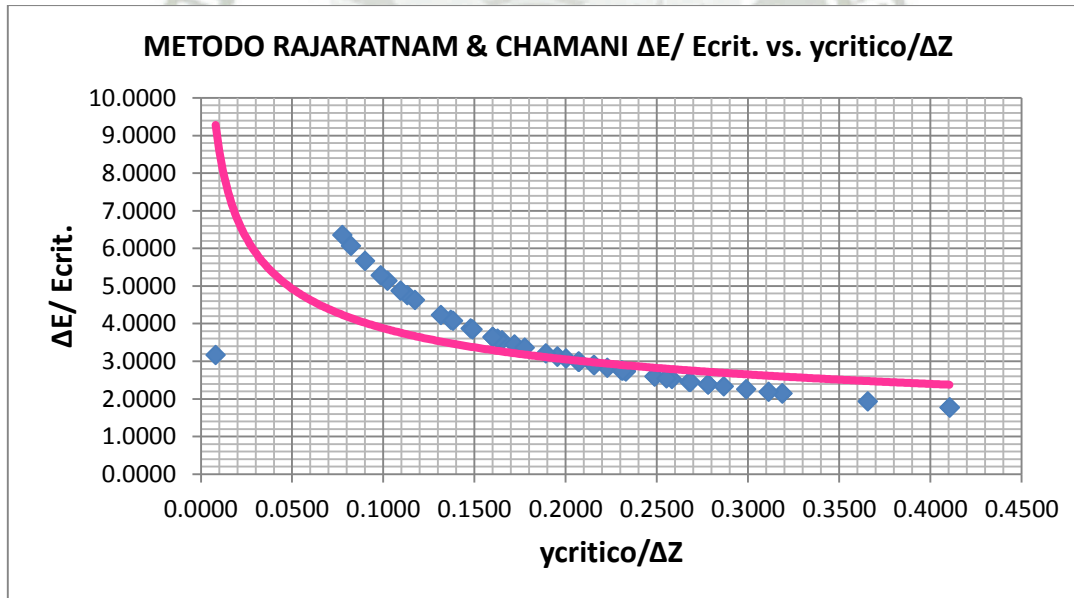
5.2.5.2. Para caídas verticales con ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones " $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ", " $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ", se realizó un cálculo de estas para caídas ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.28-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.29-. Relación. $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Rajaratnam & Chamani (1995).

5.2.6. Según la teoría modificada de Moghaddam

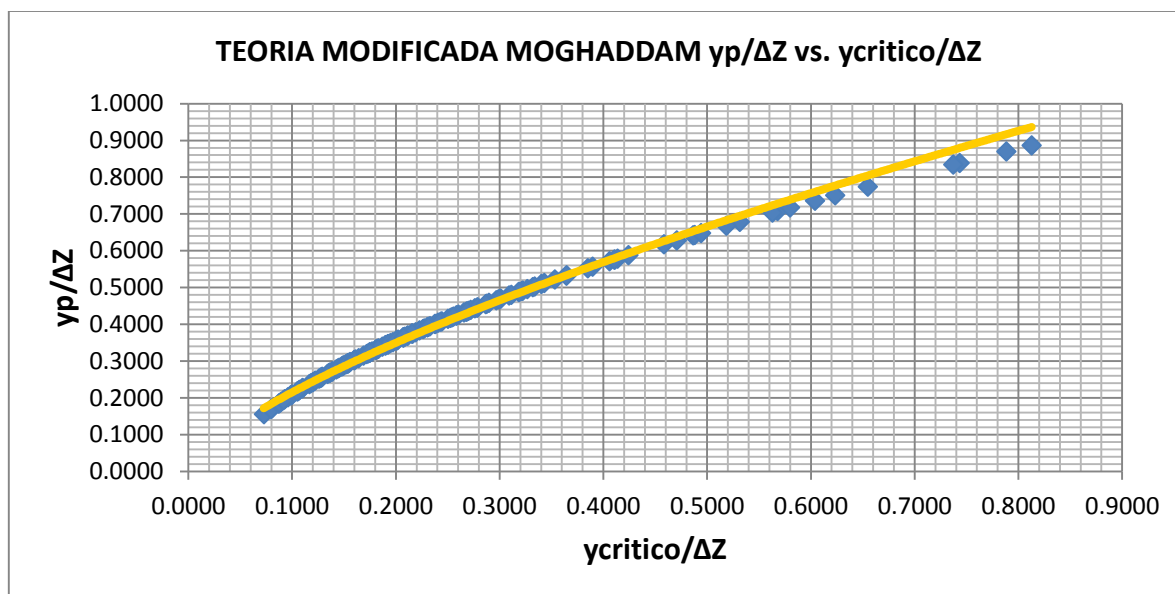
VARIABLE	MOGHADDAM
$y_p/\Delta Z$	$1.026 * (\frac{y_{critico}}{\Delta Z} - 0.03)^{0.598}$
$y_1/\Delta Z$	$0.505 * (\frac{y_{critico}}{\Delta Z})^{1.222}$
$\Delta E/E_{critico}$	$0.077 * (\frac{y_{critico}}{\Delta Z})^{-0.813}$
$\cos \beta$	$0.99 * (\frac{y_{critico}}{\Delta Z})^{0.466}$

Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Tabla 5.6-. Relación en caídas verticales según Moghaddam.

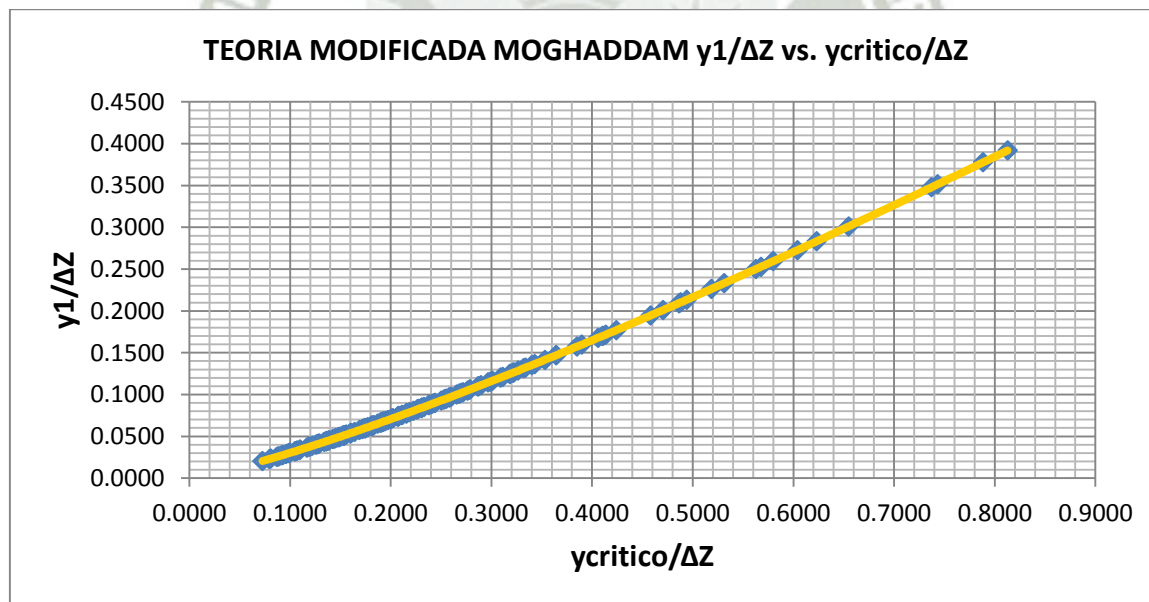
5.2.6.1. Para caídas verticales sin ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ” ,” $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$,” $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$,” “ $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ” ,se realizó un cálculo de estas para caídas no ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



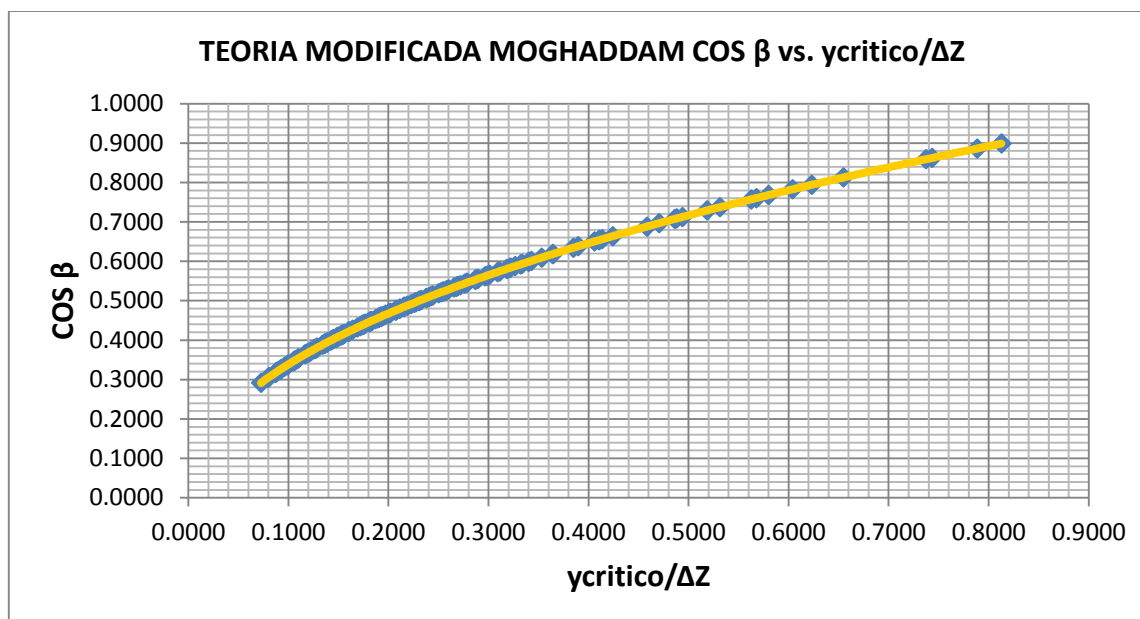
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.30-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.



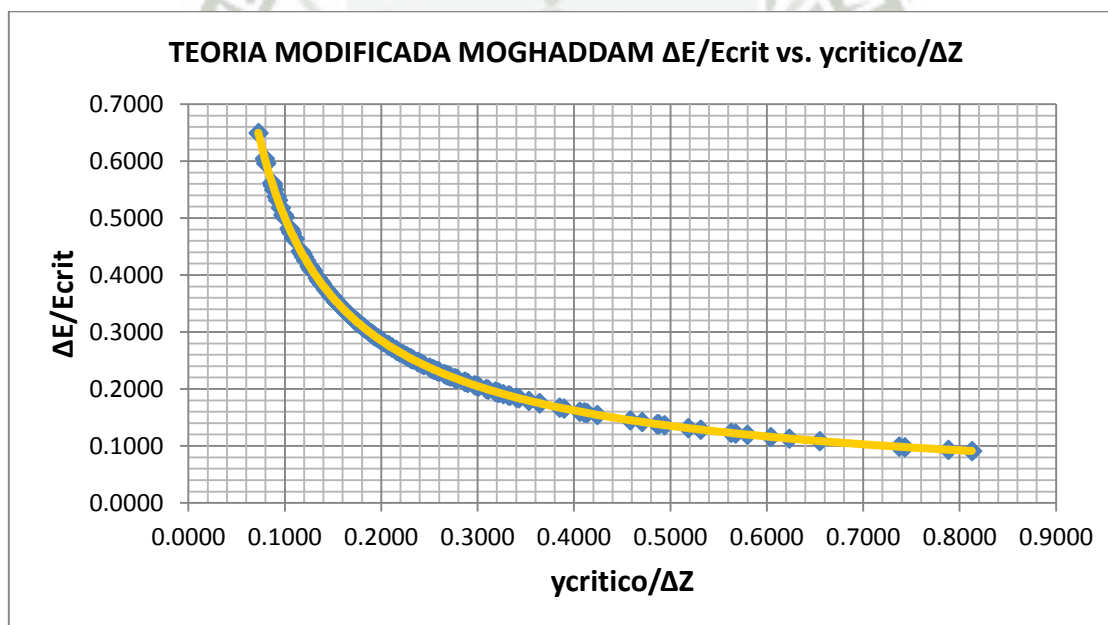
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.31-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.32-. Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.

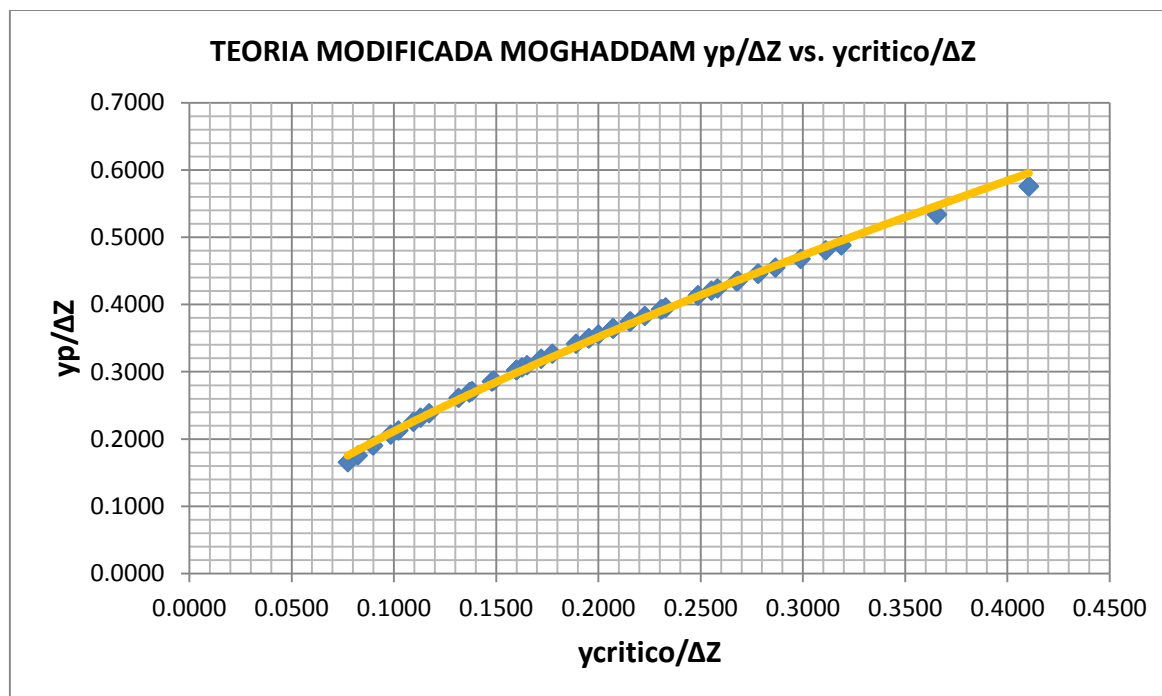


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.33-. Relación $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según el método propuesto por Moghaddam.

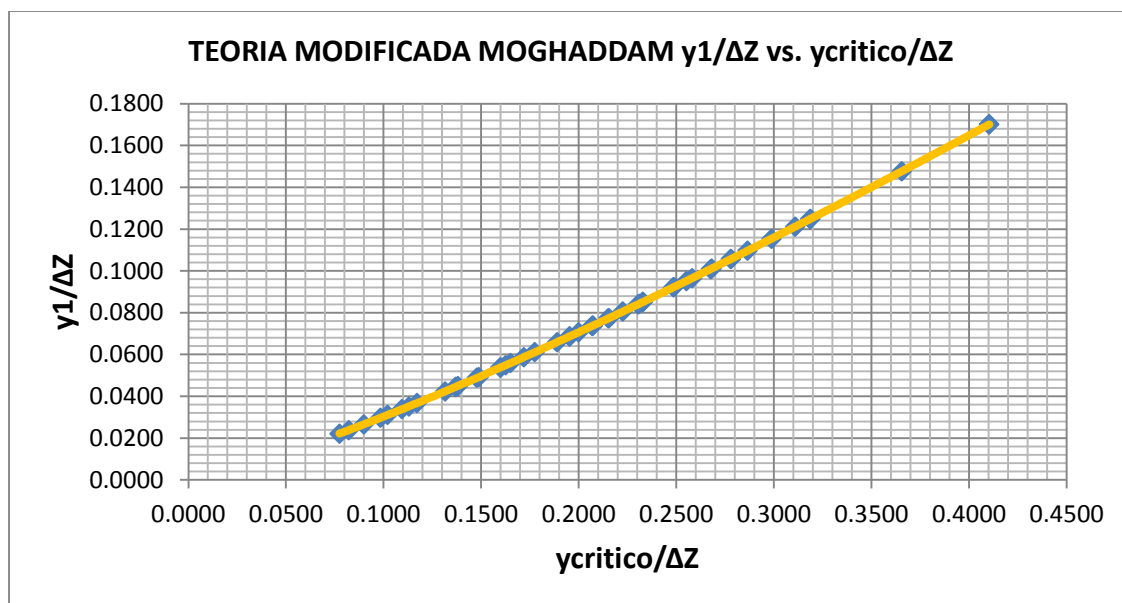
5.2.6.2. Para caídas verticales con ventilación

Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, se realizó un cálculo de estas para caídas ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.



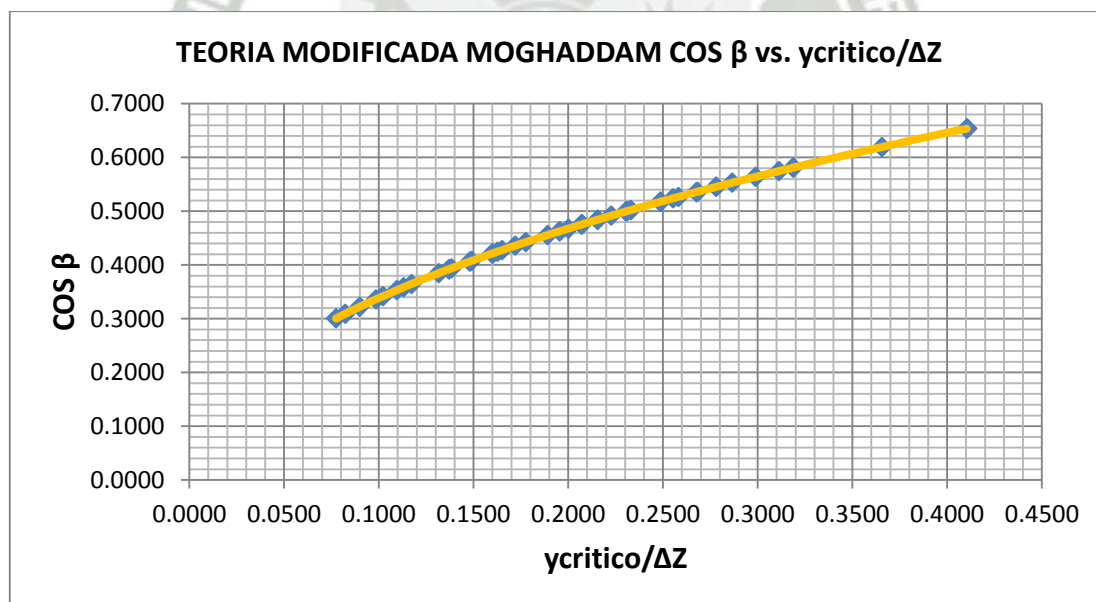
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.34-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moghaddam.



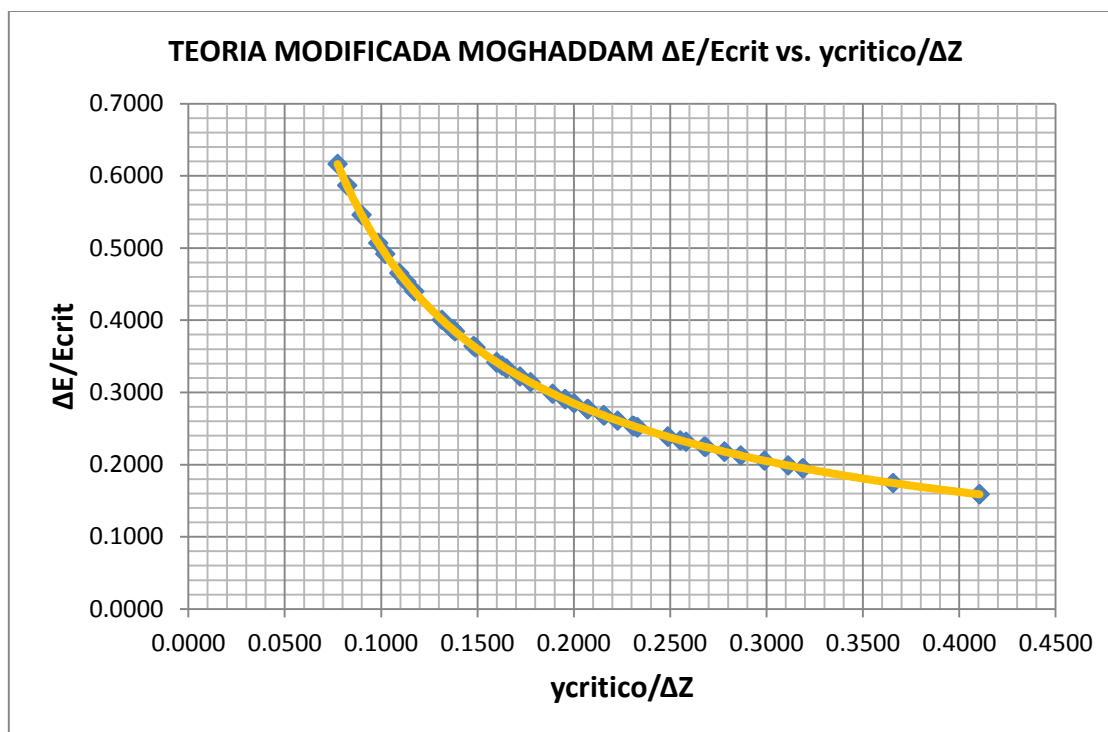
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.35-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sicon ventilación según el método propuesto por Moghaddam.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.36-. Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moghaddam.



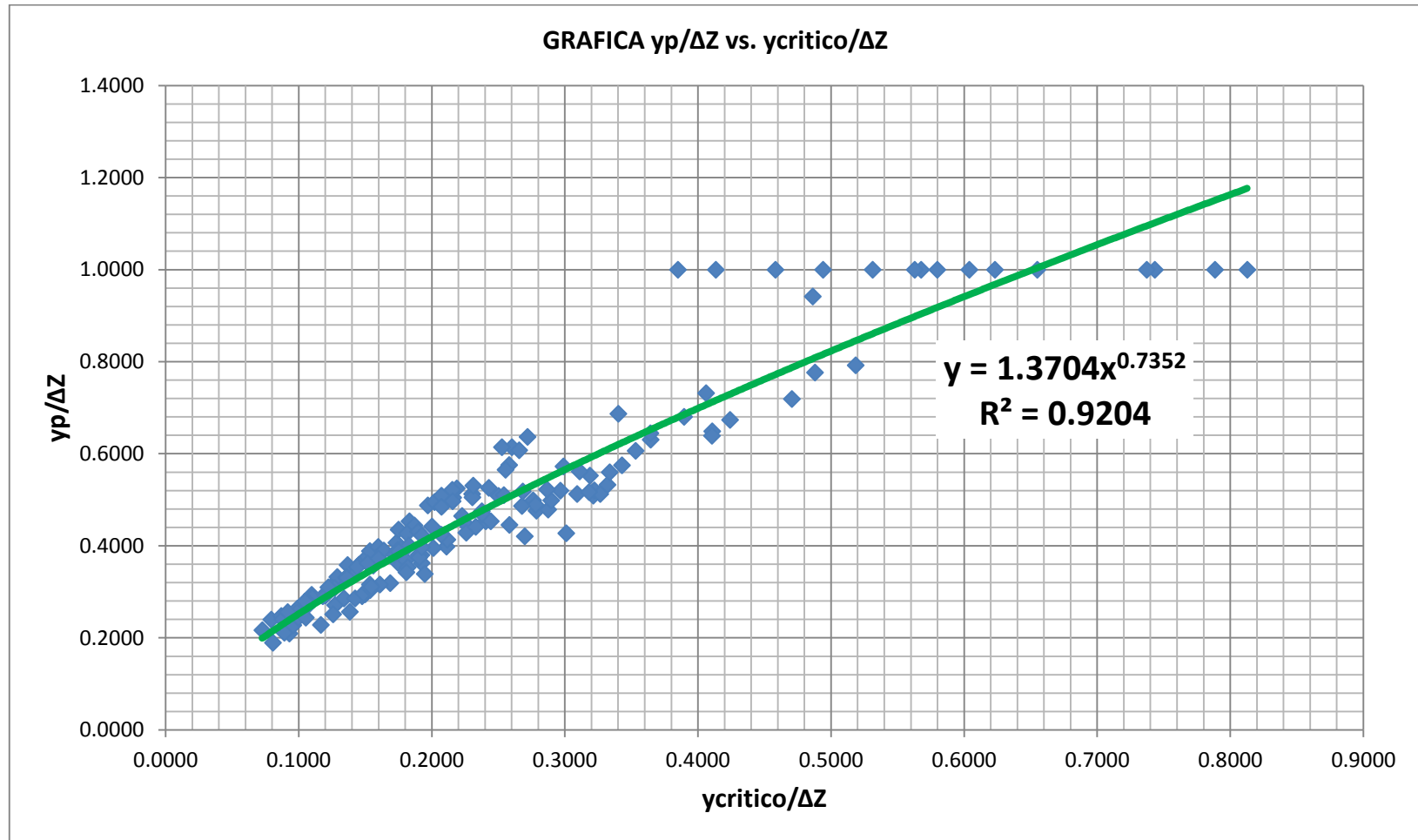
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.37-. Relación $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según el método propuesto por Moghaddam.

5.2.7. Según la campaña experimental

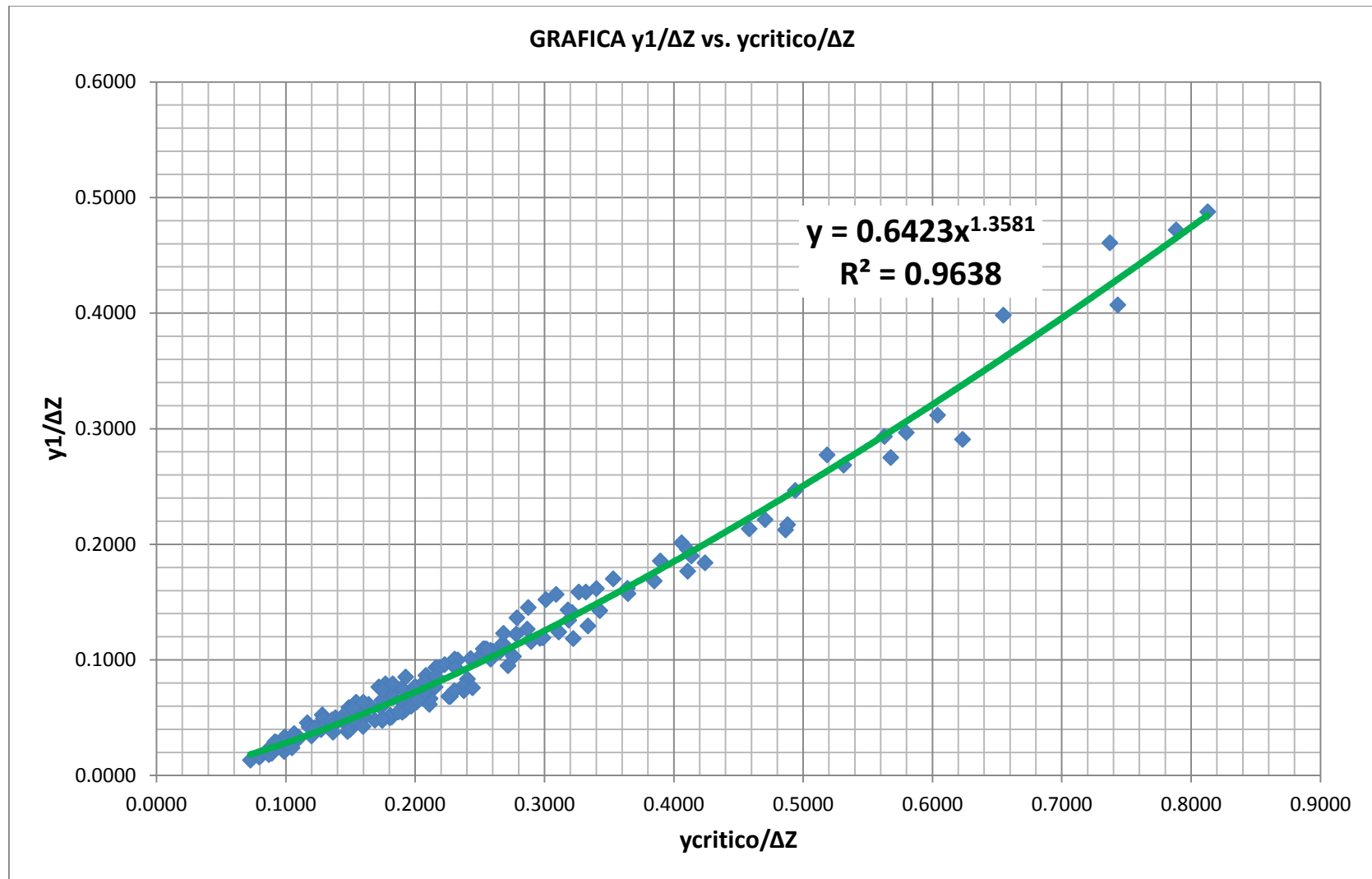
Teniendo en cuenta las relaciones “ $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\cos\beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ”, “ $\Delta E/E_{critico}$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ ” se realizó un cálculo de estas para caídas no ventiladas y ventiladas de las cuales se obtienen la siguientes curvas.

5.2.7.1. Para caídas verticales sin ventilación



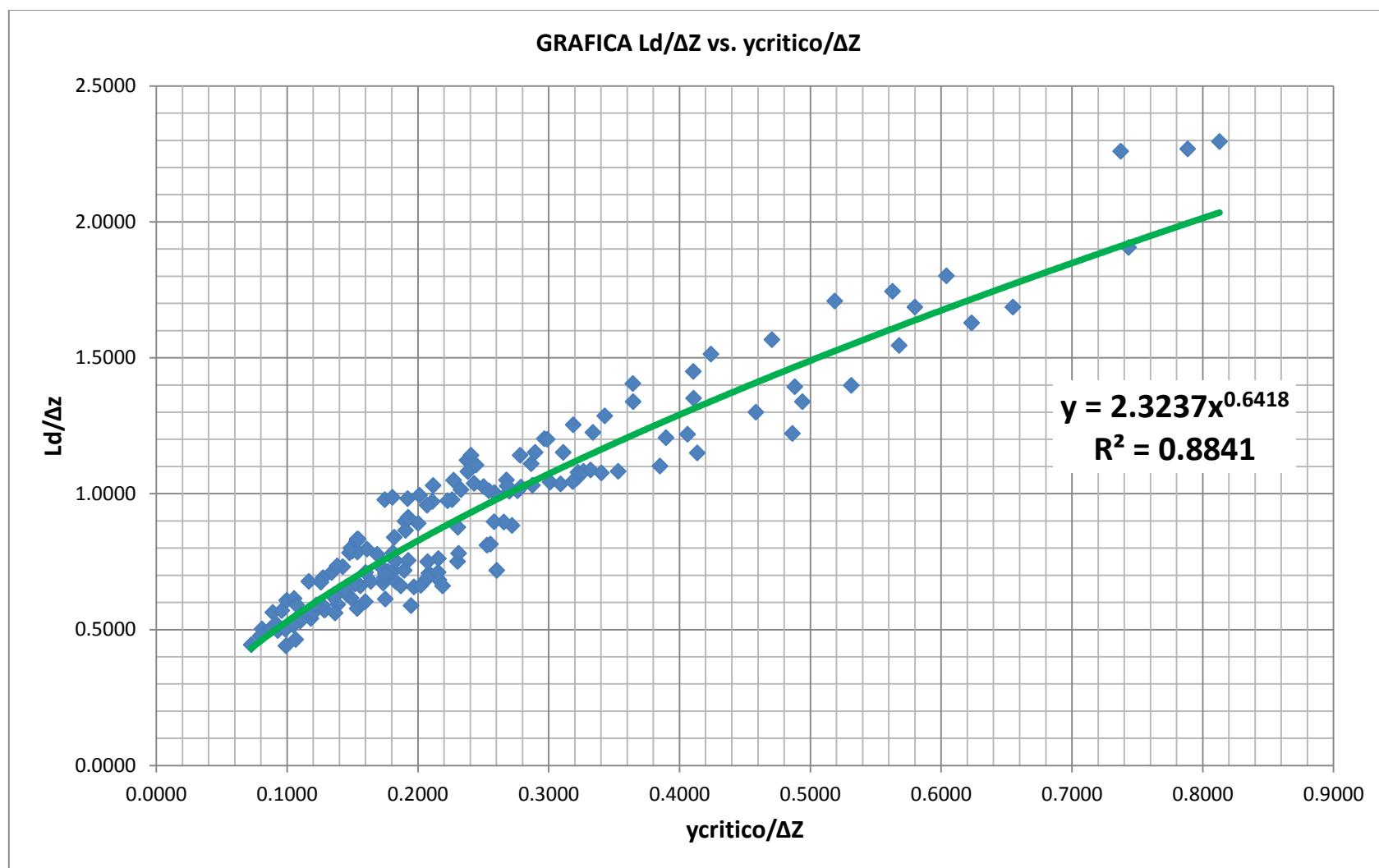
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.38-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.



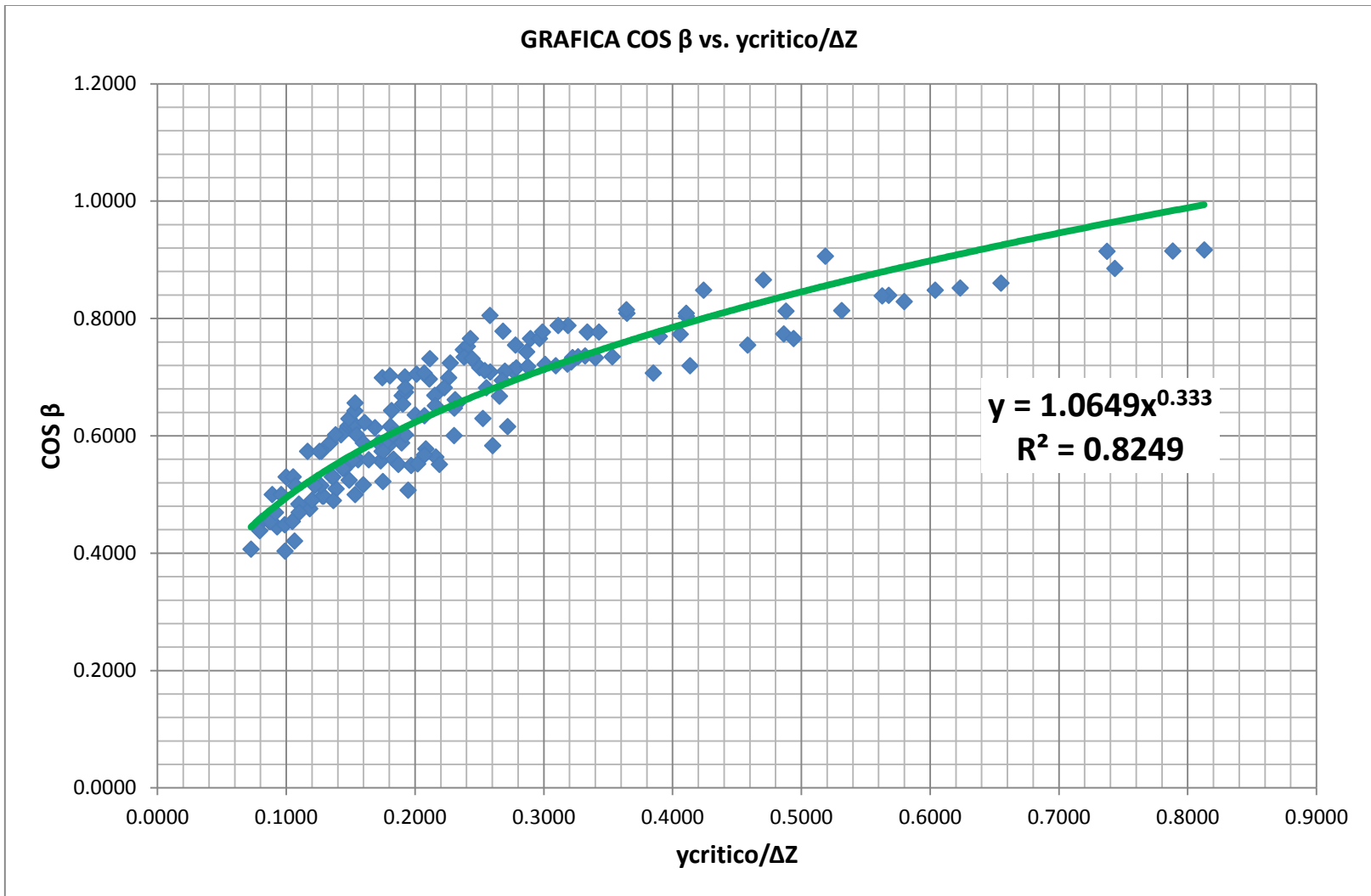
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.39-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

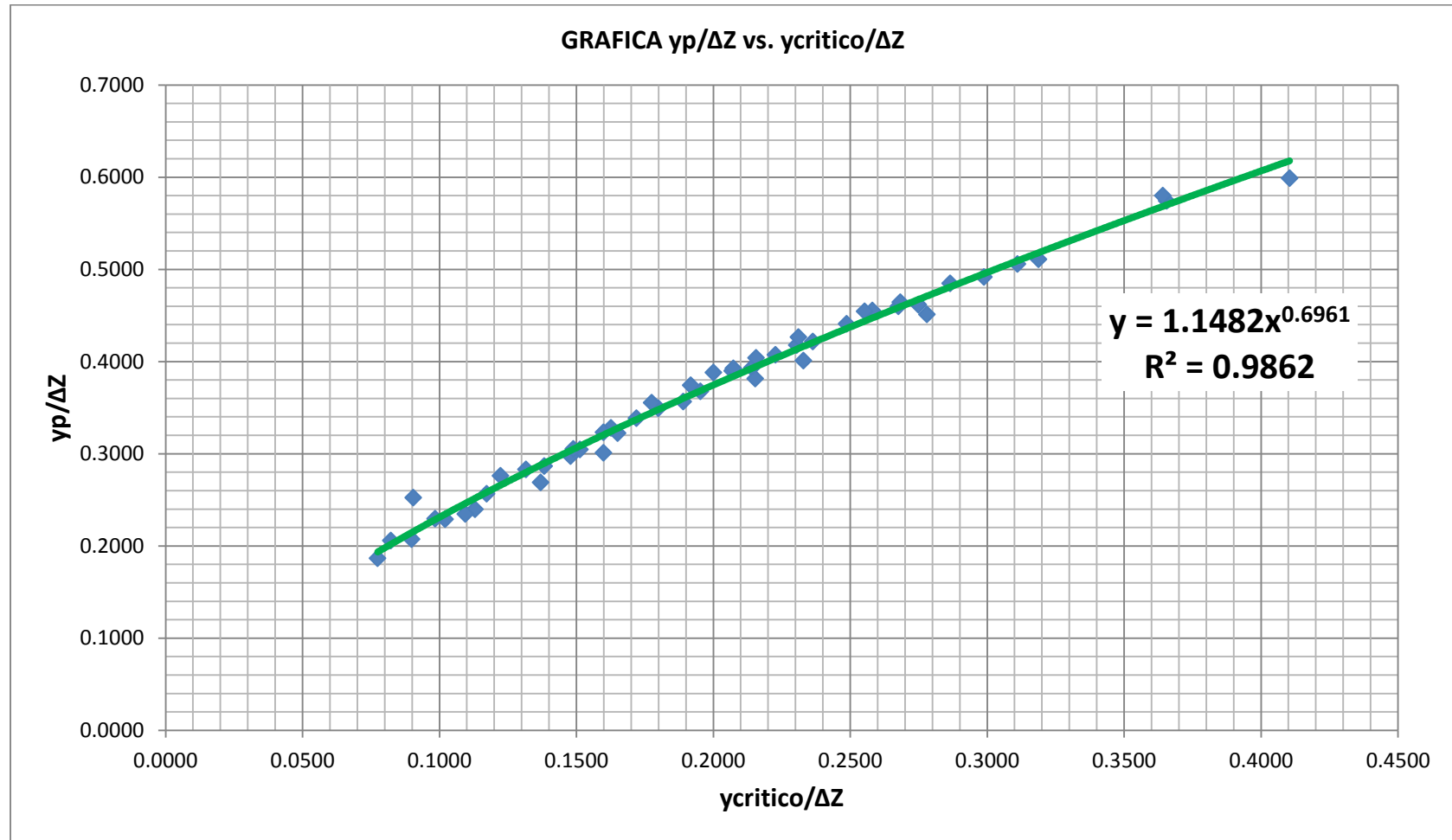
Figura 5.40-. Relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

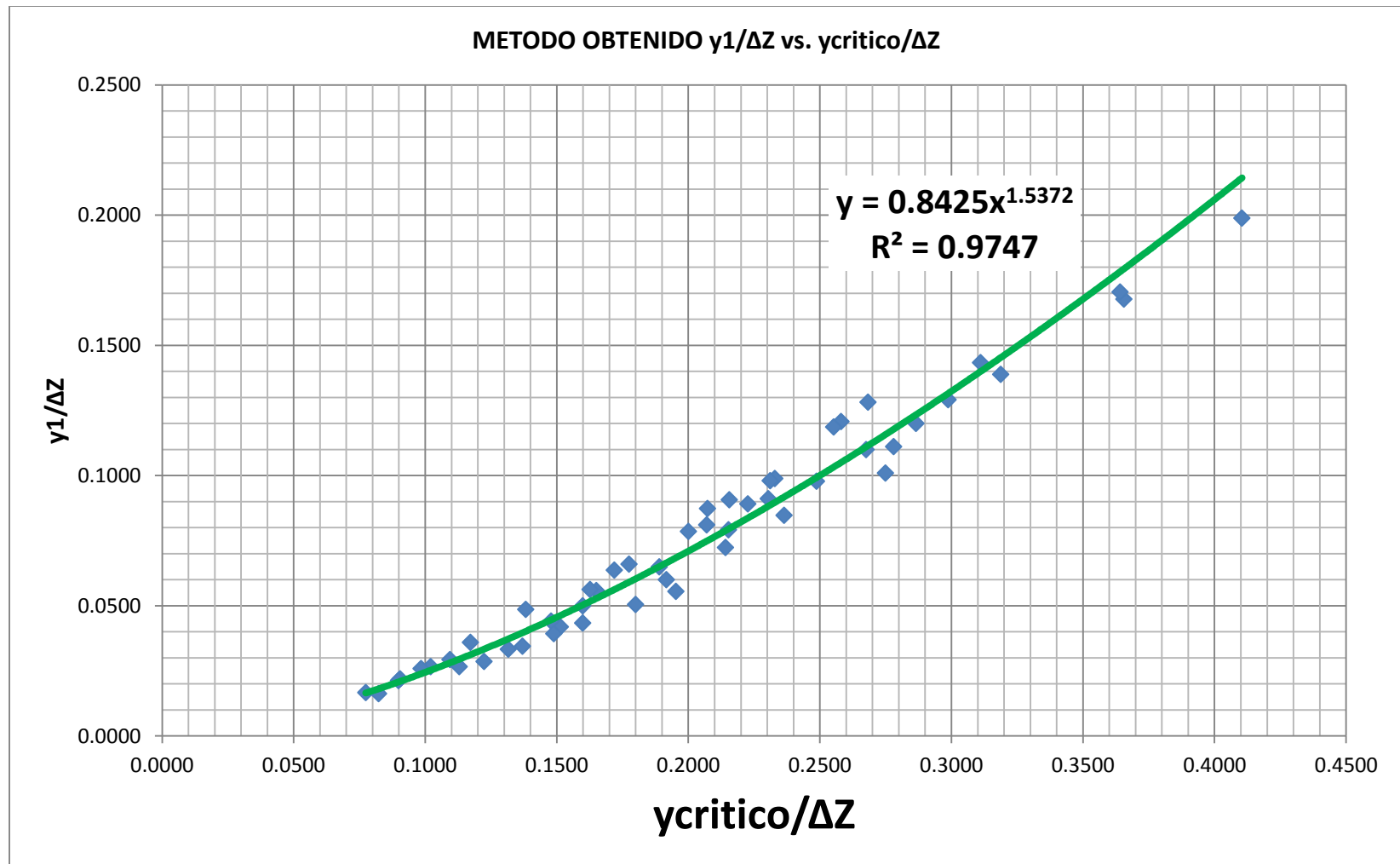
Figura 5.41-. Relación. $\cos \beta / \Delta Z$ vs. $y_{critico} / \Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación según la campaña experimental.

5.2.7.2. Para caídas verticales con ventilación



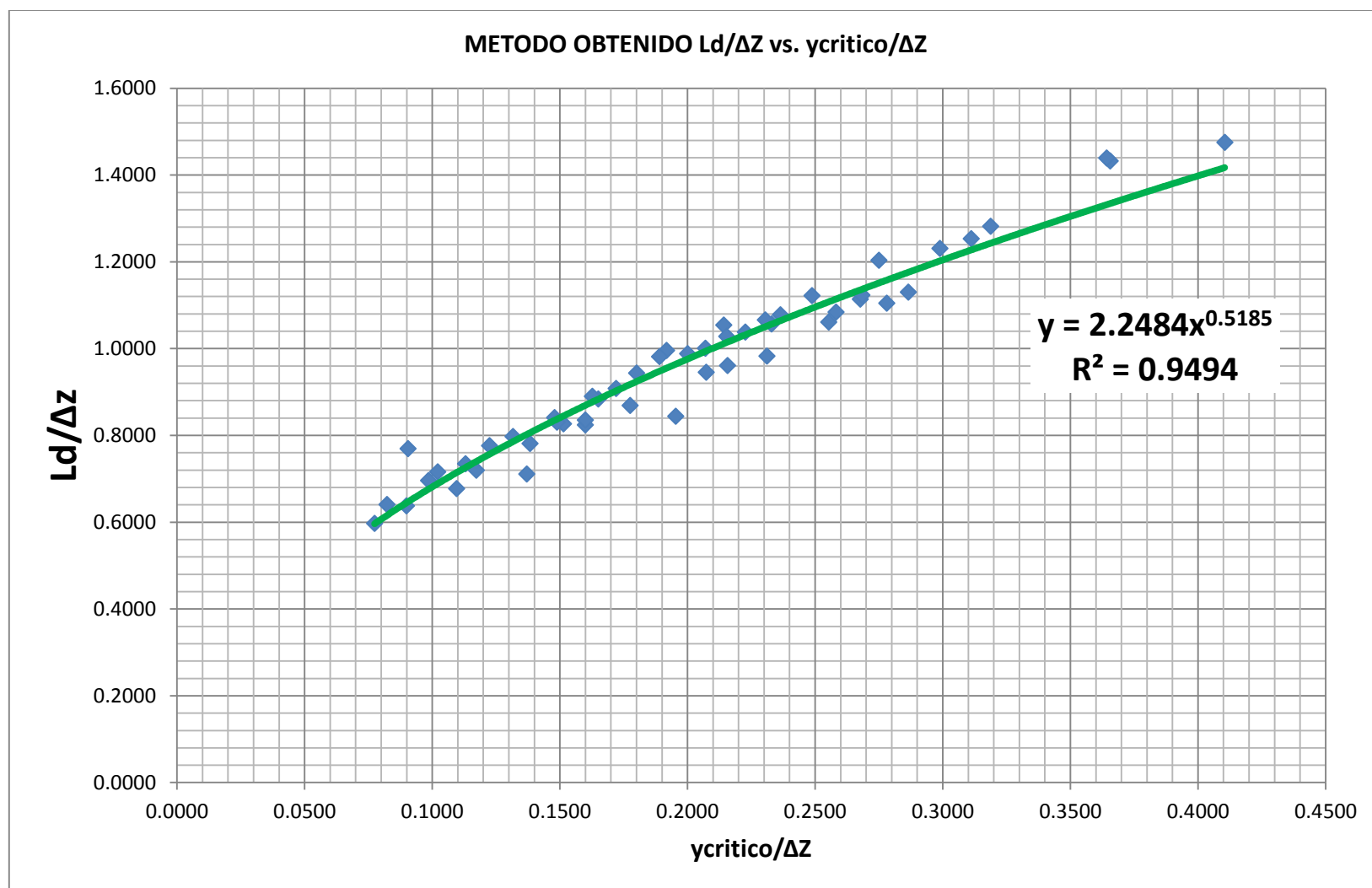
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.42-. Relación. $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.



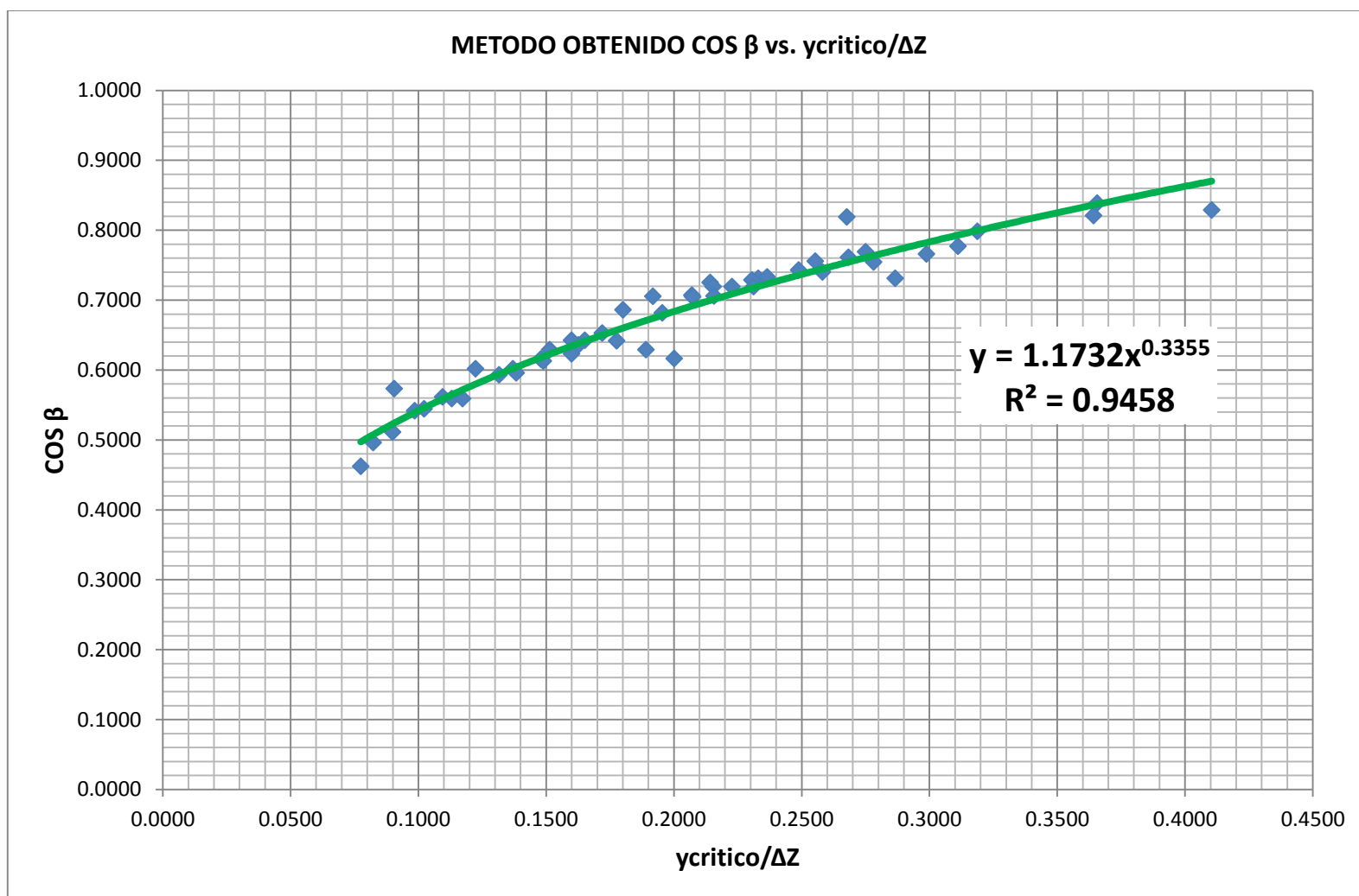
Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.43-. Relación. $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.44-. Relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

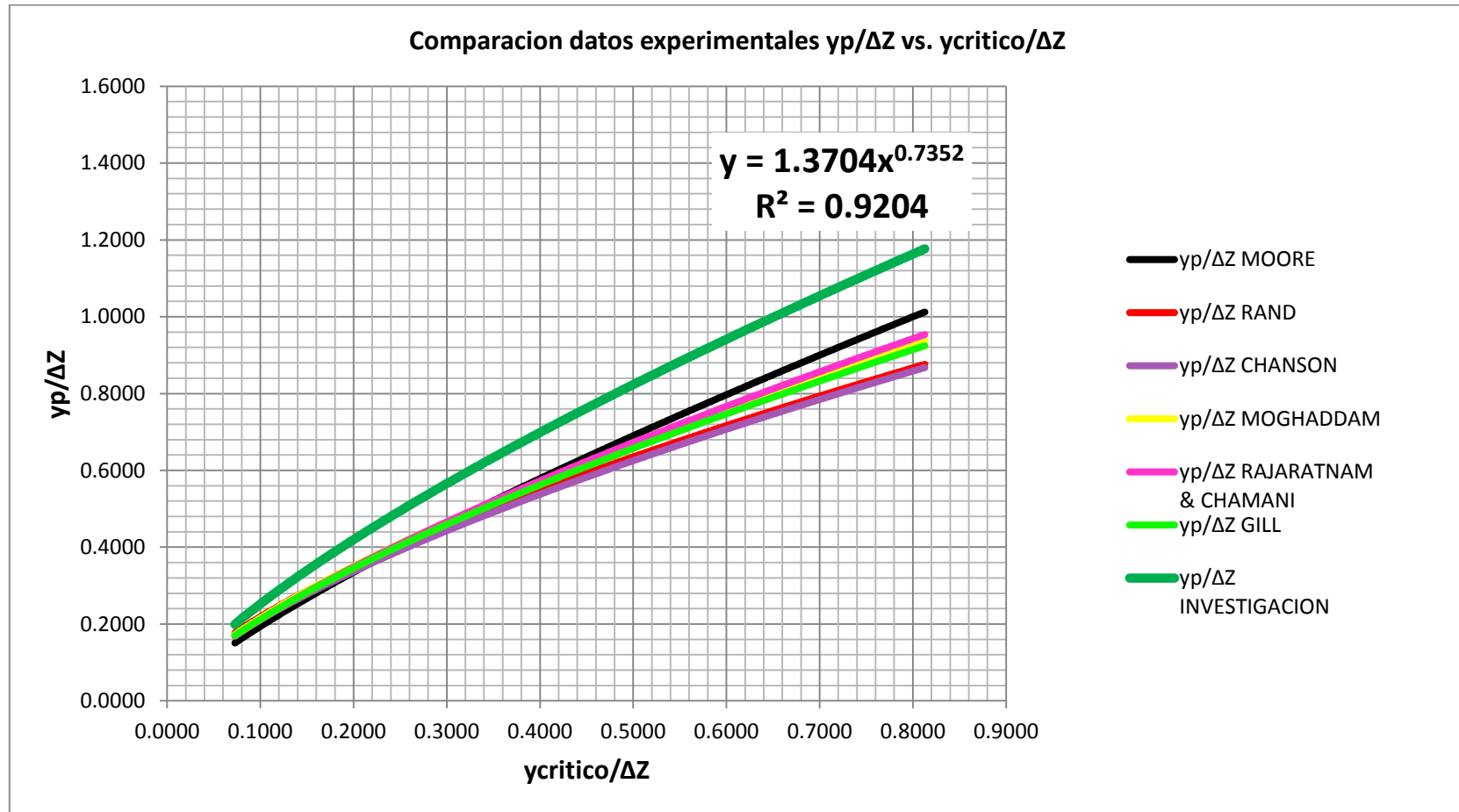
Figura 5.45-. Relación. $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación según la campaña experimental.

5.3. Comparación entre los diseños de los investigadores y los datos obtenidos en la campaña experimental

- La experimentación con distintas alturas de caídas verticales conjunto con la ventilación o no ventilación de las mismas permitieron observar físicamente y visualmente los cambios a los que se someten dicho tipo de estructuras.
- De la misma manera como se realizó anteriormente se separa los dos tipos de ensayos generales que se realizaron para luego de esta manera poder comparar las distintas curvas realizadas por los distintos investigadores y observar así de esta manera los cambios que se presentan en cada medida de las distintas variables que componen parte de lo que viene a ser la estructura de caída vertical.
- Esta comparación permitirá conocer las diferencias que puede originar las distintas condiciones a las que se somete el flujo hidráulico a alturas superiores de 2200 m.s.n.m, y así de esta manera tener un mejor control sobre el diseño acerca de este tipo de estructuras cuando estas se desarrollen a alturas superiores o similares a las que se encuentra la ciudad de Arequipa.

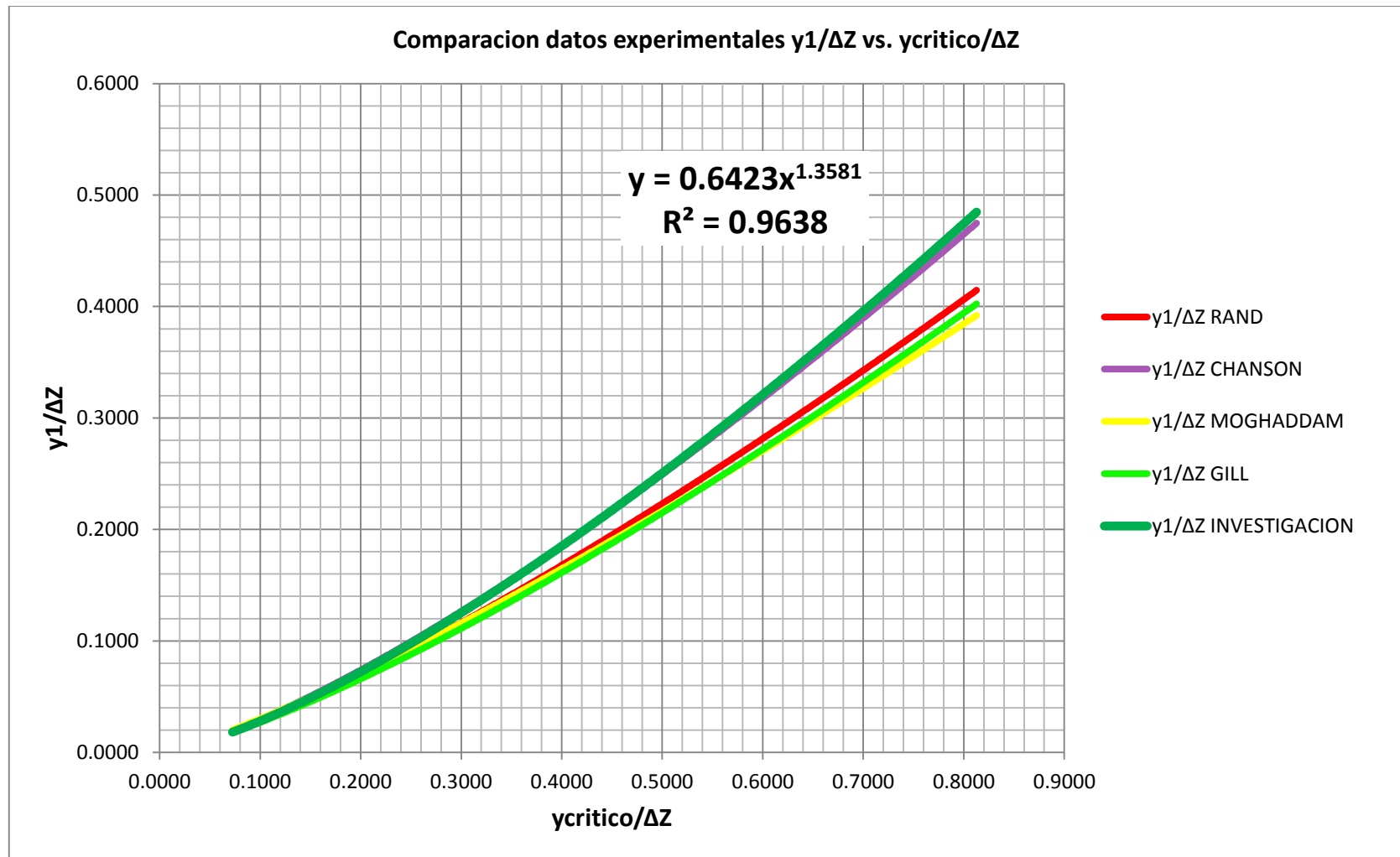
A continuación, se mostrara la comparación de estos diseños propuesto por los distintos investigadores, junto con el diseño propuesto en este proyecto de investigación.

5.3.1. Análisis comparativo de las distintas variables en las estructuras de caídas verticales sin ventilación



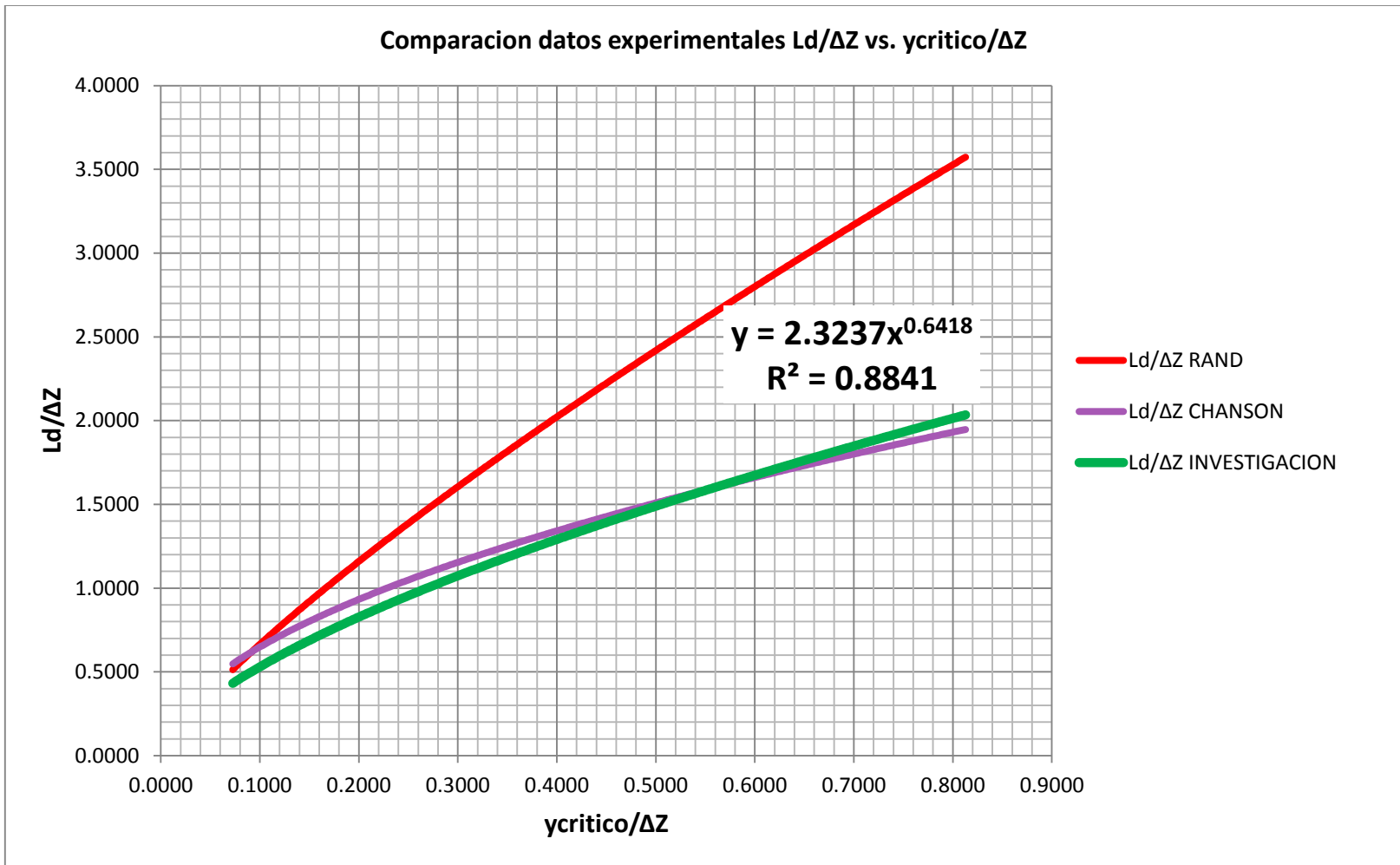
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.46-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.



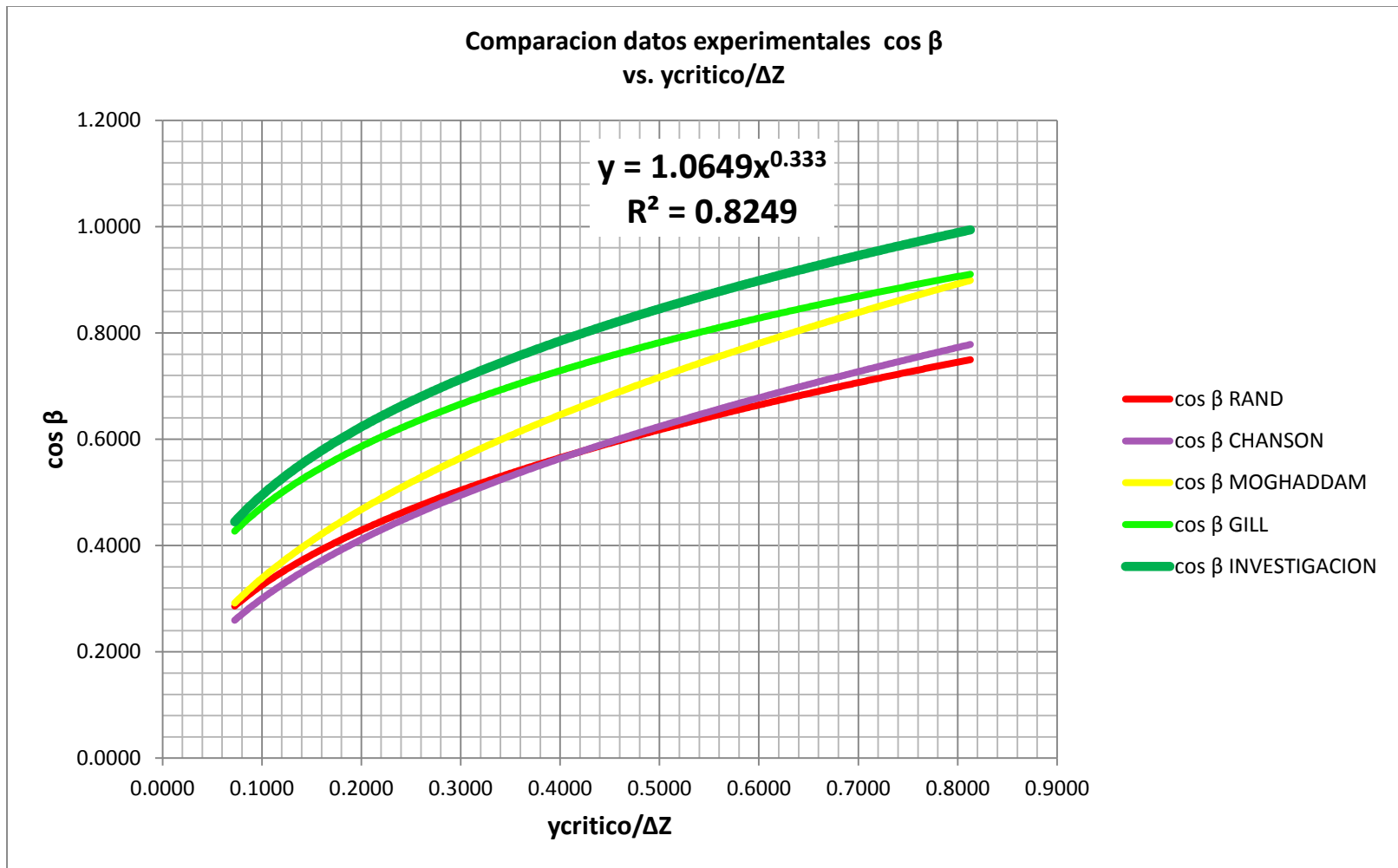
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.47-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

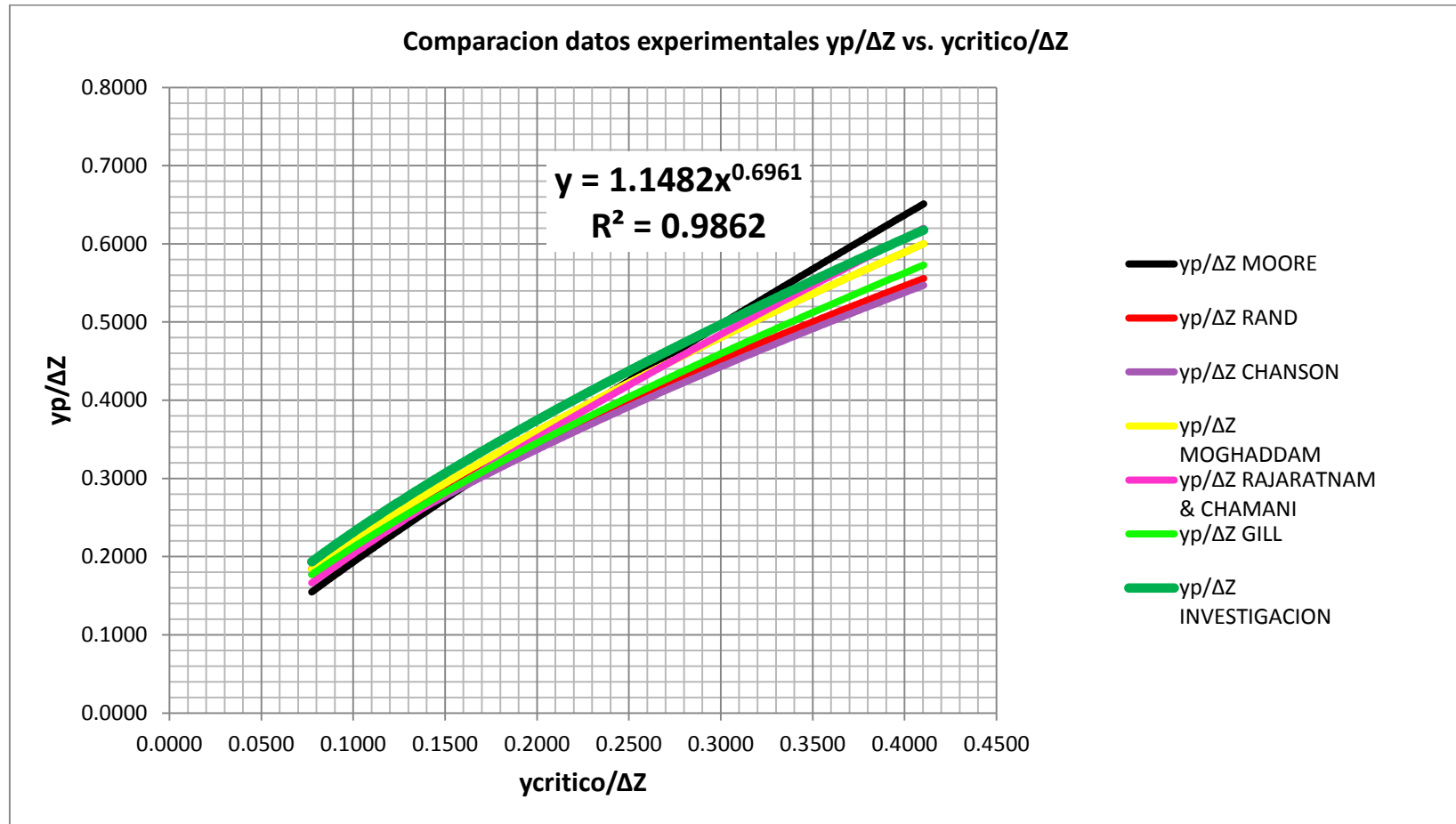
Figura 5.48-. Comparación de los datos experimentales para la relación $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

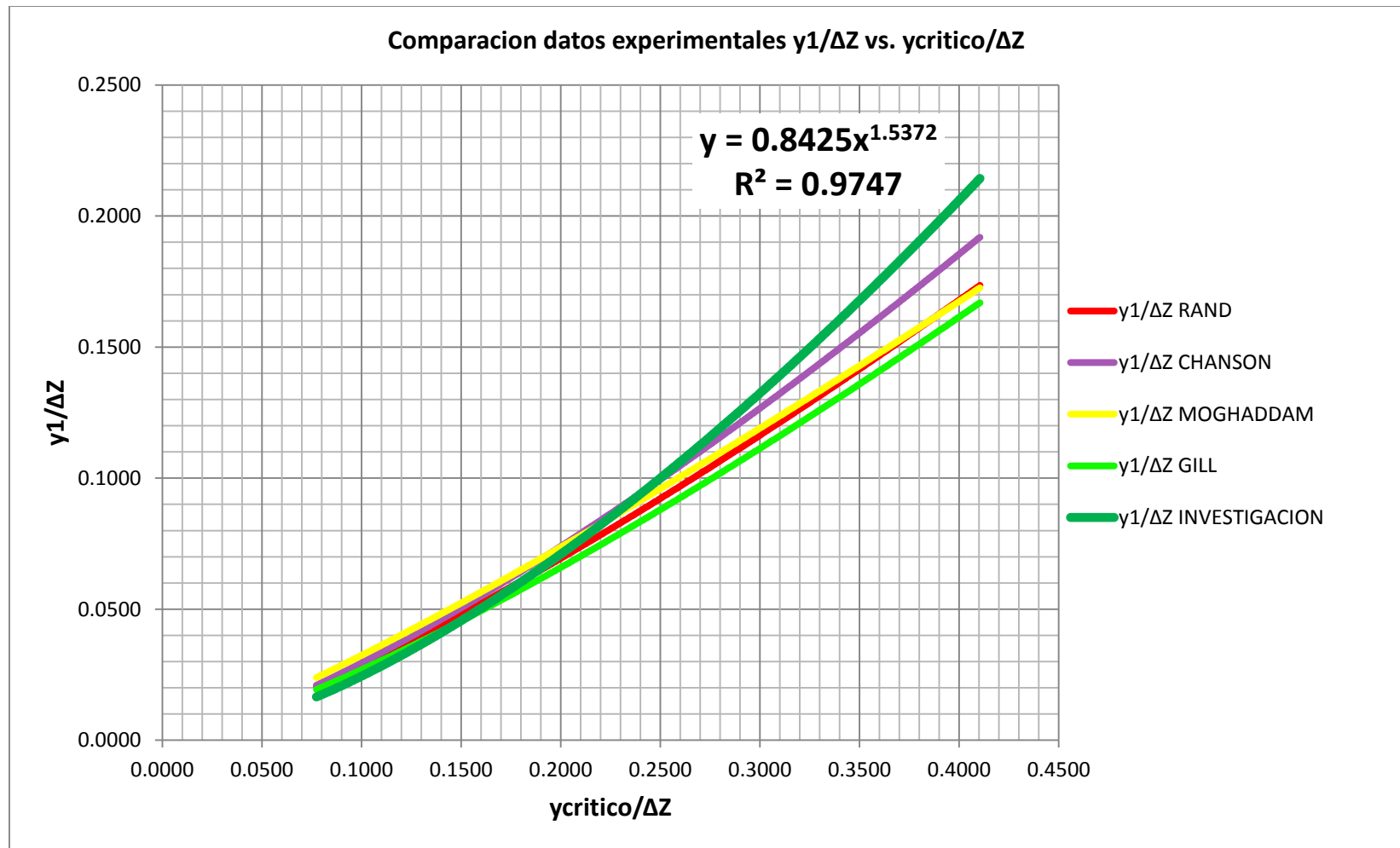
Figura 5.49-. Comparación de los datos experimentales para la relación $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales sin ventilación.

5.3.2. Análisis comparativo de las distintas variables en las estructuras de caídas verticales con ventilación



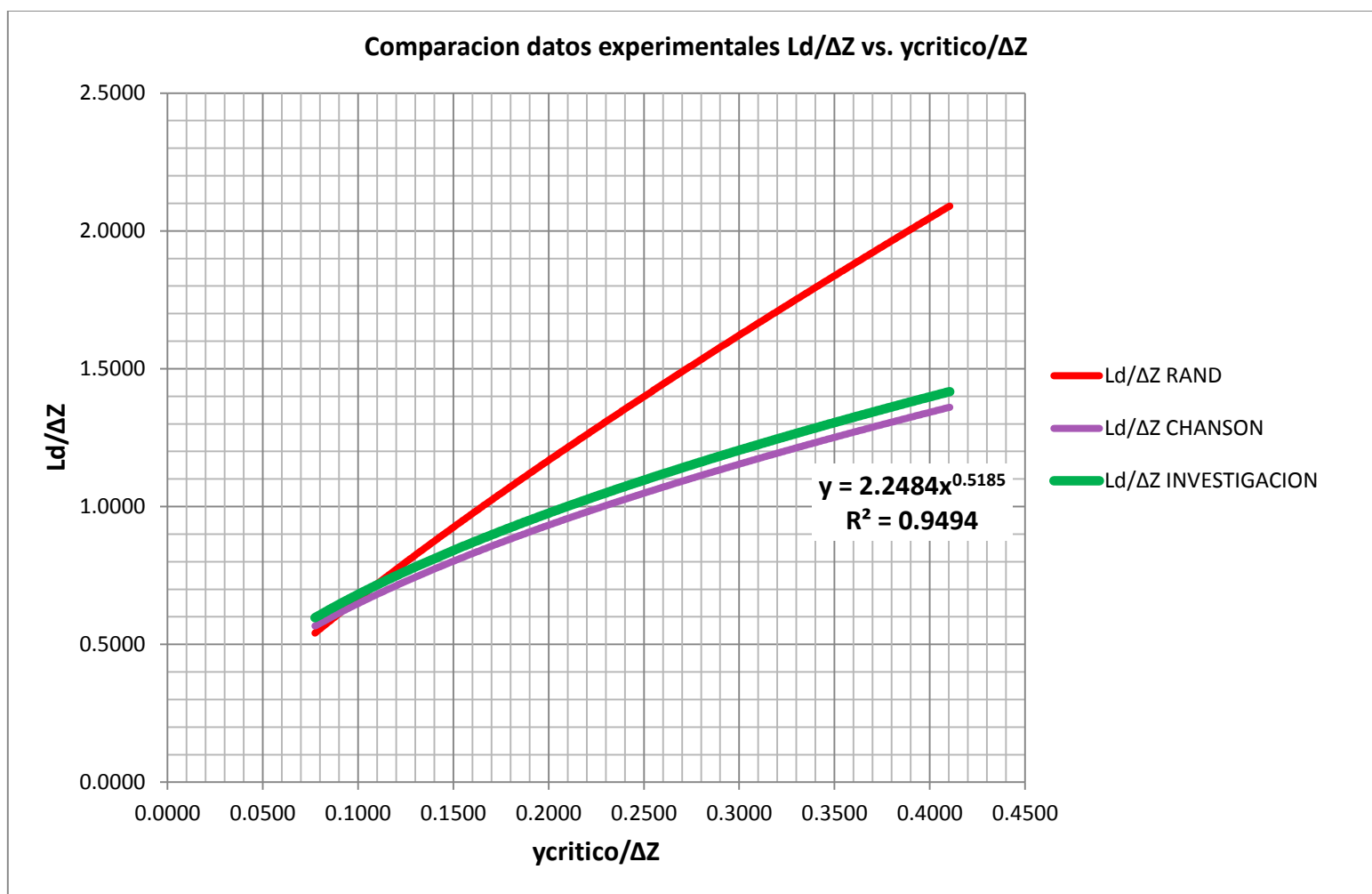
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.50-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.



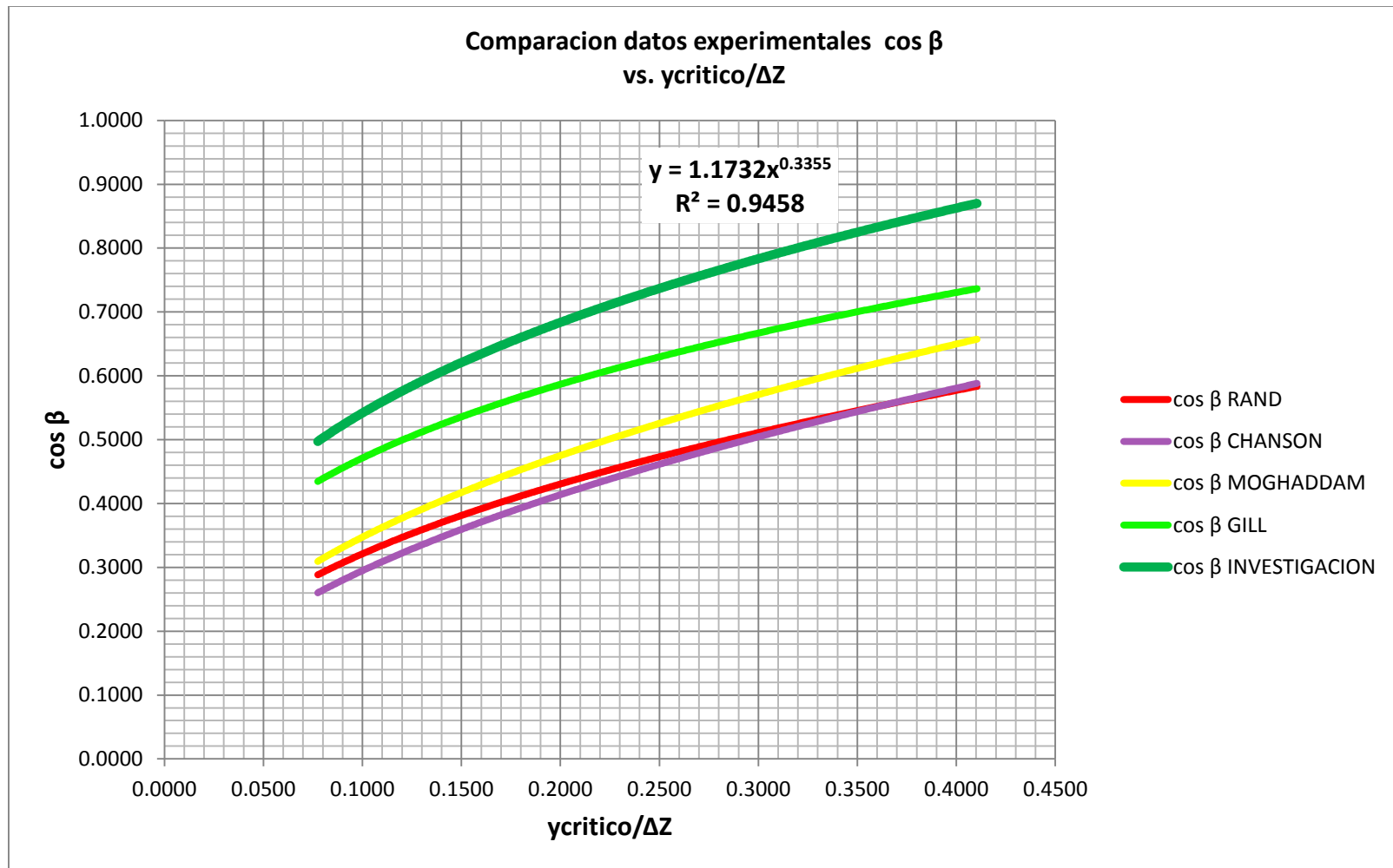
Elaboración: Huidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.51-. Comparación de los datos experimentales para la relación $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.



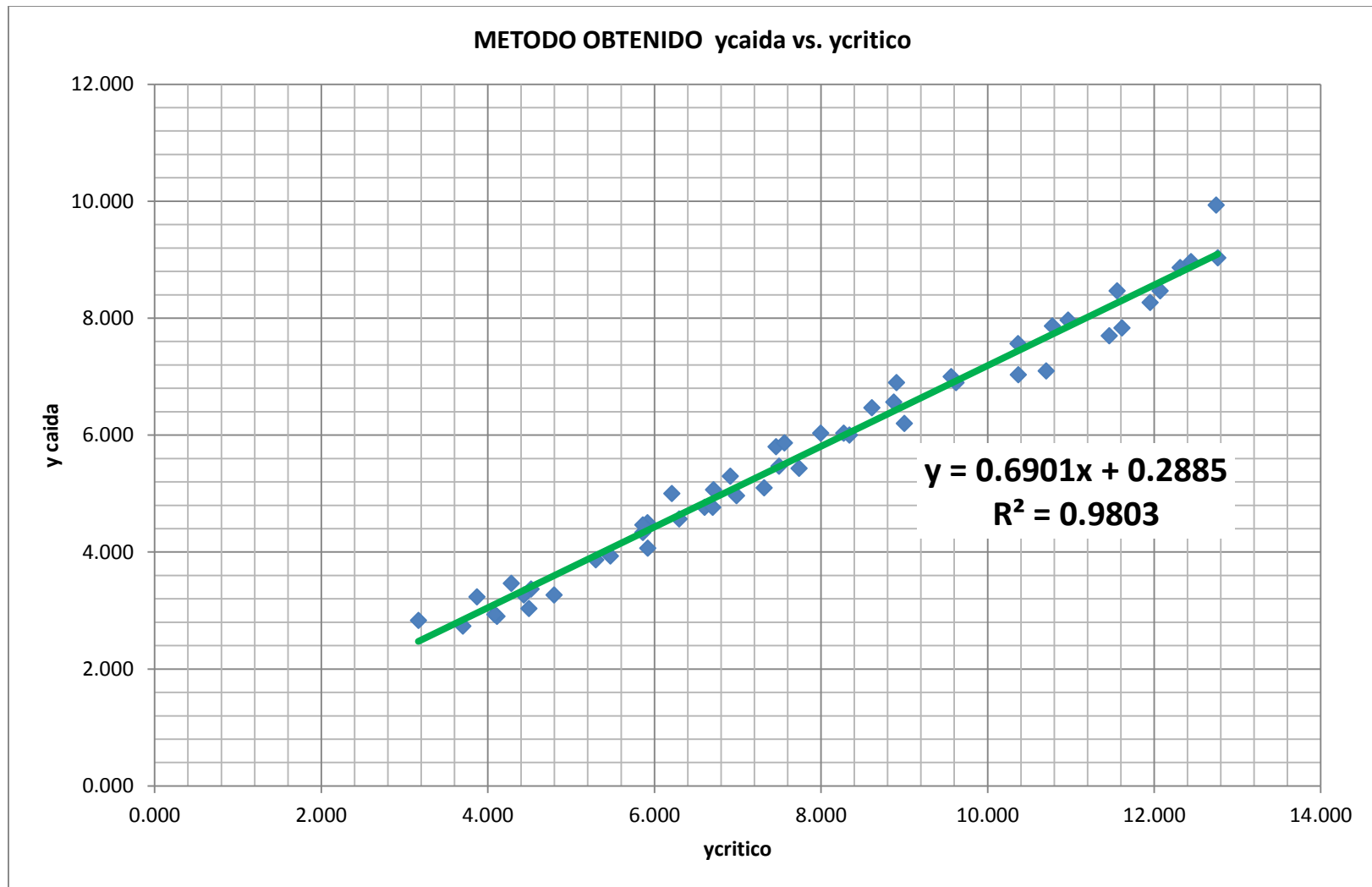
Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.52-. Comparación de los datos experimentales para la relación $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.53-. Comparación de los datos experimentales para la relación $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ para caídas verticales con ventilación.

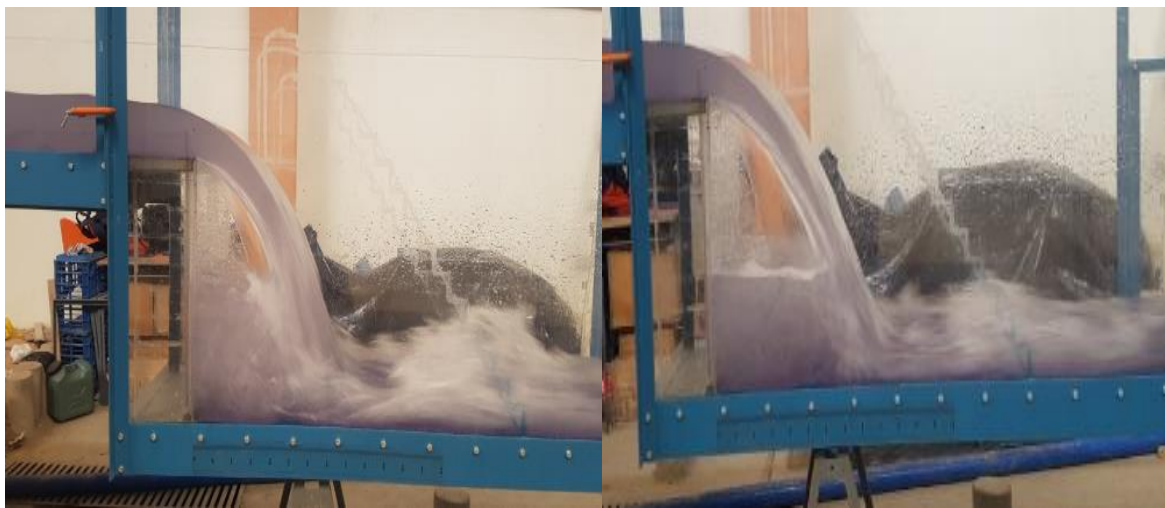


Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.54.-Relación y_{caida} vs. $y_{critico}$ para caídas verticales con ventilación y sin ventilación según los ensayos realizados.

CONCLUSIONES

- Se observó variación entre los ensayos que comprendieron la caída vertical ventilada y la no ventilada, donde los cambios en las variables aguas abajo fueron notables, tanto así que al ensayar caudales superiores a los 35 l/seg estos cambios se apreciaban no solo de manera física sino también de manera visual, donde se observó como principal cambio la forma del perfil de la caída observando de esta manera que al no encontrarse ventilada la caída, el chorro de agua tiende como a contraerse y pegarse a la pared de tal manera que el ángulo que tiene este con la base del canal se incrementa, de igual manera el tirante de la pared de la caída tiende a elevarse y la longitud del chorro disminuye, en cambio cuando la caída se encuentra ventilada el tirante de la piscina desciende y de la misma manera el ángulo del chorro, pero la longitud del chorro se eleva, permitiendo así un mejor desempeño de este tipo de estructura.



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Figura 5.55.-Comparación de perfiles: Caída no ventilada (izquierda), Caída ventilada (derecha) $Q= 62.00$ l/seg.

- Debido a la presencia de la caída, previo a la medida del tirante se puede presenciar el cambio del flujo subcrítico a supercrítico en la zona aguas arriba del canal, de esta manera se pudo comprobar el tirante crítico se ubica de entre 3 a cuatro veces la altura del tirante crítico y en algunos pocos casos a 5 veces la altura del tirante crítico.

- Analizando la gráfica de la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ se pudo determinar una diferencia entre los investigadores para el caso de la caída no ventilada de entre un 16 a un 21 % que podría ir en aumento debido a que por la falta de aireación de la zona en la recirculación del flujo que se encuentra bajo la parte del chorro va desplazando poco a poco la cantidad de aire que se encuentra debajo del chorro. Estos cambios generados por esta variable en el caso que se presente una caída vertical no ventilada, repercutirán de cierta forma en la medida de las demás variables de la estructura tales como " L_d " y " β ".
- Mientras que la relación $y_p/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ en el caso de la caída vertical ventilada existe una diferencia que ronda de entre el 6 al 11%, lo que indicaría que los efectos de la presión del aire de la zona en la cual se realizó el proyecto de investigación actuaría en forma circunstancial en el cambio del tirante de la pared de la caída en su diseño. Para este caso los datos obtenidos en laboratorio tienen cierta cercanía con los experimentos realizados por Moghaddam.
- En la gráfica de la relación $y_1/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ se puede evaluar que para los dos casos ensayados la diferencia porcentual de los valores obtenidos por los investigadores para esta grafica se encuentran de entre el 10 al 13% ,en parte se observa que la curva obtenida por los datos tomados en laboratorio tienen más cercanía con el diseño propuesto por Chanson para esta variable .Esta diferencia porcentual se debe a que es dependiente de la observación y medición del investigador, ya que la medida de esta variable se podría decir que resulta ser un poco dificultosa debido a su ubicación seguida del impacto del chorro con la base del canal.
- Se puede observar que en la gráfica de la relación $\cos \beta$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ los datos obtenidos en laboratorio con relación a los demás investigadores diferirían en un porcentaje que ronda el 7 al 30% para caídas verticales ventiladas, esto gran diferencia porcentual se podría deber a la forma de medición del ángulo durante los ensayos realizados, esto debido a que la medición de esta variable es un tanto dependiente de la visualización que tenga el investigador acerca del chorro ,se observa también que los datos obtenidos en laboratorio para el ángulo β tienen una diferencia porcentual de un 7% con los datos obtenidos en el diseño propuesto por Gill.

- Existe mayor disipación de la cantidad de energía en la caída no ventilada , esto debido a que el tirante y_p es mayor por lo que existe mayor recirculación de flujo.
- En función a la relación. $L_d/\Delta Z$ vs. $y_{critico}/\Delta Z$ la diferencia porcentual entre los ensayos realizados para caídas ventiladas difieren en relación a los demás investigadores de entre un 5 a 16 %, teniendo los datos una cercanía en la concordancia con el diseño para esta variable con el propuesto por Chanson.
- De manera adicional se analizó el cambio del tirante de la caída en función al tirante crítico mediante la grafica y_{caida} vs. $y_{critico}$,debido a que las perturbaciones que ocurren aguas arriba del canal no dependen de las condiciones aguas abajo del canal y mucho de la altura de la caída,, mediante esta evaluación de variables aguas arriba se pudo llegar a la conclusión que la ecuación propuesta para la determinación de esta variable obedece a la línea de tendencia lineal mostrada en la Figura 5.54 que tuvo un coeficiente de correlación $R^2= 0.9803$ dando como resultado:

$$y_{caida} = 0.6901y_{critico} + 0.2885$$

- Se utilizó un pre dimensionamiento para la ventilación en función a fórmulas utilizadas para el diseño de vertederos de cresta delgadas, esto debido a que no existen un diseño para la aeración adecuada para este tipo de estructuras.
- Como se nota en el desarrollo de este proyecto de investigación, existen diferencias en las variables para el diseño de caídas verticales, por lo que es necesario tener un diseño que se ajuste a las distintas condiciones en donde se ubique la estructura para así de esta manera esta tenga un desarrollo óptimo para el cual es construida.

- Las fuerzas de presión atmosférica y gravedad del sitio tienen influencia en las características del flujo y en las distintas variables geométricas en las estructuras de caída vertical.
- Las ecuaciones recomendadas para caídas verticales ventiladas en función a las líneas de tendencia potenciales son:

$$\frac{y_p}{\Delta Z} = 1.1482 \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{0.6961}$$

$$\frac{y_1}{\Delta Z} = 0.8425 \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{1.5372}$$

$$\frac{L_d}{\Delta Z} = 2.2484 \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{0.5185}$$

$$\cos \beta = 1.732 \left(\frac{y_{critico}}{\Delta Z} \right)^{0.3355}$$

RECOMENDACIONES

- Se recomienda las ecuaciones obtenidas de las curvas de las caídas verticales ventiladas, se obvian las formulas encontradas por las caídas verticales no ventiladas, por que debido a la falta de aireación que esta tiene puede causar fallas en la estructura como la aireación así como también fallas en las paredes laterales de la estructura.
- Se debe tener especial cuidado con los elementos de bombeo, en este caso motobombas, ya que su mantenimiento y observación diaria es de vital importancia para que estas trabajen de la manera más eficiente y también para evitar desperfectos.
- En caso que se realicen ensayos con mayor caudal, se requerirá una capacidad mayor de la piscina de almacenamiento para que los elementos de bombeo no succionen cantidades de aire y así evitar desperfectos dentro del mismo.
- Procurar precisión en todas las mediciones pertinentes de las distintas variables que componen la estructura para tener un resultado más ajustado en caso de investigaciones para el diseño de caídas verticales. Se recomienda uso de sensores ya sea para el control de caudal y tirantes de agua.
- Previo a la realización de las distintas mediciones de variables, la estructura debe ser correctamente nivelada para evitar perturbaciones en el flujo de agua.

- Colocar las tuberías de succión en zonas alejadas a la caída del chorro hacia la piscina de almacenamiento para así evitar que estas se levanten por acción de la reacción contra el golpe del chorro, de esta manera no ocurrirán desperfectos en el sistema de bombeo de las motobombas.
- Debido al impacto constante del chorro con la base del canal aguas abajo, se recomienda reforzar esta zona para evitar fallas en la base, o también se podría plantear como otra la solución, la construcción de un colchón amortiguador para así disipar de mayor manera la energía causada por el chorro de agua.
- Realizar campañas experimentales con modelos de dimensiones mayores a las utilizadas en esta investigación, para así realizar una comparación entre los dos modelos y tener de esta manera un diseño más preciso al mencionado en esta investigación. En caso no se tengan facilidades en realizar estudios con otro modelo, se recomienda también realizar estudios en el mismo modelo en el que se realizó esta investigación, pero con alturas mayores de caída a las que se utilizaron en esta tesis.
- En caso se quiera disipar más aun la energía generada por el flujo aguas abajo, se recomienda recurrir a estructuras de disipación, tales como, gradas de subida o losas dentadas cuyo diseño se puede encontrar en la USBR.
- Se recomienda también que para la medición, de manera que se tenga un control más preciso, ya sea para medición de caudales, velocidades, presiones o tirantes, sería ideal

contar con una distinta cantidad de sensores los cuales brindaran más certeza y precisión en la medición.

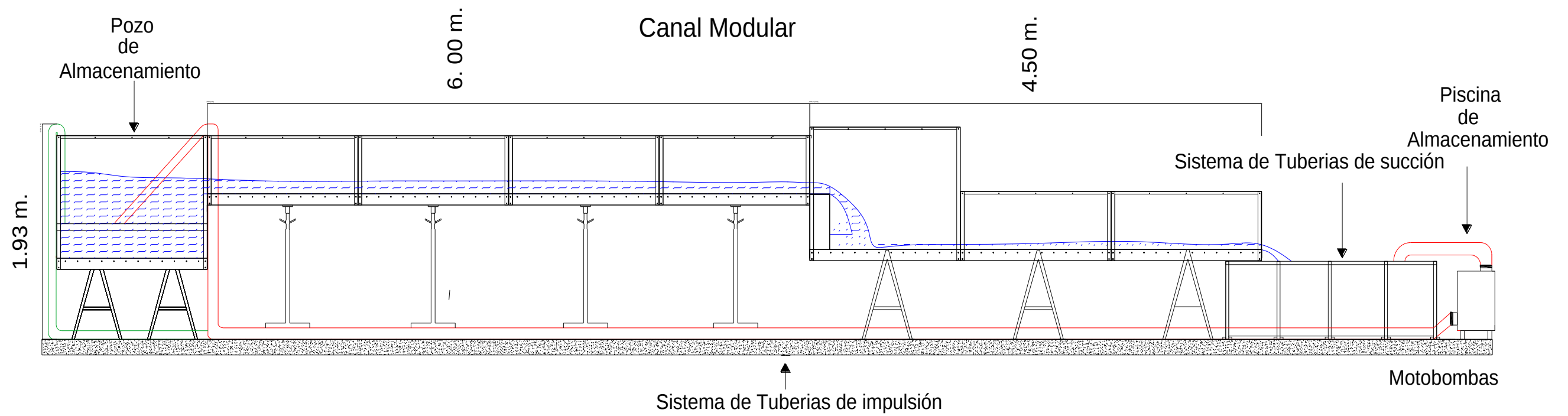
- De manera que se colabora con el cuidado al medio ambiente, se recomienda que para futuras investigaciones se recurra al uso de electrobombas, debido a que con el uso de motobombas se contamina no solo auditivamente sino también mediante los gases que esta expulsa.
- Incentivar el estudio de investigación acerca de todo tipo de estructuras a alumnos de pregrado y postgrado para conocer u comprender el desempeño y funcionamiento de estas y así de esta manera realizar su cálculo de la manera más eficiente y exacta posible.

BIBLIOGRAFÍA

- CHOW, Ven Te -“Hidráulica de los canales abiertos” MC Graw Hill Book Company 1982
- MARBELLO, Pérez Ramiro -“Manual de prácticas de Laboratorio de Hidráulica” Universidad Nacional De Colombia
- NAUDASCHER, Eduard –“Hidráulica en canales” Ed. LIMUSA S.A México -2002
- NOVAK P. ,MOFFAT A.I.B ,NALLURI C. – “Estructuras Hidráulicas” Segunda Edición MC Graw Hill Interamericana S.A Colombia 2001
- DOMINGUEZ, Francisco Javier- “Hidráulica” Ed. Universitarias
- FRENCH, Richard – “Hidráulica en canales abiertos”
- CHANSON, Hubert “Hidráulica del flujo en canales abiertos” MC Graw Hill Interamericana S.A Colombia
- MENDEZ, Manuel Vicente “Elementos de Hidráulica de canales” Primera Edición – Publicaciones UCAB 2001
- VILLON, Máximo, “Hidráulica de Canales” Ed. Villón Perú-2007
- CHANSON, HUBERT., (1996) “ Discussion appearing in Rajaratnam, N., Chamani, M.R”., (1995)
- CHANSON, HUBERT., (1994) "Comparison of Energy Dissipation between Nappe and Skimming Flow Regimes on Stepped Chutes," J. Hydr. Res., 32(2), 213-218.
- MOGHADDAM, MEHDI “A Modified Theory for Rectangular Vertical Drop Structures”

- MOORE, W.L. “Energy Loss at the Base of a Free Overfall, Transactions”, ASCE, Vol. 108, 1943.
- GILL, M. A. 1979 “Hydraulics of rectangular vertical drop structures” J. Hydraul. Res., 17, 289–302
- RAND, W. 1955, “Flow geometry at straight drop spillways.” Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 81, 1–13.

ANEXOS



Elaboración: Huvidia Rendón, Santiago Adolfo

Anexo 1 -. Planos canal modular desarrollo de Tesis “Análisis experimental del comportamiento del flujo hidráulico en caídas verticales”.

ENSAYOS EXPERIMENTALES EN CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS

PRUEBA	Az (cm.)	Q(0.98)	Q(0.95)	y(0.98)	y(0.95)	# Frenos y0	ENSAYOS EXPERIMENTALES EN CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS DE AZ= 0.17 m																																																																							
							FLUJO Y0				Y caída (cm.)				ycal por (cm.)				# Frenos ycaída				FLUJO Y1				Y1 por (cm.)				# Frenos y1				E1(mn)				yerr1 (cm.)				Eerr1 (m.)				FLUJO Y1				AE (m.)				Eerr1 (m.)				Ld (cm.)				Ld por (cm.)				R°				y2(cm.)				Z2 por (cm.)			
							V(0.98)	E(0.98)	V(0.95)	E(0.95)	V(0.98)	E(0.98)	V(0.95)	E(0.95)	V(0.98)	E(0.98)	V(0.95)	E(0.95)	V(0.98)	E(0.98)	V(0.95)	E(0.95)	V(0.98)	E(0.98)	V(0.95)	E(0.95)	yerr1 (cm.)	Eerr1 (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Eerr1 (m.)	Ld (cm.)	Ld por (cm.)	R°	y2(cm.)	Z2 por (cm.)																																										
#1	14.90	11.935	0.012	4.200	4.250	4.300	4.250	0.952	SUBCRITICO	0.614	0.211	3.250	3.200	3.200	3.217	1.446	SUPERCRITICO	7.500	7.450	7.350	7.433	1.631	1.600	1.400	1.600	1.533	4.394	1.701	0.163	4.114	0.221	SUPERCRITICO	0.047	0.211	15.200	15.100	14.900	15.067	45	1.400	1.300	1.400	1.367																																			
#2	14.90	14.984	0.015	5.500	5.500	5.500	5.533	0.805	SUBCRITICO	0.592	0.222	3.400	3.300	3.300	3.427	1.560	SUPERCRITICO	7.600	7.550	7.600	7.583	1.684	2.100	1.900	2.300	2.100	3.442	1.560	0.165	4.787	0.211	SUPERCRITICO	0.075	0.221	15.400	15.800	16.000	15.733	43	2.200	2.000	2.200	2.133																																			
#3	14.90	12.101	0.012	5.300	5.400	5.300	5.333	0.687	SUBCRITICO	0.496	0.215	2.800	3.000	2.900	2.900	1.730	SUPERCRITICO	7.200	7.100	7.000	7.100	1.656	2.000	2.000	2.100	2.033	2.917	1.301	0.107	4.151	0.211	SUPERCRITICO	0.104	0.211	15.300	15.200	15.300	15.267	44	2.300	2.000	2.100	2.133																																			
#4	14.90	15.401	0.015	5.600	5.600	5.600	5.600	0.915	SUBCRITICO	0.500	0.200	3.000	3.000	3.000	3.000	1.490	SUPERCRITICO	7.500	7.400	7.400	7.400	1.678	1.800	1.800	1.900	1.833	4.479	1.600	0.167	4.686	0.222	SUPERCRITICO	0.067	0.222	16.000	16.000	16.000	15.967	43	2.300	2.100	2.300	2.267																																			
#5	14.90	10.288	0.010	4.400	4.300	4.400	4.367	0.788	SUBCRITICO	0.515	0.206	3.400	3.500	3.400	3.433	1.130	SUPERCRITICO	7.600	7.630	7.500	7.577	1.589	1.500	1.500	1.600	1.533	3.787	1.467	0.125	4.726	0.205	SUPERCRITICO	0.080	0.205	15.300	15.400	15.200	15.300	44	1.400	1.500	1.400	1.433																																			
#6	14.90	11.526	0.012	4.000	4.100	4.000	4.033	0.995	SUBCRITICO	0.625	0.209	2.600	2.700	2.600	2.633	1.885	SUPERCRITICO	6.400	6.100	6.300	6.267	1.693	1.600	1.700	1.650	1.650	3.801	1.527	0.126	4.609	0.209	SUPERCRITICO	0.074	0.209	14.900	15.000	15.000	15.033	45	1.500	1.500	1.500	1.500																																			
#7	14.90	12.680	0.013	5.100	5.000	5.000	5.033	0.785	SUBCRITICO	0.551	0.215	2.900	3.000	3.000	2.967	1.735	SUPERCRITICO	7.100	7.000	7.300	7.133	1.666	2.100	2.200	2.200	2.167	2.779	1.279	0.105	4.283	0.213	SUPERCRITICO	0.108	0.213	15.400	15.300	15.400	15.367	44	2.000	2.000	2.000	2.000																																			
#8	14.90	13.580	0.014	5.100	5.000	5.100	5.067	0.833	SUBCRITICO	0.586	0.217	3.200	3.200	3.100	3.167	1.686	SUPERCRITICO	6.400	6.400	6.300	6.367	1.728	2.300	2.100	2.400	2.287	2.783	1.301	0.110	4.485	0.216	SUPERCRITICO	0.106	0.216	15.600	15.500	15.500	15.533	44	2.600	2.500	2.600	2.567																																			
#9	14.90	15.315	0.015	5.400	5.400	5.400	5.400	0.940	SUBCRITICO	0.510	0.204	3.000	3.000	3.000	3.000	1.486	SUPERCRITICO	7.500	7.400	7.400	7.400	1.678	1.800	1.800	1.900	1.833	4.479	1.600	0.167	4.686	0.222	SUPERCRITICO	0.067	0.222	16.000	16.000	16.000	15.967	43	2.300	2.100	2.300	2.267																																			
#10	14.90	15.732	0.016	5.600	5.700	5.600	5.633	0.822	SUBCRITICO	0.610	0.224	3.700	3.600	3.500	3.600	1.686	SUPERCRITICO	7.900	7.800	7.600	7.933	1.627	2.300	2.400	2.400	2.300	3.023	1.453	0.132	4.945	0.223	SUPERCRITICO	0.092	0.223	16.100	16.200	16.300	16.167	43	2.500	2.500	2.500	2.500																																			
#11	14.90	10.802	0.011	4.600	4.400	4.500	4.500	0.791	SUBCRITICO	0.525	0.208	2.700	2.800	2.700	2.733	1.671	SUPERCRITICO	6.600	7.000	6.600	6.633	1.657	1.500	1.600	1.600	1.500	4.110	1.574	0.142	3.849	0.207	SUPERCRITICO	0.065	0.207	14.900	15.000	15.000	14.967	45	1.600	1.600	1.600	1.600																																			
#12	14.90	14.138	0.014	5.400	5.300	5.200	5.300	0.810	SUBCRITICO	0.583	0.219	3.500	3.600	3.500	3.533	1.683	SUPERCRITICO	7.600	7.700	7.600	7.633	1.665	2.400	2.300	2.300	2.333	2.773	1.324	0.113	4.605	0.218	SUPERCRITICO	0.105	0.218	15.300	15.400	15.600	15.433	44	2.400	2.500	2.500	2.467																																			
#13	14.90	14.729	0.015	5.300	5.400	5.300	5.333	0.805	SUBCRITICO	0.545	0.213	3.000	3.100	3.000	3.033	1.605	SUPERCRITICO	7.400	7.300	7.400	7.333	1.650	2.100	2.100	2.200	2.150	3.813	1.450	0.132	4.780	0.219	SUPERCRITICO	0.102	0.219	15.500	15.600	15.700	15.567	44	2.400	2.500	2.500	2.467																																			
#14	14.90	17.259	0.017	6.300	6.100	6.300	6.233	0.775	SUBCRITICO	0.605	0.230	3.700	3.900	3.600	3.733	1.673	SUPERCRITICO	9.000	9.100	9.000	9.033	1.923	2.500	2.400	2.700	2.533	2.992	1.489	0.139	5.250	0.228	SUPERCRITICO	0.089	0.228	16.100	16.200	16.100	16.133	43	2.400	2.500	2.200	2.367																																			
#15	14.90	21.655	0.022	6.500	7.000	6.800	6.767	0.860	SUBCRITICO	0.700	0.242	4.400	4.500	4.500	4.500	1.604	SUPERCRITICO	9.500	9.700	9.800	9.667	1.679	2.600	2.800	2.500	2.533	3.542	1.798	0.192	6.119	0.241	SUPERCRITICO	0.049	0.241	20.200	20.000	20.200	20.133	37	2.900	2.400	2.800	2.700																																			
#16	14.90	21.281	0.021	7.700	7.400	7.500	7.533	0.719	SUBCRITICO	0.617	0.244	4.600	4.500	4.700	4.600	1.508	SUPERCRITICO	10.800	10.900	11.000	10.900	1.599	2.900	3.000	3.100	3.000	2.863	1.551	0.153	6.049	0.240	SUPERCRITICO	0.087	0.240	18.000	18.200	18.300	18.167	39	2.500	2.800	2.700	2.667																																			
#17	14.90	18.581	0.020	6.100	5.900	6.000	5.967	0.810	SUBCRITICO	0.546	0.231	3.000	3.100	3.000	3.033	1.633	SUPERCRITICO	9.000	9.100	9.000	9.033	1.923	2.500	2.400	2.700	2.533	3.542	1.798	0.192	6.119	0.241	SUPERCRITICO	0.049	0.241	20.200	20.000	20.200	20.133	37	2.900	2.400	2.800	2.700																																			
#18	14.90	27.982	0.024	7.300	7.400	7.300	7.333	0.982	SUBCRITICO	0.832	0.255	4.300	4.400	4.200	4.300	1.500	SUPERCRITICO	14.000	14.100	14.000	14.033	1.539	3.200	3.200	3.100	3.167	3.461	1.926	0.221	7.246	0.239	SUPERCRITICO	0.036	0.239	18.100	18.100	18.200	18.167	39	2.500	2.800	2.700	2.667																																			
#19	14.90	20.009	0.020	6.800	6.700	6.700	6.733	0.801	SUBCRITICO	0.650	0.238	4.600	4.700	4.700	4.667	1.387	SUPERCRITICO	10.100	10.200	10.100	10.133	1.623	2.800	2.900	2.600	2.767	3.309	1.581	0.155	6.085	0.236	SUPERCRITICO	0.081	0.236	18.000	17.900	18.000	17.967	40	2.600	3.000	2.700	2.767																																			
#20	14.90	31.862	0.032	8.100	8.000	7.800	7.967	0.990	SUBCRITICO	0.874	0.268	6.300	6.500	6.200	6.267	1.397	SUPERCRITICO	14.000	14.000	14.900	14.900	1.524	4.000	3.900	4.100	4.000	2.784	1.741	0.195	5.916	0.268	SUPERCRITICO	0.073	0.268	20.800	21.000	20.700	20.833	36	4.500	4.200	4.100	4.267																																			
#21	14.90	35.194	0.035	8.600	8.700	8.600	8.633	0.970	SUBCRITICO	0.891	0.276	6.500	6.400	6.400	6.433	1.433	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.500	4.100	4.200	4.000	4.000	2.859	1.876	0.211	6.459	0.276	SUPERCRITICO	0.055	0.276	22.900	23.100	23.100	23.033	33	4.000	4.800	4.500	4.433																																			
#22	14.90	28.462	0.028	7.900	7.800	7.800	7.800	0.940	SUBCRITICO	0.786	0.260	5.400	5.500	5.400	5.433	1.548	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.548	4.000	3.100	3.400	3.233	3.372	1.600	0.200	6.250	0.280	SUPERCRITICO	0.042	0.280	20.800	20.800	20.700	20.767	36	3.500	3.800	3.700	3.600																																			
#23	14.90	40.177	0.040	9.400	9.300	9.300	9.333	0.992	SUBCRITICO	0.948	0.288	6.500	6.400	6.500	6.467	1.721	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.500	4.300	4.200	4.500	4.333	3.137	2.042	0.257	9.285	0.288	SUPERCRITICO	0.032	0.288	24.300	24.200	24.300	24.267	32	4.900	4.800	4.800	4.833																																			
#24	14.90	43.683	0.044	9.500	11.000	10.200	10.200	0.936	SUBCRITICO	0.934	0.296	6.700	7.000	7.100	6.933	1.669	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.692	6.000	5.900	5.900	5.933	2.109	1.606	0.191	9.757	0.295	SUPERCRITICO	0.104	0.295	25.200	25.000	25.200	25.133	31	5.100	5.000	5.100	5.067																																			
#25	14.90	52.726	0.053	11.900	11.800	11.100	11.600	0.933	SUBCRITICO	0.994	0.315	8.500	9.000	9.000	8.833	1.469	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.602	6.000	6.200	6.000	6.067	2.067	1.600	0.245	11.975	0.325	SUPERCRITICO	0.070	0.315	28.500	28.200	28.500	28.400	24	6.000	5.900	5.800	5.900																																			
#26	14.90	57.595	0.063	12.000	11.900	11.500	11.800	0.925	SUBCRITICO	1.052	0.325	9.000	8.900	8.900	8.933	1.167	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.602	6.000	6.200	6.000	6.067	2.067	1.600	0.245	11.975	0.325	SUPERCRITICO	0.070	0.315	28.500	28.200	28.500	28.400	24	6.000	5.900	5.800	5.900																																			
#27	14.90	52.678	0.052	12.000	12.000	11.500	12.000	0.982	SUBCRITICO	0.949	0.331	8.900	7.700	8.700	8.700	1.167	SUPERCRITICO	14.900	14.900	14.900	14.900	1.																																																								

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS DE AZ = 0.20 m																																											
PRIERA	Az (cm.)	Q(0seg)	Q(30seg)	y0(cm.)	y0 prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	EI(0m.)	Y caida (cm.)	ycaid prom (cm.)	# Froude ycaid	FLUJO Ycaid	yp (cm.)	yp prom (cm.)	yp (m/s)	yI (cm.)	yI prom (cm.)	# Froude yI	VI(m/s)	EI(1m.)	ycri (cm.)	Ecri (m.)	FLUJO Y2	AE (m.)	Ecri (m.)	LD (cm.)	Ld prom (cm.)	LD (m.)	y2 (cm.)	z2 prom (cm.)												
#1	20.000	9.325	0.009	4.100	4.200	4.300	0.757	SUBCRITICO	0.485	0.254	2.600	2.700	2.800	2.700	1.499	SUPERCRITICO	7.200	7.300	7.400	7.267	1.874	0.910	1.000	0.950	0.953	7.003	2.138	0.243	3.489	0.252	SUPERCRITICO	0.009	0.252	19.600	19.600	19.567	46	1.300	1.500	2.000	1.600		
#2	20.000	12.896	0.010	5.700	5.800	5.900	1.062	SUBCRITICO	0.676	0.359	3.600	3.700	3.800	3.700	2.061	SUPERCRITICO	1.200	1.300	1.400	1.267	2.419	1.060	1.000	0.943	0.947	10.438	2.963	0.265	4.548	0.268	SUPERCRITICO	0.009	0.268	18.400	18.400	18.300	45	1.300	1.500	2.000	1.600		
#3	20.000	13.859	0.014	5.300	5.500	5.600	0.758	SUBCRITICO	0.554	0.270	2.900	2.700	3.000	2.800	1.569	SUPERCRITICO	8.800	8.900	9.000	8.833	1.874	1.400	1.300	1.300	1.267	6.064	2.217	0.265	3.484	0.268	SUPERCRITICO	0.003	0.268	20.900	21.100	21.000	21.000	44	1.600	1.800	2.000	1.800	
#4	20.000	14.811	0.015	5.600	5.500	5.300	0.810	SUBCRITICO	0.592	0.273	3.300	3.500	3.300	3.333	1.701	SUPERCRITICO	9.900	9.200	9.200	9.500	1.867	1.500	1.400	1.500	1.467	5.829	2.207	0.264	3.470	0.271	SUPERCRITICO	0.007	0.271	22.300	22.200	22.600	22.467	42	1.800	2.000	2.200	2.000	
#5	20.000	15.090	0.015	5.600	5.900	5.700	0.733	SUBCRITICO	0.575	0.274	3.500	3.400	3.900	3.600	1.544	SUPERCRITICO	9.100	9.200	8.900	9.067	1.884	1.700	1.600	1.700	1.667	4.902	1.979	0.271	4.810	0.272	SUPERCRITICO	0.005	0.272	22.700	23.000	22.200	22.833	41	1.300	2.000	1.700	1.667	
#6	20.000	9.818	0.009	4.700	4.400	4.600	0.703	SUBCRITICO	0.470	0.257	2.900	2.900	2.900	2.900	1.457	SUPERCRITICO	7.400	7.600	7.400	7.467	1.874	1.400	1.300	1.300	1.267	6.064	2.217	0.265	3.489	0.268	SUPERCRITICO	0.009	0.268	19.600	19.600	19.567	46	1.300	1.500	2.000	1.600		
#7	20.000	10.771	0.011	4.900	4.700	4.400	0.747	SUBCRITICO	0.504	0.260	2.500	2.700	2.700	2.633	1.762	SUPERCRITICO	7.400	7.600	7.800	7.600	1.885	1.100	1.200	1.100	1.133	6.240	2.077	0.232	3.814	0.258	SUPERCRITICO	0.026	0.258	19.700	19.600	19.600	19.633	46	1.500	1.700	1.300	1.500	
#8	20.000	13.740	0.014	5.300	5.100	5.000	0.818	SUBCRITICO	0.581	0.269	3.100	2.900	3.100	3.033	1.761	SUPERCRITICO	8.400	7.800	8.600	8.567	1.887	1.500	1.400	1.200	1.367	6.011	2.198	0.264	3.581	0.268	SUPERCRITICO	0.007	0.268	19.700	19.500	19.600	19.567	46	1.700	2.000	1.800	1.833	
#9	20.000	14.853	0.015	5.500	5.300	5.700	0.805	SUBCRITICO	0.590	0.273	3.800	3.600	3.700	3.767	1.760	SUPERCRITICO	9.200	9.300	9.600	9.367	1.894	1.600	1.500	1.600	1.567	5.295	2.072	0.235	4.479	0.271	SUPERCRITICO	0.036	0.271	21.600	21.700	21.600	21.633	43	2.000	1.800	2.200	1.933	
#10	20.000	15.185	0.015	5.400	5.400	5.400	0.812	SUBCRITICO	0.592	0.270	3.900	3.900	3.900	3.900	1.759	SUPERCRITICO	9.000	9.000	9.000	9.000	1.892	1.600	1.600	1.600	1.600	5.295	2.072	0.235	4.479	0.271	SUPERCRITICO	0.036	0.271	21.600	21.700	21.600	21.633	43	2.000	1.800	2.200	1.933	
#11	20.000	25.372	0.025	7.500	8.000	7.800	0.767	0.819	SUBCRITICO	0.714	0.304	4.900	5.000	4.900	4.933	1.620	SUPERCRITICO	14.000	13.700	13.300	13.733	1.785	3.200	3.500	3.300	3.263	3.050	1.715	0.183	6.701	0.209	SUPERCRITICO	0.119	0.302	21.300	21.500	21.600	21.533	43	2.500	3.000	2.700	2.733
#12	20.000	18.134	0.018	6.500	6.400	6.500	0.667	0.771	SUBCRITICO	0.613	0.284	3.900	3.800	3.700	3.733	1.710	SUPERCRITICO	14.500	11.700	12.000	12.733	1.733	3.100	2.000	1.800	1.900	4.840	2.086	0.242	5.437	0.232	SUPERCRITICO	0.040	0.282	17.600	17.700	17.700	17.667	52	2.100	2.300	2.100	2.167
#13	20.000	30.550	0.031	8.000	8.200	8.300	0.8167	0.915	SUBCRITICO	0.818	0.316	5.500	5.400	5.400	5.433	1.686	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.937	3.500	3.400	3.200	3.367	3.457	1.983	0.235	5.697	0.315	SUPERCRITICO	0.081	0.315	21.000	22.000	22.200	22.063	45	3.000	3.000	3.100	3.000
#14	20.000	30.834	0.031	8.000	8.200	8.300	0.8167	0.915	SUBCRITICO	0.818	0.316	5.500	5.400	5.400	5.433	1.686	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.937	3.500	3.400	3.200	3.367	3.457	1.983	0.235	5.697	0.315	SUPERCRITICO	0.081	0.315	21.000	22.000	22.200	22.063	45	3.000	3.000	3.100	3.000
#15	20.000	39.685	0.040	9.400	9.200	9.500	0.967	0.968	SUBCRITICO	0.926	0.338	6.000	6.500	6.200	6.233	1.782	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.940	4.300	4.200	4.300	4.267	3.418	2.033	0.254	9.164	0.347	SUPERCRITICO	0.083	0.337	25.900	26.000	26.100	26.000	41	4.000	4.500	4.300	4.267
#16	20.000	44.410	0.044	9.600	10.000	10.100	0.967	0.997	SUBCRITICO	0.981	0.348	6.900	7.000	6.800	6.900	1.783	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.762	4.600	4.500	4.300	4.433	3.233	1.968	0.247	9.877	0.348	SUPERCRITICO	0.101	0.348	28.800	28.500	23.200	26.767	40	4.600	4.300	4.500	4.467
#17	20.000	56.490	0.056	12.000	12.500	12.233	0.923	SUBCRITICO	1.009	0.374	8.100	8.000	7.900	8.000	1.745	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.844	5.900	6.000	5.900	5.933	3.234	1.968	0.247	9.877	0.348	SUPERCRITICO	0.093	0.374	33.200	33.000	35.000	33.733	34	5.000	5.700	5.500	5.600	
#18	20.000	54.410	0.054	11.700	11.854	11.900	0.923	SUBCRITICO	1.009	0.374	8.100	8.000	7.900	8.000	1.745	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.844	5.900	6.000	5.900	5.933	3.234	1.968	0.247	9.877	0.348	SUPERCRITICO	0.093	0.374	33.200	33.000	35.000	33.733	34	5.000	5.700	5.500	5.600	
#19	20.000	60.053	0.056	12.000	12.500	12.900	1.2633	0.935	SUBCRITICO	1.039	0.382	8.200	8.500	8.600	8.433	1.732	SUPERCRITICO	20.000	20.000	20.000	20.000	1.882	6.300	6.200	6.200	6.200	2.697	2.106	0.289	11.096	0.381	SUPERCRITICO	0.092	0.381	35.900	36.200	36.000	36.033	32	6.000	6.500	6.500	6.367

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS A $\Delta z = 0.50\text{ m}$.																																											
PURLETA	A_z (cm.)	$Q(t)/m^2$	$Q(t)/m^2$	$y(t)$ (cm.)	$y(t)$ (cm.)	# Froude y_0	FLUJO y_0	$V(t)$ (m/s)	$E(t)$ (m.)	Y caida (cm.)	y_{cal} prom (cm.)	# Froude y_{cal}	FLUJO y_{cal}	y prom (cm.)	y prom (cm.)	V (m/s)	E (m.)	y_{crit} (cm.)	E_{crit} (m.)	FLUJO y_1	A_E (m.)	E_{crit} (m.)	L_d (cm.)	L_d prom (cm.)	β^0	y_2 (cm.)	z prom (cm.)																
#1	25.000	10.100	0.010	4.100	4.200	4.300	4.200	0.823	SUBCRITICO	0.528	0.306	2.600	2.700	2.800	2.700	1.598	SUPERCRITICO	7.200	7.300	7.400	7.267	2.133	0.910	1.100	0.950	0.953	7.615	2.325	0.286	3.690	0.305	SUPERCRITICO	0.019	0.305	19.600	19.600	19.500	19.567	52	1.300	1.500	2.000	1.600
#2	25.000	12.196	0.012	5.100	4.800	4.500	4.967	0.783	SUBCRITICO	0.546	0.315	2.700	2.600	2.700	2.600	1.592	SUPERCRITICO	7.900	8.100	7.900	7.967	2.137	1.200	1.000	1.400	1.200	6.592	2.258	0.278	4.219	0.313	SUPERCRITICO	0.041	0.313	19.600	19.600	19.300	19.433	52	1.800	1.500	2.000	1.700
#3	25.000	13.870	0.014	5.200	5.100	5.000	5.100	0.763	SUBCRITICO	0.564	0.320	2.800	2.700	2.800	2.700	1.587	SUPERCRITICO	8.200	8.300	8.200	8.267	2.140	1.200	1.000	1.400	1.200	6.463	2.240	0.278	4.554	0.318	SUPERCRITICO	0.063	0.318	20.900	21.000	21.000	20.967	52	1.800	1.500	2.000	1.800
#4	25.000	14.811	0.015	5.600	5.500	5.300	5.467	0.810	SUBCRITICO	0.592	0.323	3.200	3.500	3.300	3.333	1.701	SUPERCRITICO	9.400	9.900	9.200	9.500	2.103	1.300	1.500	1.300	1.367	6.480	2.369	0.301	4.750	0.321	SUPERCRITICO	0.021	0.321	22.300	22.500	22.600	22.467	48	1.800	2.000	2.700	2.000
#5	25.000	15.900	0.015	5.600	5.900	5.700	5.733	0.768	SUBCRITICO	0.575	0.324	3.500	3.400	3.900	3.600	1.544	SUPERCRITICO	9.100	9.200	8.700	9.067	2.128	1.500	1.600	1.300	1.467	5.938	2.249	0.273	4.801	0.322	SUPERCRITICO	0.049	0.322	22.700	23.000	22.800	22.833	48	1.300	2.000	1.700	1.667
#6	25.000	18.365	0.010	4.700	4.400	4.600	4.567	0.742	SUBCRITICO	0.496	0.308	2.700	2.900	2.900	2.833	1.590	SUPERCRITICO	7.400	7.100	7.600	7.367	2.132	0.900	1.100	1.100	1.100	7.245	2.266	0.272	3.744	0.306	SUPERCRITICO	0.034	0.306	19.700	19.600	19.900	19.733	52	1.100	1.800	1.500	1.467
#7	25.000	18.071	0.011	4.900	4.700	4.400	4.667	0.747	SUBCRITICO	0.504	0.310	2.500	2.700	2.700	2.633	1.762	SUPERCRITICO	7.400	7.600	7.800	7.600	2.128	1.100	1.200	1.100	1.133	6.240	2.077	0.232	3.841	0.308	SUPERCRITICO	0.076	0.308	19.700	19.600	19.600	19.633	52	1.500	1.700	1.300	1.500
#8	25.000	18.740	0.012	5.100	5.100	5.100	5.100	0.818	SUBCRITICO	0.510	0.310	2.700	2.700	2.700	2.700	1.581	SUPERCRITICO	8.100	8.100	8.600	8.267	2.127	1.100	1.200	1.100	1.133	6.400	2.312	0.262	3.957	0.318	SUPERCRITICO	0.046	0.318	19.600	19.600	19.600	19.600	52	1.500	1.700	1.300	1.500
#9	25.000	14.853	0.015	5.500	5.300	5.700	5.500	0.805	SUBCRITICO	0.590	0.323	3.800	3.800	3.700	3.767	1.767	SUPERCRITICO	9.200	9.300	8.600	9.367	2.110	1.600	1.500	1.600	1.567	5.295	2.072	0.235	4.759	0.321	SUPERCRITICO	0.086	0.321	21.600	21.700	21.600	21.633	49	2.000	1.800	2.000	1.933
#10	25.000	11.535	0.012	4.600	4.400	4.700	4.567	0.826	SUBCRITICO	0.552	0.311	2.400	2.700	2.500	2.533	1.420	SUPERCRITICO	8.100	7.700	7.900	7.900	2.127	1.300	1.400	1.100	1.267	5.656	1.990	0.215	4.021	0.310	SUPERCRITICO	0.095	0.310	19.900	19.800	20.000	19.900	51	1.500	1.500	2.100	1.700
#11	25.000	17.395	0.017	5.900	5.800	6.000	5.900	0.848	SUBCRITICO	0.644	0.330	4.300	4.200	4.000	4.167	1.487	SUPERCRITICO	10.200	10.100	10.400	10.333	2.136	1.500	1.800	1.700	1.667	5.651	2.281	0.283	4.138	0.328	SUPERCRITICO	0.047	0.329	25.900	25.700	25.700	25.767	43	1.400	1.300	1.300	1.333
#12	25.000	21.584	0.022	6.600	6.800	6.900	6.767	0.857	SUBCRITICO	0.697	0.343	4.500	4.600	4.400	4.500	1.581	SUPERCRITICO	11.400	11.100	11.500	11.333	2.113	1.800	1.900	2.000	1.900	5.781	2.483	0.334	5.086	0.342	SUPERCRITICO	0.067	0.342	27.600	27.600	27.700	27.633	43	2.000	2.100	2.000	2.033
#13	25.000	27.863	0.027	7.400	7.400	7.500	7.467	0.868	SUBCRITICO	0.746	0.350	4.700	4.700	4.500	4.633	1.581	SUPERCRITICO	12.500	12.500	12.500	12.500	2.129	2.000	2.100	2.100	2.100	6.239	2.599	0.339	5.250	0.350	SUPERCRITICO	0.074	0.350	28.900	28.900	29.000	28.933	40	2.500	2.300	2.100	2.167
#14	25.000	28.885	0.029	7.600	7.900	8.000	7.833	0.921	SUBCRITICO	0.806	0.362	5.600	5.700	5.500	5.600	1.580	SUPERCRITICO	13.100	13.000	12.900	13.000	2.126	2.900	3.000	3.000	2.967	3.951	2.128	0.261	7.415	0.361	SUPERCRITICO	0.100	0.361	30.100	30.000	30.100	30.067	40	2.500	2.300	2.400	2.400
#15	25.000	34.460	0.034	8.300	8.500	8.500	8.433	0.984	SUBCRITICO	0.893	0.375	5.800	5.900	6.000	5.900	1.581	SUPERCRITICO	14.100	13.900	14.000	14.000	2.143	3.000	3.400	3.300	3.233	4.143	2.330	0.310	8.341	0.375	SUPERCRITICO	0.065	0.375	30.600	30.700	30.600	30.633	39	3.500	3.000	3.000	3.367
#16	25.000	35.897	0.036	8.600	8.700	9.000	8.767	0.967	SUBCRITICO	0.895	0.379	6.500	6.400	6.600	6.500	1.581	SUPERCRITICO	14.400	14.200	14.500	14.367	2.143	3.500	3.700	3.500	3.567	3.725	2.200	0.283	8.511	0.379	SUPERCRITICO	0.095	0.379	32.200	32.000	32.300	32.167	39	3.600	3.500	3.500	3.533
#17	25.000	39.337	0.039	9.800	9.700	9.700	9.667	0.915	SUBCRITICO	0.889	0.387	6.700	6.800	6.800	6.767	1.562	SUPERCRITICO	15.500	16.000	15.800	15.867	2.116	3.900	4.000	3.900	3.933	3.525	2.186	0.284	9.171	0.387	SUPERCRITICO	0.103	0.387	33.400	33.500	33.300	33.467	36	3.600	3.500	3.700	3.600
#18	25.000	49.372	0.043	10.600	10.600	10.600	10.600	0.963	SUBCRITICO	0.915	0.400	6.800	6.800	6.800	6.800	1.562	SUPERCRITICO	16.500	16.500	16.500	16.500	2.115	4.000	4.000	4.000	4.000	3.489	2.186	0.284	9.499	0.387	SUPERCRITICO	0.103	0.387	37.000	37.000	37.000	37.000	40	4.000	4.100	3.800	4.000
#19	25.000	57.718	0.058	12.000	11.900	11.100	11.900	0.983	SUBCRITICO	1.060	0.426	8.600	8.900	9.000	8.833	1.531	SUPERCRITICO	18.800	17.900	18.000	17.967	2.197	5.600	5.500	5.500	5.533	3.100	2.280	0.321	11.763	0.444	SUPERCRITICO	0.105	0.444	39.200	39.000	39.300	39.167	30	5.000	4.900	5.000	4.967
#20	25.000	66.764	0.067	14.000	13.700	13.800	13.833	0.907	SUBCRITICO	1.055	0.445	9.500	9.700	9.700	9.700	1.567	SUPERCRITICO	19.600	19.800	20.000	19.800	2.195	6.900	7.000	6.900	6.933	2.556	2.105	0.296	12.962	0.426	SUPERCRITICO	0.149	0.426	42.700	42.800	42.700	42.733	25	6.000	6.000	5.800	5.933

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS DE AZ=0.36 m																																					
PRIERA	Az (cm.)	Q(0/m)	Q(0.36/m)	y0(cm.)	y0prcm (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m.)	Y caida (cm.)	ycaipr cm (cm.)	# Froude ycaida	FLUJO Ycaida	y prcm (cm.)	y prcm (m)	V prcm (m/s)	y1(cm.)	y1prcm (cm.)	# Froude y1	V1(m/s)	E1(m.)	yericr (cm.)	Eericr (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Eericr (m.)	Ld (cm.)	Ld prcm (cm.)	p°	y2 (cm.)	z2 prcm (cm.)						
#1	30.000	0.347	0.009	4.000	4.100	4.500	4.133	0.778	SUBCRITICO	0.494	0.354	2.000	2.300	2.100	2.133	2.067	1.500	1.300	1.400	1.367	4.090	1.495	0.128	3.495	0.352	SUPERCRITICO	0.224	0.352	20.500	20.400	20.300	20.333	55	0.800	1.000	1.200	1.000
#2	30.000	0.600	0.011	4.000	4.600	4.600	4.600	0.811	SUBCRITICO	0.701	0.511	2.600	3.000	2.800	2.811	2.700	1.800	1.600	1.700	1.667	3.820	1.507	0.130	3.270	0.352	SUPERCRITICO	0.232	0.352	20.700	20.700	20.700	20.700	53	0.800	1.000	1.200	1.000
#3	30.000	11.526	0.012	4.900	4.700	4.600	4.733	0.782	SUBCRITICO	0.532	0.362	3.100	3.000	3.200	3.100	2.497	1.300	1.300	1.400	1.367	5.233	1.890	0.196	4.090	0.360	SUPERCRITICO	0.164	0.360	21.100	21.200	21.400	21.300	54	1.000	1.200	1.500	1.233
#4	30.000	12.631	0.013	5.200	5.000	5.300	5.333	0.759	SUBCRITICO	0.538	0.366	3.100	3.300	3.300	3.233	2.497	1.300	1.500	1.400	1.500	4.971	1.882	0.196	4.272	0.364	SUPERCRITICO	0.168	0.364	21.900	22.200	21.400	21.933	53	1.000	1.500	1.700	1.400
#5	30.000	13.435	0.013	5.200	5.400	5.300	5.333	0.759	SUBCRITICO	0.538	0.366	3.100	3.300	3.300	3.233	2.497	1.300	1.500	1.400	1.500	4.971	1.882	0.196	4.272	0.364	SUPERCRITICO	0.168	0.364	21.900	22.200	21.400	21.933	51	1.000	1.500	1.700	1.400
#6	30.000	14.081	0.014	5.300	5.400	5.400	5.433	0.759	SUBCRITICO	0.566	0.371	3.000	3.000	2.900	2.900	2.497	1.300	1.500	1.400	1.500	4.733	1.882	0.196	4.272	0.364	SUPERCRITICO	0.173	0.364	22.400	22.600	21.400	22.400	50	2.000	2.000	2.000	2.033
#7	30.000	14.125	0.014	5.500	5.500	5.400	5.567	0.772	SUBCRITICO	0.565	0.371	3.000	3.500	3.600	3.600	2.497	1.300	1.500	1.600	1.667	3.971	1.654	0.159	4.062	0.369	SUPERCRITICO	0.210	0.369	25.000	25.100	24.900	25.000	49	1.800	1.500	1.500	1.500
#8	30.000	10.476	0.010	4.780	4.500	4.700	4.667	0.728	SUBCRITICO	0.491	0.359	2.600	2.800	2.700	2.700	2.497	1.300	1.200	1.500	1.333	3.841	1.761	0.172	3.771	0.357	SUPERCRITICO	0.185	0.357	20.100	20.400	20.200	20.233	55	1.000	1.600	1.400	1.333
#9	30.000	12.060	0.011	4.780	4.500	4.700	4.667	0.728	SUBCRITICO	0.491	0.359	2.600	2.800	2.700	2.700	2.497	1.300	1.200	1.500	1.333	3.841	1.761	0.172	3.771	0.357	SUPERCRITICO	0.185	0.357	20.100	20.400	20.200	20.233	55	1.000	1.600	1.400	1.333
#10	30.000	14.256	0.014	5.600	5.400	5.600	5.533	0.766	SUBCRITICO	0.563	0.372	3.100	3.700	3.800	3.467	2.500	1.400	1.800	2.000	1.900	4.800	1.652	0.160	4.062	0.362	SUPERCRITICO	0.213	0.362	22.000	22.000	21.800	22.000	53	1.800	1.500	1.500	1.500
#11	30.000	19.833	0.029	6.500	6.300	6.300	6.367	0.863	SUBCRITICO	0.681	0.387	4.200	4.200	4.200	4.200	2.887	1.800	1.700	2.000	1.900	6.255	2.550	0.357	5.771	0.387	SUPERCRITICO	0.037	0.387	27.300	27.300	27.200	27.267	47	1.700	1.600	1.800	1.700
#12	30.000	22.132	0.022	7.000	6.900	7.100	7.000	0.835	SUBCRITICO	0.691	0.394	4.700	4.800	4.700	4.733	2.887	1.800	2.200	2.200	2.100	5.084	2.304	0.292	6.209	0.393	SUPERCRITICO	0.101	0.393	28.500	28.500	28.700	28.733	45	1.900	2.000	2.000	1.967
#13	30.000	24.229	0.024	8.000	7.900	8.000	8.033	0.808	SUBCRITICO	0.706	0.400	5.200	5.200	5.200	5.200	3.000	2.000	2.500	2.500	2.400	6.987	2.497	0.300	6.403	0.390	SUPERCRITICO	0.043	0.390	30.500	30.500	30.500	30.500	40	2.000	2.000	2.000	2.000
#14	30.000	28.132	0.028	7.900	7.800	7.900	7.900	0.886	SUBCRITICO	0.778	0.410	5.400	5.500	5.200	5.287	2.210	3.000	3.100	3.000	3.033	3.722	2.027	0.240	6.209	0.409	SUPERCRITICO	0.169	0.409	31.200	31.200	31.000	31.133	40	2.500	2.400	2.400	2.433
#15	30.000	34.463	0.034	8.700	8.600	8.700	8.667	0.944	SUBCRITICO	0.869	0.425	6.100	5.900	6.000	6.039	2.334	3.600	3.700	3.700	3.667	3.431	2.054	0.252	6.341	0.425	SUPERCRITICO	0.173	0.425	34.200	34.300	34.200	34.233	31	3.000	3.000	3.000	3.033
#16	30.000	42.229	0.043	10.000	9.900	10.000	9.933	1.093	SUBCRITICO	1.021	0.463	6.500	6.500	6.500	6.500	2.887	4.000	4.100	4.100	4.067	3.952	2.262	0.244	6.403	0.409	SUPERCRITICO	0.134	0.442	37.700	37.700	37.600	37.633	30	4.000	4.000	4.000	4.000
#17	30.000	61.889	0.062	12.500	12.500	12.400	12.467	0.982	SUBCRITICO	1.084	0.485	8.900	9.000	9.000	8.967	2.394	5.800	5.900	5.900	5.867	3.041	2.303	0.330	6.331	0.425	SUPERCRITICO	0.155	0.485	43.800	43.800	43.500	43.500	36	5.000	5.000	5.000	5.033

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS A Z=0,350 m																																											
PRIERA	Az (cm.)	Q(U/m)	Q(m/s)	y0(cm.)	y0prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m)	Y caida (cm.)	ycaid prom (cm.)	# Froude vertical	FLUJO YVERT	yp (cm.)	yp prom (cm.)	Vp (m/s)	Ep(m)	ycrit (cm.)	Ecrit (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Ecrit (m.)	Ld (cm.)	Ld prom (cm.)	P ²	y2 (cm.)	z2 prom (cm.)																
#1	35.000	9,225	0,019	4.500	4.400	4.433	0,691	SUBCRITICO	0,455	0,405	2.400	2.300	2.400	2.363	1,976	SUPERCRITICO	9.100	9.200	9.400	10.237	2,461	1.200	1.200	1.100	1.167	5,117	1,728	0,164	3,464	0,402	SUPERCRITICO	0,238	0,402	15.400	15.400	15.500	15.433	66	1.000	1.500	1.300	1.267	
#2	35.000	12,617	0,012	5.000	4.800	4.700	4,833	SUBCRITICO	0,543	0,413	2.800	2.600	2.500	2.637	1,971	SUPERCRITICO	10.200	10.000	10.300	10.263	2,461	1.400	1.500	1.500	1.167	4,729	1,791	0,175	4.162	0,412	SUPERCRITICO	0,233	0,412	18.400	18.100	18.900	18.933	62	1.700	2.000	1.500	1.737	
#3	35.000	18,278	0,010	5.500	5.000	5.250	5,400	SUBCRITICO	0,594	0,404	3.200	3.000	3.200	3.067	1,971	SUPERCRITICO	10.400	10.200	10.600	10.467	2,461	1.600	1.700	1.700	1.167	4,407	1,800	0,183	3.723	0,407	SUPERCRITICO	0,240	0,407	16.200	16.200	16.300	16.233	61	3.500	4.000	3.200	3.867	
#4	35.000	13,588	0,014	5.300	5.000	5.200	5,167	0,890	SUBCRITICO	0,575	0,419	3.400	3.500	3.400	3.433	1,493	SUPERCRITICO	11.400	11.200	11.200	11.267	2,441	1.800	1.900	1.800	1.833	3,826	1,620	0,153	4,485	0,417	SUPERCRITICO	0,265	0,417	19.000	20.200	20.100	20.067	60	1.800	2.000	2.100	1.967
#5	35.000	13,717	0,014	5.600	5.500	5.500	5,467	0,750	SUBCRITICO	0,548	0,420	3.400	3.400	3.300	3.367	1,552	SUPERCRITICO	11.700	11.500	11.700	11.733	2,428	1.800	1.700	1.700	1.733	4,202	1,730	0,170	4.513	0,418	SUPERCRITICO	0,247	0,418	20.100	20.200	20.900	20.067	60	1.500	1.700	2.000	1.737
#6	35.000	10,748	0,011	4.700	4.600	4.600	4,633	0,753	SUBCRITICO	0,507	0,409	2.400	2.400	2.500	2.433	1,979	SUPERCRITICO	10.200	10.400	10.200	10.267	2,442	1.200	1.200	1.100	1.167	5,962	1,604	0,229	3,836	0,408	SUPERCRITICO	0,189	0,408	19.400	19.200	19.400	19.333	61	1.000	1.500	1.200	1.300
#7	35.000	15,382	0,015	5.700	5.600	5.600	5,633	0,690	SUBCRITICO	0,594	0,414	3.400	3.300	3.200	3.267	1,974	SUPERCRITICO	10.400	10.600	10.300	10.267	2,442	1.600	1.700	1.700	1.167	5,285	1,520	0,193	4.055	0,409	SUPERCRITICO	0,183	0,423	20.500	21.000	20.700	20.733	60	1.000	1.500	1.500	1.400
#8	35.000	17,011	0,017	6.400	6.200	6.300	6,300	0,752	SUBCRITICO	0,590	0,431	3.800	3.600	3.700	3.700	1,592	SUPERCRITICO	13.000	12.900	12.800	12.900	2,419	1.900	1.700	2.000	2.000	1,867	1,992	0,222	3,810	0,428	SUPERCRITICO	0,207	0,428	21.400	21.600	21.700	21.567	58	1.500	1.800	2.200	1.833
#9	35.000	21,376	0,021	6.900	6.600	6.700	6,733	0,855	SUBCRITICO	0,694	0,442	4.500	4.300	4.700	4.500	1,592	SUPERCRITICO	14.400	14.200	14.100	14.100	2,417	2.000	2.100	2.100	2.067	4,663	2,261	0,282	6,067	0,441	SUPERCRITICO	0,159	0,441	23.700	23.400	23.400	23.500	56	2.400	2.700	2.800	2.633
#10	35.000	23,282	0,023	7.100	7.000	7.200	7,100	0,857	SUBCRITICO	0,714	0,447	4.700	4.600	4.800	4.700	1,592	SUPERCRITICO	15.700	15.900	16.000	15.867	2,371	2.400	2.500	2.200	2.367	4,455	2,143	0,258	6,407	0,446	SUPERCRITICO	0,188	0,446	23.700	23.500	23.400	23.667	56	2.100	2.400	2.700	2.400
#11	35.000	28,182	0,028	7.800	7.600	7.600	7,667	0,927	SUBCRITICO	0,803	0,460	4.900	4.800	4.500	4.733	1,592	SUPERCRITICO	17.200	17.000	17.100	17.100	2,375	3.100	3.000	3.000	3.033	4,236	2,029	0,241	7,291	0,459	SUPERCRITICO	0,218	0,459	24.600	24.900	24.800	24.767	55	2.600	3.500	2.900	3.567
#12	35.000	35,445	0,037	8.700	8.150	8.200	8,482	1,045	SUBCRITICO	0,917	0,470	5.100	4.900	4.500	4.833	1,592	SUPERCRITICO	18.700	18.700	18.500	18.567	2,368	3.200	3.100	3.100	3.133	4,043	2,012	0,245	7,682	0,458	SUPERCRITICO	0,219	0,458	25.000	25.000	24.900	25.000	54	3.000	3.500	3.500	3.500
#13	35.000	29,738	0,030	7.400	7.600	7.800	7,600	0,992	SUBCRITICO	0,855	0,453	5.500	5.700	5.900	5.733	1,592	SUPERCRITICO	18.800	17.700	17.500	17.667	2,358	3.200	3.200	3.400	3.267	3,521	1,990	0,235	7,590	0,463	SUPERCRITICO	0,228	0,463	23.800	24.000	23.900	23.900	56	2.700	3.500	3.100	3.100
#14	35.000	30,311	0,030	8.400	8.400	8.600	8,500	0,724	SUBCRITICO	0,697	0,470	5.600	5.400	5.500	5.500	1,592	SUPERCRITICO	18.400	18.800	18.500	18.367	2,345	3.400	3.300	3.100	3.267	3,589	2,028	0,243	7,657	0,465	SUPERCRITICO	0,222	0,465	23.200	23.100	23.100	23.133	57	3.000	3.500	3.500	3.500
#15	35.000	39,299	0,039	9.600	9.800	9.600	9,667	0,914	SUBCRITICO	0,889	0,487	6.400	6.600	6.500	6.500	1,648	SUPERCRITICO	21.700	21.300	21.500	21.500	2,304	3.800	3.700	3.800	3.767	3,758	2,280	0,204	9.104	0,467	SUPERCRITICO	0,183	0,487	25.000	25.200	25.200	25.133	54	3.500	3.600	4.000	3.700
#16	35.000	37,633	0,038	9.600	9.600	9.800	9,800	0,985	SUBCRITICO	0,865	0,480	6.700	6.600	6.500	6.500	1,648	SUPERCRITICO	20.800	21.000	21.000	21.033	2,304	3.800	3.800	3.800	3.833	3,758	2,145	0,204	8.883	0,483	SUPERCRITICO	0,183	0,483	28.300	28.100	28.900	28.433	51	5.000	4.800	5.500	4.767
#17	35.000	48,534	0,041	9.900	10.100	9.800	9,933	0,834	SUBCRITICO	0,892	0,490	6.800	6.700	6.800	6.700	1,648	SUPERCRITICO	21.000	21.000	21.000	21.067	2,304	3.700	3.800	3.800	3.833	3,758	2,145	0,204	8.883	0,483	SUPERCRITICO	0,183	0,483	28.300	28.100	28.900	28.433	51	5.000	4.800	5.500	4.767
#18	35.000	65,095	0,065	13.500	13.900	13.600	13,667	0,901	SUBCRITICO	1,041	0,542	9.900	10.000	9.900	9.933	1,648	SUPERCRITICO	22.500	22.700	22.500	22.567	2,286	5.700	5.700	5.600	5.667	3,373	2,511	0,379	12.274	0,541	SUPERCRITICO	0,162	0,541	49.000	49.000	49.100	49.033	47	3.500	4.600	4.700	4.767

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS DE AZ= 0.400 m.																																					
PRUEBA	Az (cm.)	Q0(seg)	Q(m3/seg)	y0(cm.)	y0prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m.)	Y caída (cm.)	ycaí prom (cm.)	# Froude ycaída	FLUJO Ycaída	yp (cm.)	yp prom (cm.)	Vyp (m/s)	y1(cm.)	y1prom (cm.)	# Froude y1	V1(m/s)	E1(m.)	ycaí (cm.)	Ecaíe (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Ecaí (m.)	Ld (cm.)	Ld prom (cm.)	β°	y2 (cm.)	2 prom (cm.)						
#1	40.000	10.242	0.010	4.600	4.700	4.500	4.600	0.726	0.487	0.458	2.700	2.700	2.667	8.400	8.200	8.367	1.133	5.934	1.975	0.211	3.715	0.456	SUPERCRITICO	0.245	0.456	19.800	20.100	19.700	19.867	64	1.000	1.200	1.500	1.233			
#2	40.000	13.197	0.013	5.100	5.200	5.300	5.200	0.778	0.555	0.468	2.900	3.000	3.200	11.600	11.500	11.500	1.300	6.224	2.219	0.265	4.399	0.466	SUPERCRITICO	0.201	0.466	21.000	21.300	21.500	21.267	62	1.200	1.400	1.600	1.400			
#3	40.000	15.015	0.015	5.600	5.300	5.500	5.467	0.821	0.600	0.473	3.100	3.200	3.000	11.800	11.600	11.600	1.367	6.569	2.402	0.309	4.794	0.472	SUPERCRITICO	0.163	0.472	22.400	22.500	22.600	22.500	61	1.300	1.500	1.700	1.500			
#4	40.000	11.210	0.011	4.600	4.800	4.700	4.700	0.769	0.521	0.461	2.700	2.800	2.900	10.400	10.000	10.200	1.033	10.301	2.940	0.450	3.945	0.459	SUPERCRITICO	0.009	0.459	19.900	20.100	20.200	20.067	63	1.200	1.300	1.500	1.333			
#5	40.000	18.265	0.018	6.500	6.200	6.400	6.367	0.795	0.627	0.484	4.000	4.100	4.000	14.200	14.500	14.300	1.500	6.930	2.662	0.377	5.463	0.482	SUPERCRITICO	0.105	0.482	22.500	22.400	22.500	22.467	61	1.500	1.800	2.000	1.767			
#6	40.000	40.002	0.040	9.700	9.800	9.700	9.733	0.921	0.898	0.539	6.500	6.900	6.700	20.400	20.500	20.600	2.933	5.566	2.981	0.484	9.212	0.538	SUPERCRITICO	0.055	0.538	29.900	30.100	30.100	30.033	53	3.400	3.000	4.000	3.467			
#7	40.000	21.743	0.022	6.700	6.800	6.600	6.700	0.876	0.709	0.493	4.500	4.600	4.400	15.400	15.500	15.500	1.533	5.654	2.458	0.328	6.136	0.492	SUPERCRITICO	0.164	0.492	23.000	23.100	23.200	23.100	60	2.400	2.300	2.600	2.433			
#8	40.000	23.105	0.023	7.200	7.400	7.200	7.267	0.824	0.695	0.497	4.600	4.500	4.700	15.400	16.200	16.100	1.500	5.907	1.700	1.600	1.800	1.700	0.468	6.389	0.496	SUPERCRITICO	0.028	0.496	24.000	24.000	24.400	24.133	59	2.600	3.000	3.400	3.000
#9	40.000	26.470	0.026	7.400	7.700	7.600	7.567	0.889	0.765	0.596	4.900	5.100	5.000	17.200	17.600	17.400	1.740	5.544	2.000	1.900	2.000	1.967	0.462	6.909	0.505	SUPERCRITICO	0.043	0.505	24.400	24.600	24.500	24.500	59	2.200	2.300	2.300	2.267
#10	40.000	29.249	0.029	8.500	8.600	8.500	8.533	0.820	0.749	0.514	5.600	5.600	5.400	17.600	17.800	17.900	1.767	5.258	2.400	2.200	2.000	2.200	0.454	7.477	0.512	SUPERCRITICO	0.058	0.512	26.400	26.400	26.500	26.433	57	2.000	2.500	3.000	2.500
#11	40.000	31.632	0.032	8.700	8.800	8.900	8.800	0.847	0.786	0.520	5.700	5.750	5.700	19.500	19.400	19.600	1.900	5.514	2.500	2.300	2.400	2.400	0.448	7.878	0.518	SUPERCRITICO	0.070	0.518	26.500	26.200	26.200	26.300	57	3.500	3.800	4.000	3.767
#12	40.000	32.869	0.033	9.000	8.800	8.900	8.900	0.865	0.807	0.522	5.900	5.900	5.800	19.900	19.800	19.700	1.900	5.514	2.600	2.700	2.500	2.600	0.440	8.082	0.521	SUPERCRITICO	0.105	0.521	26.500	26.400	26.600	26.500	56	3.500	3.400	3.300	3.400
#13	40.000	34.128	0.034	9.000	8.800	9.000	8.933	0.893	0.835	0.525	5.800	5.900	5.700	20.300	20.400	20.400	2.067	5.584	2.900	2.900	2.900	2.900	0.367	8.387	0.524	SUPERCRITICO	0.157	0.524	27.600	27.500	27.600	27.567	55	4.000	4.000	3.500	3.833
#14	40.000	36.158	0.036	9.500	9.600	9.700	9.600	0.850	0.823	0.531	6.000	5.900	6.500	20.800	20.900	20.900	2.067	5.504	3.000	3.100	3.100	3.067	0.370	8.612	0.529	SUPERCRITICO	0.150	0.529	28.400	28.500	28.400	28.433	48	2.400	2.900	2.500	2.600
#15	40.000	38.623	0.038	9.400	9.300	9.400	9.367	0.927	0.887	0.534	6.900	6.500	6.800	18.500	18.800	18.600	1.860	5.607	3.800	3.800	3.900	3.833	0.341	8.906	0.534	SUPERCRITICO	0.255	0.534	39.000	38.900	39.000	38.967	47	2.700	2.500	2.700	2.633
#16	40.000	62.788	0.063	12.600	12.700	12.100	12.467	0.997	0.987	1.101	8.600	8.900	9.000	22.500	22.400	22.500	2.267	5.661	5.000	4.900	5.000	4.967	0.365	9.965	0.587	SUPERCRITICO	0.147	0.587	46.100	46.000	46.200	46.100	38	4.700	4.600	5.000	4.767
#17	40.000	59.115	0.059	12.000	12.000	11.900	11.967	0.998	0.987	1.080	8.500	8.600	8.700	23.000	22.700	23.000	2.290	5.617	4.800	4.700	4.800	4.767	0.391	9.971	0.579	SUPERCRITICO	0.156	0.579	48.000	48.100	48.000	48.033	39	4.700	4.600	4.700	4.667
#18	40.000	55.499	0.055	11.400	11.500	11.500	11.467	0.999	1.058	0.972	7.600	7.500	7.600	20.500	21.000	21.200	2.090	5.664	5.100	5.000	5.100	5.067	0.344	9.402	0.572	SUPERCRITICO	0.228	0.572	44.500	44.500	44.300	44.433	42	4.300	4.300	4.200	4.267
#19	40.000	50.104	0.050	10.800	10.700	10.700	10.733	0.996	0.987	1.020	8.500	8.600	7.000	19.300	19.500	19.600	1.967	5.675	4.500	4.600	4.600	4.567	0.389	9.589	0.598	SUPERCRITICO	0.221	0.561	42.000	42.100	42.000	42.033	46	4.500	4.400	4.500	4.467

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS DE AZ= 0.450 m.																																								
PRUEBA	Az (cm.)	Q0(seg)	Q(m3/seg)	y0(cm.)	y0prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m.)	Y caída (cm.)	ycaí prom (cm.)	# Froude ycaída	FLUJO Ycaída	yp (cm.)	yp prom (cm.)	Vyp (m/s)	y1(cm.)	y1prom (cm.)	# Froude y1	V1(m/s)	E1(m.)	ycaí (cm.)	Ecaíe (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Ecaí (m.)	Ld (cm.)	Ld prom (cm.)	β°	y2 (cm.)	2 prom (cm.)									
#1	45.000	9.890	0.010	4.400	4.300	4.400	4.367	0.758	SUBCRITICO	0.495	0.506	2.200	2.100	2.100	2.133	2.819	0.800	0.700	0.800	0.767	10.298	2.820	0.414	3.629	0.504	SUPERCRITICO	0.090	0.504	22.900	22.900	22.100	22.633	63	2.500	1.800	1.300	1.867			
#2	45.000	11.473	0.011	5.000	4.800	4.900	4.900	0.739	SUBCRITICO	0.512	0.512	2.400	2.500	2.600	9.600	9.400	9.500	9.500	2.849	0.900	0.800	0.900	0.867	9.940	2.894	0.437	4.007	0.510	SUPERCRITICO	0.073	0.510	25.400	25.300	25.400	25.367	60	0.900	1.700	1.400	1.333
#3	45.000	12.823	0.013	4.900	5.100	5.200	5.067	0.786	SUBCRITICO	0.553	0.516	2.900	2.800	2.900	2.867	2.840	1.100	1.200	1.100	1.133	7.429	2.473	0.324	4.315	0.515	SUPERCRITICO	0.191	0.515	25.700	25.600	25.700	25.667	60	1.400	0.800	1.000	1.067			
#4	45.000	13.596	0.014	5.200	5.100	5.200	5.167	0.809	SUBCRITICO	0.575	0.519	3.000	2.900	2.900	2.933	1.892	1.060	1.000	1.1500	1.0967	6.666	2.346	0.294	4.487	0.517	SUPERCRITICO	0.223	0.517	27.300	27.400	27.400	27.367	58	1.000	1.500	1.700	1.400			
#5	45.000	14.763	0.015	5.500	5.400	5.500	5.467	0.807	SUBCRITICO	0.590	0.522	3.100	3.200	3.100	3.133	1.861	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#6	45.000	15.118	0.015	5.800	5.900	5.900	5.867	0.744	SUBCRITICO	0.563	0.525	3.300	3.200	3.300	3.267	1.846	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#7	45.000	18.599	0.020	6.400	6.500	6.700	6.533	0.817	SUBCRITICO	0.653	0.537	3.700	3.800	3.700	3.700	1.891	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#8	45.000	21.584	0.022	6.700	6.700	6.800	6.733	0.864	SUBCRITICO	0.701	0.542	4.100	4.000	4.100	4.073	1.840	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#9	45.000	23.908	0.024	7.100	7.300	7.900	7.433	0.825	SUBCRITICO	0.703	0.550	4.700	4.700	4.600	4.667	1.658	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#10	45.000	26.563	0.027	7.500	7.800	7.200	7.500	0.904	SUBCRITICO	0.774	0.556	4.900	5.000	4.900	4.933	1.606	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#11	45.000	28.646	0.029	7.800	8.000	8.100	8.000	0.885	SUBCRITICO	0.783	0.561	5.600	5.100	5.500	5.400	1.500	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#12	45.000	31.417	0.031	8.500	8.400	8.600	8.500	0.886	SUBCRITICO	0.808	0.568	5.600	5.500	5.500	5.533	1.500	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#13	45.000	33.311	0.033	8.700	8.900	8.800	8.533	0.934	SUBCRITICO	0.853	0.573	6.000	6.100	6.000	6.033	1.571	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#14	45.000	35.426	0.035	9.100	9.200	9.300	9.167	0.936	SUBCRITICO	0.840	0.579	6.300	6.400	6.300	6.333	1.571	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#15	45.000	36.481	0.036	10.000	10.100	9.800	9.967	0.810	SUBCRITICO	0.800	0.582	6.400	6.500	6.600	6.500	1.500	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#16	45.000	38.638	0.039	9.300	9.400	9.400	9.367	0.942	SUBCRITICO	0.902	0.585	6.600	6.700	6.800	6.700	1.539	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#17	45.000	47.772	0.048	10.500	10.500	10.400	10.433	0.991	SUBCRITICO	1.001	0.606	7.000	7.100	7.000	7.033	1.400	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#18	45.000	46.628	0.050	10.800	10.800	10.900	10.867	1.007	SUBCRITICO	0.987	0.610	7.100	7.200	7.300	7.200	1.400	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		
#19	45.000	60.003	0.060	12.200	12.200	12.400	12.267	0.976	SUBCRITICO	1.069	0.631	8.400	8.300	8.500	8.400	1.723	1.060	1.300	1.400	1.300	1.267	6.459	2.361	0.299	4.740	0.521	SUPERCRITICO	0.222	0.521	27.700	27.600	27.700	27.667	58	1.500	1.600	1.500	1.533		

TABLA COMPARATIVA DE DATOS EN CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS

TABLA COMPARATIVA DE DATOS EN CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS																							
MOORE (1943)			RAND(1955)					CHANSON (1994)				MOGHADDAM			RAJARATNAM & CHAMANI (1995)		GILL (1979)			INVESTIGACION UCSM (2017)			
ΔZ (cm.)	Q(l/seg)	$y_{critico}/\Delta Z$	$y_p/\Delta Z$	$y_1/\Delta Z$	$y_p/\Delta Z$	Ld/ Δz	COS β	$y_1/\Delta Z$	$y_p/\Delta Z$	Ld/ Δz	COS β	$y_1/\Delta Z$	$y_p/\Delta Z$	COS β	$y_p/\Delta Z$	$y_1/\Delta Z$	$y_p/\Delta Z$	COS β	$y_1/\Delta Z$	$y_p/\Delta Z$	Ld/ Δz	COS β	
14.90	11.935	0.2761	0.437	0.105	0.585	0.428	0.493	0.113	0.419	1.105	0.484	0.105	0.444	0.543	0.439	0.100	0.433	0.649	0.103	0.499	1.011	0.711	
14.90	14.984	0.3213	0.531	0.127	0.473	1.714	0.523	0.139	0.464	1.196	0.517	0.126	0.491	0.583	0.489	0.122	0.482	0.681	0.141	0.509	1.056	0.726	
14.90	12.101	0.2786	0.461	0.106	0.430	1.527	0.495	0.115	0.421	1.110	0.486	0.106	0.446	0.546	0.442	0.101	0.436	0.651	0.136	0.477	1.025	0.716	
14.90	15.047	0.3222	0.533	0.127	0.474	1.718	0.523	0.139	0.465	1.198	0.518	0.127	0.492	0.584	0.490	0.122	0.483	0.681	0.119	0.520	1.078	0.733	
14.90	10.288	0.2500	0.414	0.092	0.401	1.399	0.474	0.099	0.392	1.049	0.463	0.093	0.415	0.519	0.409	0.088	0.404	0.630	0.103	0.509	1.027	0.716	
14.90	11.526	0.2697	0.446	0.102	0.421	1.488	0.489	0.110	0.412	1.091	0.479	0.102	0.437	0.538	0.432	0.097	0.426	0.645	0.111	0.421	1.009	0.710	
14.90	12.680	0.2874	0.475	0.110	0.439	1.566	0.501	0.120	0.430	1.128	0.493	0.110	0.456	0.554	0.452	0.105	0.446	0.658	0.145	0.479	1.031	0.718	
14.90	13.588	0.3010	0.498	0.117	0.453	1.626	0.510	0.127	0.444	1.156	0.503	0.116	0.470	0.566	0.467	0.112	0.460	0.667	0.152	0.427	1.043	0.722	
14.90	15.354	0.3266	0.540	0.130	0.478	1.737	0.526	0.142	0.469	1.206	0.521	0.129	0.496	0.588	0.495	0.124	0.487	0.684	0.159	0.512	1.083	0.735	
14.90	15.732	0.3319	0.549	0.132	0.483	1.760	0.529	0.145	0.474	1.217	0.524	0.131	0.501	0.592	0.501	0.127	0.493	0.688	0.159	0.532	1.087	0.736	
14.90	10.802	0.2583	0.427	0.096	0.409	1.436	0.480	0.104	0.400	1.067	0.470	0.097	0.424	0.527	0.418	0.092	0.414	0.636	0.101	0.445	1.004	0.709	
14.90	14.138	0.3091	0.511	0.121	0.461	1.661	0.515	0.132	0.452	1.172	0.508	0.120	0.478	0.573	0.476	0.116	0.469	0.673	0.157	0.512	1.036	0.719	
14.90	14.768	0.3182	0.526	0.125	0.470	1.701	0.521	0.137	0.461	1.190	0.515	0.125	0.488	0.581	0.486	0.120	0.479	0.679	0.143	0.517	1.045	0.722	
14.90	17.259	0.3530	0.584	0.143	0.503	1.850	0.541	0.157	0.494	1.257	0.538	0.141	0.522	0.609	0.524	0.137	0.515	0.701	0.170	0.606	1.083	0.735	
14.90	21.655	0.4107	0.679	0.174	0.556	2.091	0.572	0.192	0.547	1.361	0.572	0.170	0.576	0.654	0.584	0.167	0.572	0.735	0.177	0.649	1.351	0.804	
14.90	21.281	0.4059	0.671	0.171	0.552	2.072	0.570	0.189	0.543	1.352	0.569	0.168	0.572	0.650	0.579	0.164	0.568	0.732	0.201	0.732	1.219	0.773	
14.90	10.541	0.2541	0.420	0.094	0.405	1.418	0.477	0.102	0.396	1.058	0.466	0.095	0.420	0.523	0.413	0.090	0.409	0.633	0.110	0.510	1.011	0.711	
14.90	27.902	0.4863	0.803	0.215	0.621	2.398	0.606	0.240	0.613	1.487	0.609	0.209	0.642	0.708	0.659	0.207	0.644	0.774	0.213	0.942	1.221	0.774	
14.90	20.009	0.3896	0.644	0.162	0.537	2.004	0.561	0.179	0.528	1.324	0.560	0.160	0.557	0.638	0.562	0.156	0.552	0.723	0.186	0.680	1.206	0.770	
14.90	31.862	0.5313	0.878	0.241	0.659	2.576	0.624	0.270	0.651	1.558	0.629	0.233	0.679	0.737	0.703	0.232	0.685	0.796	0.268	1.000	1.398	0.813	
14.90	35.194	0.5677	0.938	0.262	0.688	2.718	0.638	0.295	0.681	1.613	0.644	0.253	0.708	0.760	0.737	0.253	0.718	0.812	0.275	1.000	1.546	0.840	
14.90	28.042	0.4879	0.806	0.216	0.623	2.405	0.607	0.241	0.615	1.490	0.610	0.210	0.643	0.709	0.661	0.208	0.646	0.775	0.217	0.776	1.394	0.812	
14.90	40.477	0.6232	1.029	0.295	0.732	2.932	0.657	0.334	0.725	1.694	0.664	0.283	0.751	0.794	0.788	0.285	0.766	0.836	0.291	1.000	1.629	0.852	
14.90	43.603	0.6549	1.081	0.315	0.756	3.052	0.667	0.357	0.750	1.738	0.675	0.301	0.775	0.813	0.817	0.304	0.793	0.848	0.398	1.000	1.687	0.860	
14.90	52.726	0.7433	1.227	0.370	0.822	3.381	0.692	0.422	0.817	1.858	0.701	0.351	0.838	0.862	0.894	0.357	0.866	0.882	0.407	1.000	1.906	0.886	
14.90	57.595	0.7884	1.301	0.399	0.855	3.547	0.704	0.456	0.850	1.916	0.714	0.378	0.870	0.886	0.933	0.385	0.903	0.898	0.472	1.000	2.268	0.915	
14.90	52.078	0.7372	1.217	0.366	0.818	3.359	0.691	0.417	0.812	1.850	0.700	0.348	0.834	0.859	0.889	0.354	0.861	0.880	0.461	1.000	2.260	0.914	
14.90	60.287	0.8127	1.341	0.415	0.872	3.635	0.710	0.475	0.868	1.947	0.720	0.392	0.886	0.899	0.954	0.401	0.922	0.907	0.488	1.000	2.295	0.917	
20.00	9.325	0.1745	0.366	0.058	0.316	1.045	0.409	0.062	0.307	0.868	0.390	0.060	0.323	0.439	0.315	0.055	0.314	0.563	0.048	0.363	0.978	0.699	
20.00	12.396	0.2109	0.418	0.074	0.358	1.219	0.442	0.079	0.349	0.959	0.427	0.075	0.369	0.479	0.362	0.071	0.359	0.597	0.062	0.398	0.972	0.697	
20.00	13.859	0.2272	0.439	0.082	0.376	1.295	0.456	0.088	0.367	0.997	0.443	0.083	0.389	0.496	0.381	0.078	0.378	0.611	0.068	0.442	1.050	0.724	
20.00	14.811	0.2375	0.449	0.086	0.387	1.342	0.464	0.093	0.378	1.021	0.452	0.087	0.401	0.507	0.394	0.082	0.390	0.620	0.073	0.475	1.123	0.747	
20.00	15.090	0.2405	0.409	0.088	0.390	1.356	0.467	0.094	0.381	1.027	0.455	0.089	0.404	0.510	0.397	0.084	0.393	0.622	0.083	0.453	1.142	0.752	
20.00	9.810	0.1805	0.374	0.061	0.323	1.074	0.414	0.065	0.314	0.884	0.396	0.062	0.331	0.446	0.323	0.058	0.322	0.569	0.050	0.368	0.987	0.702	
20.00	10.771	0.1921	0.378	0.066	0.337	1.130	0.425	0.070	0.328	0.913	0.409	0.067	0.346	0.459	0.338	0.063	0.336	0.580	0.057	0.380	0.982	0.701	
20.00	13.740	0.2259	0.435	0.081	0.375	1.289	0.455	0.087	0.366	0.994	0.442	0.082	0.387	0.495	0.380	0.077	0.376	0.610	0.068	0.428	0.978	0.699	

20.00	14.853	0.2380	0.425	0.087	0.388	1.344	0.465	0.093	0.379	1.022	0.452	0.087	0.401	0.507	0.394	0.083	0.390	0.620	0.078	0.468	1.082	0.734
20.00	11.535	0.2010	0.373	0.070	0.347	1.173	0.434	0.074	0.338	0.935	0.418	0.071	0.357	0.469	0.349	0.066	0.347	0.588	0.063	0.395	0.995	0.705
20.00	25.372	0.3400	0.407	0.136	0.491	1.795	0.534	0.150	0.482	1.232	0.530	0.135	0.509	0.599	0.510	0.131	0.501	0.693	0.162	0.687	1.077	0.733
20.00	18.134	0.2718	0.458	0.103	0.423	1.497	0.490	0.111	0.414	1.096	0.481	0.103	0.439	0.540	0.434	0.098	0.429	0.646	0.095	0.637	0.883	0.616
20.00	30.550	0.3849	0.511	0.160	0.532	1.984	0.559	0.176	0.524	1.315	0.557	0.157	0.552	0.634	0.557	0.153	0.547	0.720	0.168	1.000	1.102	0.707
20.00	34.015	0.4134	0.517	0.175	0.558	2.103	0.573	0.194	0.550	1.365	0.573	0.172	0.578	0.656	0.587	0.168	0.575	0.736	0.190	1.000	1.150	0.719
20.00	39.685	0.4582	0.563	0.200	0.597	2.285	0.594	0.222	0.589	1.441	0.596	0.195	0.618	0.688	0.632	0.192	0.618	0.760	0.213	1.000	1.300	0.755
20.00	44.410	0.4939	0.553	0.220	0.628	2.428	0.609	0.245	0.620	1.499	0.613	0.213	0.648	0.713	0.667	0.211	0.651	0.778	0.247	1.000	1.338	0.766
20.00	56.490	0.5798	0.627	0.270	0.698	2.765	0.642	0.303	0.691	1.631	0.648	0.259	0.717	0.768	0.748	0.260	0.728	0.817	0.297	1.000	1.687	0.829
20.00	54.014	0.5627	0.592	0.259	0.684	2.699	0.636	0.292	0.677	1.605	0.642	0.250	0.704	0.757	0.732	0.250	0.713	0.810	0.293	1.000	1.745	0.839
20.00	60.053	0.6039	0.645	0.284	0.717	2.858	0.650	0.320	0.710	1.666	0.657	0.273	0.736	0.783	0.770	0.274	0.749	0.828	0.312	1.000	1.802	0.848
25.00	10.140	0.1476	0.324	0.047	0.283	0.913	0.380	0.049	0.274	0.795	0.359	0.049	0.285	0.406	0.280	0.045	0.279	0.533	0.038	0.291	0.783	0.616
25.00	12.396	0.1687	0.342	0.056	0.309	1.018	0.403	0.059	0.300	0.853	0.383	0.057	0.315	0.432	0.308	0.053	0.307	0.557	0.048	0.319	0.777	0.614
25.00	13.859	0.1818	0.375	0.061	0.325	1.081	0.416	0.065	0.316	0.887	0.398	0.063	0.332	0.447	0.325	0.058	0.323	0.570	0.051	0.353	0.840	0.643
25.00	14.811	0.1900	0.382	0.065	0.334	1.120	0.424	0.069	0.325	0.908	0.406	0.066	0.343	0.457	0.335	0.062	0.333	0.578	0.055	0.380	0.899	0.668
25.00	15.090	0.1924	0.368	0.066	0.337	1.131	0.426	0.070	0.328	0.914	0.409	0.067	0.346	0.459	0.338	0.063	0.336	0.580	0.059	0.363	0.913	0.674
25.00	10.365	0.1498	0.320	0.048	0.286	0.924	0.383	0.050	0.277	0.801	0.361	0.050	0.288	0.409	0.283	0.045	0.282	0.536	0.040	0.295	0.789	0.620
25.00	10.771	0.1537	0.302	0.050	0.290	0.943	0.387	0.052	0.282	0.812	0.366	0.051	0.294	0.414	0.288	0.047	0.287	0.540	0.045	0.304	0.785	0.618
25.00	13.740	0.1807	0.363	0.061	0.323	1.076	0.415	0.065	0.315	0.884	0.397	0.062	0.331	0.446	0.324	0.058	0.322	0.569	0.052	0.343	0.783	0.616
25.00	14.853	0.1904	0.340	0.065	0.335	1.122	0.424	0.069	0.326	0.909	0.407	0.067	0.343	0.457	0.336	0.062	0.334	0.578	0.063	0.375	0.865	0.654
25.00	11.535	0.1608	0.299	0.053	0.299	0.979	0.395	0.055	0.291	0.832	0.374	0.054	0.304	0.422	0.298	0.050	0.296	0.548	0.051	0.316	0.796	0.623
25.00	17.395	0.2115	0.393	0.075	0.359	1.222	0.443	0.080	0.350	0.960	0.428	0.076	0.370	0.480	0.362	0.071	0.359	0.598	0.067	0.413	1.031	0.731
25.00	21.584	0.2442	0.458	0.090	0.394	1.373	0.470	0.096	0.385	1.036	0.458	0.090	0.408	0.513	0.402	0.085	0.398	0.625	0.076	0.453	1.105	0.731
25.00	27.863	0.2896	0.425	0.111	0.441	1.576	0.502	0.121	0.432	1.133	0.494	0.111	0.458	0.556	0.454	0.106	0.448	0.659	0.116	0.499	1.152	0.766
25.00	28.885	0.2966	0.436	0.115	0.448	1.607	0.507	0.125	0.439	1.147	0.499	0.114	0.465	0.562	0.462	0.110	0.456	0.664	0.119	0.520	1.203	0.766
25.00	34.460	0.3336	0.507	0.133	0.485	1.767	0.530	0.146	0.476	1.220	0.525	0.132	0.503	0.594	0.503	0.128	0.495	0.689	0.129	0.560	1.225	0.777
25.00	35.897	0.3428	0.482	0.138	0.493	1.807	0.536	0.151	0.485	1.238	0.531	0.137	0.512	0.601	0.513	0.132	0.504	0.695	0.143	0.575	1.287	0.777
25.00	39.337	0.3644	0.491	0.149	0.514	1.898	0.548	0.164	0.505	1.278	0.545	0.147	0.533	0.618	0.536	0.143	0.526	0.708	0.157	0.631	1.339	0.809
25.00	49.372	0.4240	0.568	0.181	0.568	2.146	0.578	0.200	0.559	1.384	0.579	0.177	0.588	0.664	0.597	0.174	0.585	0.742	0.184	0.673	1.513	0.848
25.00	57.718	0.4705	0.571	0.207	0.608	2.335	0.600	0.230	0.600	1.461	0.602	0.201	0.628	0.697	0.644	0.199	0.629	0.766	0.221	0.719	1.567	0.866
25.00	66.764	0.5185	0.525	0.234	0.648	2.526	0.619	0.262	0.641	1.538	0.624	0.226	0.668	0.729	0.690	0.225	0.674	0.790	0.277	0.792	1.709	0.906
30.00	9.347	0.1165	0.175	0.035	0.242	0.754	0.342	0.036	0.234	0.702	0.317	0.037	0.237	0.364	0.236	0.033	0.236	0.495	0.046	0.228	0.678	0.574
30.00	10.680	0.1273	0.237	0.039	0.257	0.810	0.356	0.041	0.248	0.736	0.332	0.041	0.255	0.379	0.252	0.037	0.251	0.509	0.040	0.271	0.691	0.574
30.00	11.526	0.1340	0.237	0.042	0.265	0.844	0.364	0.043	0.257	0.756	0.341	0.043	0.265	0.388	0.261	0.039	0.261	0.517	0.044	0.286	0.710	0.588
30.00	12.631	0.1424	0.244	0.045	0.276	0.887	0.374	0.047	0.268	0.780	0.352	0.047	0.278	0.399	0.273	0.043	0.272	0.527	0.049	0.286	0.731	0.602
30.00	13.471	0.1486	0.221	0.048	0.284	0.918	0.381	0.050	0.276	0.798	0.360	0.049	0.287	0.407	0.281	0.045	0.280	0.535	0.059	0.297	0.800	0.629
30.00	14.081	0.1531	0.239	0.049	0.290	0.940	0.386	0.052	0.281	0.811	0.365	0.051	0.293	0.413	0.287	0.047	0.286	0.540	0.058	0.308	0.826	0.643
30.00	14.125	0.1534	0.222	0.049	0.290	0.942	0.387	0.052	0.282	0.811	0.366	0.051	0.294	0.413	0.288	0.047	0.287	0.540	0.062	0.316	0.833	0.656
30.00	10.476	0.1257	0.215	0.038	0.254	0.802	0.354	0.040	0.246	0.731	0.330	0.040	0.252	0.377	0.249	0.036	0.249	0.507	0.043	0.251	0.674	0.574
30.00	12.090	0.1383	0.226	0.043	0.271	0.866	0.369	0.045	0.263	0.768	0.347	0.045	0.272	0.394	0.267	0.041	0.267	0.523	0.050	0.257	0.734	0.602
30.00	14.256	0.1544	0.221	0.050	0.291	0.947	0.388	0.052	0.283	0.814	0.367	0.051	0.295	0.414	0.289	0.047	0.288	0.541	0.063	0.311	0.833	0.602
30.00	19.833	0.1924	0.379	0.066	0.337	1.131	0.426	0.070	0.328	0.914	0.409	0.067	0.346	0.459	0.338	0.063	0.336	0.580	0.057	0.397	0.909	0.682
30.00	22.132	0.2070	0.360	0.072	0.354	1.200	0.439	0.077	0.345	0.950	0.424	0.074	0.364	0.475	0.357	0.069	0.354	0.594	0.070	0.424	0.958	0.707
30.00	26.420	0.2329	0.316	0.084	0.382	1.321	0.461	0.091	0.373	1.010	0.448	0.085	0.395	0.502	0.388	0.080	0.385	0.616	0.100	0.441	1.014	0.656

30.00	28.132	0.2428	0.341	0.089	0.393	1.366	0.469	0.096	0.384	1.033	0.457	0.090	0.407	0.512	0.400	0.085	0.396	0.624	0.101	0.526	1.038	0.766
30.00	34.463	0.2780	0.367	0.106	0.430	1.525	0.494	0.114	0.421	1.109	0.485	0.106	0.446	0.545	0.441	0.101	0.435	0.651	0.122	0.489	1.141	0.755
30.00	42.299	0.3187	0.442	0.126	0.470	1.703	0.521	0.137	0.461	1.191	0.515	0.125	0.488	0.581	0.487	0.120	0.479	0.679	0.134	0.552	1.253	0.788
30.00	61.809	0.4104	0.490	0.173	0.556	2.090	0.572	0.192	0.547	1.360	0.572	0.170	0.576	0.654	0.584	0.167	0.572	0.735	0.196	0.639	1.450	0.809
35.00	9.225	0.0990	0.173	0.028	0.217	0.661	0.318	0.029	0.209	0.645	0.291	0.030	0.207	0.337	0.210	0.027	0.210	0.469	0.033	0.264	0.441	0.403
35.00	12.017	0.1181	0.196	0.035	0.244	0.762	0.344	0.037	0.236	0.707	0.320	0.037	0.240	0.366	0.238	0.033	0.238	0.497	0.042	0.290	0.541	0.476
35.00	10.276	0.1064	0.184	0.031	0.228	0.700	0.329	0.032	0.220	0.669	0.303	0.033	0.220	0.348	0.221	0.029	0.221	0.480	0.036	0.269	0.464	0.421
35.00	13.588	0.1281	0.184	0.039	0.258	0.814	0.357	0.041	0.249	0.738	0.334	0.041	0.256	0.380	0.253	0.037	0.253	0.510	0.052	0.322	0.573	0.497
35.00	13.717	0.1290	0.198	0.040	0.259	0.818	0.358	0.041	0.250	0.741	0.335	0.041	0.257	0.381	0.254	0.037	0.254	0.511	0.050	0.332	0.573	0.497
35.00	10.748	0.1096	0.210	0.032	0.232	0.717	0.333	0.033	0.224	0.680	0.307	0.034	0.226	0.353	0.226	0.030	0.226	0.485	0.033	0.293	0.552	0.484
35.00	15.302	0.1387	0.247	0.044	0.272	0.868	0.370	0.046	0.263	0.770	0.347	0.045	0.272	0.394	0.267	0.041	0.267	0.523	0.046	0.336	0.592	0.510
35.00	17.011	0.1488	0.245	0.048	0.284	0.919	0.382	0.050	0.276	0.799	0.360	0.049	0.287	0.408	0.281	0.045	0.281	0.535	0.053	0.369	0.616	0.525
35.00	21.376	0.1733	0.300	0.058	0.315	1.040	0.407	0.061	0.306	0.865	0.389	0.059	0.321	0.437	0.314	0.055	0.313	0.561	0.059	0.407	0.671	0.557
35.00	23.202	0.1831	0.292	0.062	0.326	1.087	0.417	0.066	0.317	0.890	0.399	0.063	0.334	0.449	0.327	0.059	0.325	0.571	0.068	0.453	0.676	0.560
35.00	28.162	0.2083	0.293	0.073	0.355	1.207	0.440	0.078	0.346	0.953	0.425	0.074	0.366	0.477	0.358	0.070	0.356	0.595	0.087	0.489	0.708	0.578
35.00	25.435	0.1946	0.317	0.067	0.340	1.142	0.428	0.071	0.331	0.919	0.411	0.068	0.349	0.462	0.341	0.064	0.339	0.582	0.070	0.339	0.589	0.507
35.00	29.738	0.2160	0.291	0.077	0.364	1.243	0.447	0.082	0.355	0.971	0.432	0.078	0.375	0.485	0.368	0.073	0.365	0.602	0.093	0.505	0.683	0.564
35.00	30.311	0.2188	0.299	0.078	0.367	1.256	0.449	0.083	0.358	0.978	0.435	0.079	0.379	0.488	0.371	0.074	0.368	0.604	0.093	0.525	0.661	0.551
35.00	39.299	0.2601	0.368	0.097	0.411	1.445	0.482	0.105	0.402	1.071	0.471	0.097	0.426	0.529	0.420	0.093	0.416	0.638	0.108	0.614	0.718	0.583
35.00	37.614	0.2526	0.339	0.093	0.403	1.411	0.476	0.101	0.394	1.054	0.465	0.094	0.418	0.521	0.412	0.089	0.407	0.632	0.110	0.614	0.810	0.630
35.00	40.534	0.2655	0.385	0.100	0.417	1.469	0.486	0.108	0.408	1.082	0.476	0.100	0.432	0.534	0.427	0.095	0.422	0.642	0.108	0.608	0.896	0.667
35.00	65.095	0.3642	0.474	0.149	0.513	1.897	0.548	0.164	0.505	1.277	0.545	0.147	0.533	0.618	0.535	0.143	0.526	0.708	0.162	0.645	1.406	0.815
40.00	10.242	0.0929	0.177	0.026	0.208	0.627	0.309	0.027	0.201	0.623	0.281	0.028	0.196	0.327	0.200	0.024	0.201	0.460	0.028	0.209	0.497	0.445
40.00	13.197	0.1100	0.216	0.032	0.233	0.719	0.334	0.033	0.225	0.681	0.308	0.034	0.227	0.354	0.226	0.030	0.227	0.486	0.033	0.288	0.532	0.469
40.00	15.015	0.1198	0.243	0.036	0.247	0.771	0.347	0.038	0.238	0.713	0.322	0.038	0.243	0.368	0.241	0.034	0.241	0.499	0.034	0.292	0.563	0.490
40.00	11.210	0.0986	0.252	0.028	0.217	0.659	0.318	0.029	0.209	0.643	0.291	0.030	0.207	0.336	0.209	0.026	0.210	0.469	0.021	0.255	0.502	0.448
40.00	18.265	0.1366	0.285	0.043	0.269	0.857	0.367	0.045	0.260	0.763	0.345	0.044	0.269	0.391	0.265	0.040	0.264	0.520	0.038	0.358	0.562	0.490
40.00	40.002	0.2303	0.424	0.083	0.379	1.309	0.459	0.089	0.370	1.004	0.446	0.084	0.392	0.499	0.385	0.079	0.382	0.614	0.073	0.513	0.751	0.600
40.00	21.743	0.1534	0.285	0.049	0.290	0.942	0.387	0.052	0.282	0.811	0.366	0.051	0.294	0.413	0.288	0.047	0.287	0.540	0.048	0.388	0.578	0.500
40.00	23.105	0.1597	0.342	0.052	0.298	0.973	0.393	0.055	0.289	0.829	0.373	0.054	0.303	0.421	0.296	0.049	0.295	0.547	0.043	0.398	0.603	0.517
40.00	26.470	0.1749	0.358	0.058	0.316	1.047	0.409	0.062	0.308	0.869	0.390	0.060	0.323	0.439	0.316	0.055	0.314	0.563	0.049	0.435	0.613	0.522
40.00	29.249	0.1869	0.368	0.064	0.331	1.105	0.421	0.068	0.322	0.900	0.403	0.065	0.339	0.453	0.331	0.060	0.330	0.575	0.055	0.444	0.661	0.551
40.00	31.632	0.1969	0.377	0.068	0.342	1.153	0.430	0.072	0.333	0.925	0.414	0.069	0.352	0.464	0.344	0.065	0.342	0.584	0.060	0.488	0.658	0.549
40.00	32.869	0.2020	0.368	0.070	0.348	1.177	0.435	0.075	0.339	0.938	0.419	0.072	0.358	0.470	0.351	0.067	0.348	0.589	0.065	0.495	0.663	0.552
40.00	34.128	0.2072	0.349	0.073	0.354	1.201	0.439	0.078	0.345	0.950	0.424	0.074	0.364	0.475	0.357	0.069	0.354	0.594	0.073	0.509	0.689	0.567
40.00	36.158	0.2153	0.357	0.076	0.363	1.240	0.446	0.082	0.354	0.969	0.432	0.077	0.374	0.484	0.367	0.073	0.364	0.601	0.077	0.522	0.711	0.669
40.00	38.023	0.2227	0.301	0.080	0.371	1.274	0.452	0.085	0.362	0.987	0.439	0.081	0.383	0.492	0.376	0.076	0.373	0.607	0.096	0.465	0.974	0.682
40.00	62.788	0.3111	0.458	0.122	0.463	1.670	0.516	0.133	0.454	1.176	0.510	0.121	0.480	0.575	0.478	0.117	0.471	0.674	0.124	0.562	1.153	0.788
40.00	59.115	0.2988	0.441	0.116	0.451	1.616	0.508	0.126	0.442	1.151	0.501	0.115	0.468	0.564	0.464	0.111	0.458	0.666	0.119	0.573	1.201	0.777
40.00	55.499	0.2865	0.376	0.110	0.438	1.562	0.500	0.119	0.429	1.126	0.492	0.110	0.455	0.553	0.451	0.105	0.445	0.657	0.127	0.523	1.111	0.743
40.00	50.104	0.2676	0.366	0.101	0.419	1.478	0.487	0.109	0.410	1.087	0.477	0.101	0.434	0.536	0.429	0.096	0.424	0.643	0.114	0.487	1.051	0.695
45.00	9.890	0.0806	0.206	0.022	0.190	0.559	0.290	0.022	0.182	0.579	0.261	0.023	0.172	0.306	0.181	0.020	0.182	0.439	0.017	0.190	0.503	0.454
45.00	11.473	0.0890	0.223	0.025	0.203	0.606	0.303	0.025	0.195	0.610	0.275	0.026	0.189	0.321	0.194	0.023	0.195	0.453	0.019	0.211	0.564	0.500
45.00	12.823	0.0959	0.208	0.027	0.213	0.644	0.314	0.028	0.205	0.634	0.286	0.029	0.202	0.332	0.205	0.025	0.206	0.465	0.025	0.227	0.570	0.500

45.00	13.596	0.0997	0.203	0.029	0.218	0.664	0.319	0.029	0.211	0.647	0.292	0.030	0.209	0.338	0.211	0.027	0.212	0.470	0.028	0.244	0.608	0.530
45.00	14.763	0.1053	0.211	0.031	0.226	0.695	0.327	0.032	0.218	0.666	0.301	0.032	0.219	0.347	0.219	0.029	0.220	0.479	0.030	0.244	0.615	0.530
45.00	15.118	0.1070	0.205	0.031	0.229	0.704	0.330	0.032	0.221	0.672	0.304	0.033	0.221	0.349	0.222	0.029	0.222	0.481	0.033	0.278	0.591	0.515
45.00	19.509	0.1268	0.235	0.039	0.256	0.807	0.356	0.040	0.248	0.734	0.332	0.041	0.254	0.378	0.251	0.037	0.251	0.508	0.040	0.308	0.590	0.515
45.00	21.584	0.1357	0.226	0.042	0.268	0.853	0.366	0.044	0.259	0.761	0.343	0.044	0.268	0.390	0.263	0.040	0.263	0.519	0.048	0.332	0.619	0.530
45.00	23.908	0.1453	0.237	0.046	0.280	0.901	0.378	0.048	0.271	0.788	0.356	0.048	0.282	0.403	0.277	0.044	0.276	0.531	0.053	0.359	0.632	0.545
45.00	26.563	0.1558	0.258	0.050	0.293	0.954	0.389	0.053	0.285	0.818	0.369	0.052	0.297	0.416	0.291	0.048	0.290	0.543	0.056	0.357	0.661	0.559
45.00	28.646	0.1639	0.258	0.054	0.303	0.994	0.398	0.057	0.294	0.840	0.378	0.055	0.308	0.426	0.302	0.051	0.300	0.551	0.061	0.390	0.677	0.559
45.00	31.417	0.1743	0.275	0.058	0.316	1.044	0.408	0.062	0.307	0.868	0.390	0.060	0.322	0.439	0.315	0.055	0.314	0.562	0.065	0.391	0.692	0.574
45.00	33.311	0.1812	0.272	0.061	0.324	1.078	0.415	0.065	0.315	0.886	0.397	0.063	0.332	0.447	0.324	0.058	0.322	0.569	0.071	0.427	0.717	0.588
45.00	35.626	0.1895	0.279	0.065	0.334	1.118	0.423	0.069	0.325	0.907	0.406	0.066	0.342	0.456	0.335	0.062	0.333	0.577	0.076	0.431	0.718	0.588
45.00	36.481	0.1925	0.252	0.066	0.337	1.132	0.426	0.070	0.328	0.914	0.409	0.067	0.346	0.459	0.339	0.063	0.336	0.580	0.085	0.422	0.755	0.602
45.00	38.638	0.2000	0.306	0.069	0.346	1.168	0.433	0.074	0.337	0.933	0.417	0.071	0.356	0.468	0.348	0.066	0.346	0.587	0.077	0.441	0.891	0.636
45.00	47.772	0.2304	0.306	0.083	0.380	1.310	0.459	0.089	0.371	1.005	0.446	0.084	0.392	0.500	0.385	0.079	0.382	0.614	0.101	0.505	0.877	0.647
45.00	56.628	0.2581	0.360	0.096	0.409	1.436	0.480	0.104	0.400	1.066	0.469	0.096	0.424	0.527	0.418	0.092	0.413	0.636	0.108	0.576	0.897	0.805
45.00	60.003	0.2683	0.336	0.101	0.420	1.481	0.488	0.109	0.411	1.088	0.478	0.101	0.435	0.536	0.430	0.096	0.425	0.644	0.123	0.518	1.028	0.778
50.00	17.138	0.1047	0.252	0.030	0.226	0.691	0.326	0.031	0.218	0.664	0.300	0.032	0.217	0.346	0.219	0.029	0.219	0.478	0.024	0.279	0.517	0.454
50.00	21.592	0.1221	0.212	0.037	0.250	0.783	0.350	0.038	0.241	0.720	0.325	0.039	0.247	0.372	0.244	0.035	0.244	0.502	0.041	0.310	0.590	0.515
50.00	25.382	0.1361	0.250	0.042	0.268	0.855	0.367	0.044	0.260	0.762	0.344	0.044	0.268	0.391	0.264	0.040	0.263	0.520	0.043	0.331	0.624	0.530
50.00	27.600	0.1439	0.257	0.046	0.278	0.894	0.376	0.048	0.270	0.784	0.354	0.047	0.280	0.401	0.275	0.043	0.274	0.529	0.047	0.354	0.643	0.545
50.00	29.914	0.1518	0.234	0.049	0.288	0.934	0.385	0.051	0.280	0.807	0.364	0.050	0.291	0.411	0.285	0.046	0.285	0.538	0.058	0.362	0.667	0.559
50.00	9.889	0.0726	0.204	0.019	0.177	0.514	0.276	0.019	0.170	0.548	0.246	0.020	0.155	0.292	0.168	0.018	0.169	0.424	0.013	0.217	0.445	0.407
50.00	11.305	0.0793	0.209	0.021	0.188	0.552	0.287	0.022	0.180	0.574	0.259	0.023	0.170	0.304	0.179	0.020	0.180	0.437	0.016	0.239	0.477	0.438
50.00	12.934	0.0868	0.224	0.024	0.199	0.594	0.300	0.024	0.192	0.602	0.271	0.025	0.185	0.317	0.191	0.022	0.192	0.450	0.018	0.247	0.501	0.454
50.00	13.134	0.0877	0.184	0.024	0.201	0.599	0.301	0.025	0.193	0.605	0.273	0.026	0.186	0.318	0.192	0.023	0.193	0.451	0.024	0.240	0.505	0.454
50.00	14.024	0.0916	0.168	0.026	0.206	0.620	0.307	0.026	0.199	0.619	0.279	0.027	0.194	0.325	0.199	0.024	0.199	0.458	0.029	0.256	0.521	0.469
50.00	32.321	0.1598	0.237	0.052	0.298	0.974	0.394	0.055	0.289	0.829	0.373	0.054	0.303	0.421	0.296	0.049	0.295	0.547	0.063	0.372	0.710	0.588
50.00	36.012	0.1718	0.223	0.057	0.313	1.032	0.406	0.060	0.304	0.861	0.387	0.059	0.319	0.436	0.312	0.054	0.311	0.560	0.077	0.381	0.731	0.588
50.00	37.631	0.1769	0.228	0.059	0.319	1.057	0.411	0.063	0.310	0.874	0.393	0.061	0.326	0.442	0.319	0.056	0.317	0.565	0.079	0.394	0.715	0.588
50.00	39.503	0.1827	0.245	0.062	0.326	1.085	0.417	0.066	0.317	0.889	0.399	0.063	0.334	0.448	0.326	0.059	0.324	0.571	0.079	0.401	0.753	0.602
50.00	37.008	0.1749	0.242	0.058	0.316	1.048	0.409	0.062	0.308	0.869	0.390	0.060	0.323	0.439	0.316	0.055	0.315	0.563	0.074	0.388	0.706	0.574
50.00	56.190	0.2311	0.336	0.083	0.380	1.313	0.459	0.090	0.371	1.006	0.446	0.084	0.393	0.500	0.386	0.079	0.382	0.614	0.093	0.531	0.781	0.656
50.00	50.629	0.2156	0.318	0.076	0.363	1.241	0.446	0.082	0.354	0.970	0.432	0.077	0.375	0.484	0.367	0.073	0.364	0.601	0.086	0.497	0.761	0.656
50.00	47.735	0.2073	0.311	0.073	0.354	1.202	0.439	0.078	0.345	0.950	0.424	0.074	0.365	0.476	0.357	0.069	0.354	0.594	0.081	0.485	0.750	0.629
50.00	65.225	0.2552	0.347	0.095	0.406	1.423	0.478	0.102	0.397	1.060	0.467	0.095	0.421	0.524	0.415	0.090	0.410	0.634	0.109	0.565	0.815	0.682

ENSAYOS EXPERIMENTALES EN CAIDAS VERTICALES VENTILADAS

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES VENTILADAS DE AZ= 0.300 m.																																											
PRUEBA	Az (cm.)	Q(Useg)	Q(m3/seg)	y0(cm.)		y0prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m.)	Y caída (cm.)	ycai prom (cm.)	# Froude ycaida	FLUJO Ycaida	yp (cm.)	yp prom (cm.)	Vyp (m/s)	y1(cm.)	y1prom (cm.)	# Froude y1	V1(m/s)	E1(m.)	ycrit (cm.)	Ecritic (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Ecrit (m.)	Ld (cm.)	Ld prom (cm.)	βº	y2 (cm.)	y2 prom (cm.)											
#1	30.000	11.913	0.012	4.600	4.700	4.700	0.826	SUBCRITICO	0.558	0.363	2.900	2.800	3.000	2.900	1.686	SUPERCRITICO	8.000	8.300	7.900	8.067	2.344	1.200	0.900	1.000	1.033	7.928	2.520	0.335	4.108	0.362	SUPERCRITICO	0.027	0.362	21.300	21.400	21.333	53	0.800	0.700	0.700	0.733		
#2	30.000	15.028	0.015	5.700	5.500	5.700	5.633	0.786	SUBCRITICO	0.583	0.374	3.300	3.300	3.200	3.267	1.779	SUPERCRITICO	9.000	9.100	9.000	9.033	2.347	1.400	1.200	1.300	1.300	7.087	2.527	0.339	4.797	0.372	SUPERCRITICO	0.032	0.372	24.600	24.800	24.733	50	1.000	1.200	1.300	1.167	
#3	30.000	20.293	0.020	6.500	6.600	6.400	6.500	0.856	SUBCRITICO	0.682	0.389	4.400	4.300	4.300	4.333	1.573	SUPERCRITICO	11.100	10.900	11.100	11.033	2.330	1.700	1.600	1.700	1.667	6.593	2.661	0.379	5.860	0.388	SUPERCRITICO	0.009	0.388	20.100	27.900	28.000	25.333	47	1.800	1.800	1.900	1.833
#4	30.000	22.132	0.022	7.000	6.900	7.000	6.967	0.841	SUBCRITICO	0.694	0.394	5.100	4.900	5.000	5.000	1.384	SUPERCRITICO	11.500	11.900	11.700	11.700	2.324	2.600	2.400	2.300	2.433	4.076	1.988	0.226	6.209	0.393	SUPERCRITICO	0.167	0.393	30.000	30.100	30.000	30.033	45	2.000	2.100	2.000	2.033
#5	30.000	26.420	0.026	7.600	7.500	7.500	7.533	0.893	SUBCRITICO	0.767	0.405	4.900	5.000	5.000	4.967	1.668	SUPERCRITICO	12.000	12.100	12.000	12.033	2.359	3.000	2.900	3.000	2.967	3.614	1.947	0.223	6.987	0.405	SUPERCRITICO	0.181	0.405	31.700	31.600	31.800	31.700	43	2.500	2.400	2.300	2.400
#6	30.000	29.155	0.029	8.000	8.100	7.900	8.000	0.901	SUBCRITICO	0.797	0.412	5.600	6.000	5.800	5.800	1.459	SUPERCRITICO	13.000	13.500	13.200	13.233	2.338	3.000	2.900	2.900	2.933	4.057	2.172	0.271	7.461	0.412	SUPERCRITICO	0.141	0.412	33.600	33.800	33.600	33.667	42	2.500	2.500	2.000	2.333
#7	30.000	34.463	0.034	8.600	8.700	8.700	8.667	0.944	SUBCRITICO	0.869	0.425	6.100	5.900	6.000	6.000	1.639	SUPERCRITICO	13.500	13.600	13.500	13.533	2.381	3.200	3.500	3.300	3.333	3.958	2.260	0.294	8.341	0.425	SUPERCRITICO	0.131	0.425	33.000	33.200	33.200	33.133	41	3.000	2.900	3.000	2.967
#8	30.000	42.299	0.042	9.900	10.000	9.900	9.933	0.944	SUBCRITICO	0.931	0.444	6.900	7.000	7.100	7.000	1.596	SUPERCRITICO	15.000	15.400	15.600	15.333	2.382	4.100	4.000	4.400	4.167	3.476	2.219	0.293	9.562	0.443	SUPERCRITICO	0.150	0.443	38.600	38.500	38.300	38.467	37	4.100	4.000	4.200	4.100
#9	30.000	61.809	0.062	12.500	12.600	12.500	12.533	0.974	SUBCRITICO	1.078	0.485	8.900	9.000	8.700	8.867	1.636	SUPERCRITICO	18.000	17.900	18.000	17.967	2.442	5.900	6.000	6.000	5.967	2.964	2.264	0.322	12.313	0.485	SUPERCRITICO	0.163	0.485	44.300	44.300	44.200	44.267	34	4.000	4.500	4.000	4.167
#10	30.000	51.955	0.052	11.500	11.500	11.200	11.400	0.944	SUBCRITICO	0.996	0.465	8.000	7.900	8.000	7.967	1.615	SUPERCRITICO	17.500	17.000	17.200	17.233	2.390	5.000	5.100	5.000	5.033	3.216	2.256	0.311	10.967	0.465	SUPERCRITICO	0.154	0.465	43.000	42.900	43.000	42.967	33	4.900	4.500	4.500	4.633

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES VENTILADAS DE AZ= 0.350 m.																																											
PRUEBA	Az (cm.)	Q(Useg)	Q(m3/seg)	y0(cm.)		y0prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m.)	Y caída (cm.)	ycai prom (cm.)	# Froude ycaida	FLUJO Ycaida	yp (cm.)	yp prom (cm.)	Vyp (m/s)	y1(cm.)	y1prom (cm.)	# Froude y1	V1(m/s)	E1(m.)	ycrit (cm.)	Ecritic (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Ecrit (m.)	Ld (cm.)	Ld prom (cm.)	βº	y2 (cm.)	y2 prom (cm.)											
#1	35.000	8.861	0.008	5.100	5.000	5.000	5.033	0.499	SUBCRITICO	0.350	0.407	2.900	2.800	2.800	2.833	1.181	SUPERCRITICO	9.000	8.800	8.700	8.833	2.459	0.800	0.700	0.800	0.767	7.928	2.298	0.278	3.166	0.397	SUPERCRITICO	0.120	0.397	26.900	26.900	27.000	26.933	55	1.600	1.700	1.500	1.600
#2	35.000	12.676	0.013	5.400	5.500	5.500	5.467	0.693	SUBCRITICO	0.507	0.418	3.500	3.400	3.500	3.467	1.373	SUPERCRITICO	9.800	9.500	9.700	9.667	2.492	0.900	1.100	1.000	1.000	8.861	2.771	0.403	4.282	0.414	SUPERCRITICO	0.012	0.414	27.200	27.100	27.200	27.167	53	1.300	1.400	1.500	1.400
#3	35.000	17.439	0.017	6.100	6.000	6.100	6.067	0.816	SUBCRITICO	0.628	0.431	3.900	3.800	3.900	3.867	1.603	SUPERCRITICO	10.800	10.500	10.700	10.667	2.512	1.500	1.500	1.400	1.467	6.863	2.599	0.360	5.297	0.429	SUPERCRITICO	0.069	0.429	28.900	28.900	29.000	28.933	51	1.500	1.400	1.500	1.467
#4	35.000	22.613	0.023	7.000	6.900	7.000	6.967	0.860	SUBCRITICO	0.709	0.445	4.600	4.500	4.600	4.567	1.620	SUPERCRITICO	12.100	12.400	12.200	12.233	2.510	1.800	1.700	1.800	1.767	6.732	2.798	0.418	6.298	0.444	SUPERCRITICO	0.027	0.444	33.000	33.100	33.000	33.033	47	1.800	1.700	1.700	1.733
#5	35.000	24.866	0.025	7.600	7.500	7.600	7.567	0.835	SUBCRITICO	0.718	0.452	5.100	5.000	5.100	5.067	1.524	SUPERCRITICO	13.000	13.300	13.000	13.100	2.500	2.100	2.200	2.000	2.100	5.712	2.588	0.364	6.710	0.451	SUPERCRITICO	0.087	0.451	34.800	34.900	34.900	34.867	45	2.200	1.700	2.000	1.967
#6	35.000	29.322	0.029	7.800	7.900	7.900	7.867	0.930	SUBCRITICO	0.816	0.463	5.500	5.400	5.500	5.467	1.605	SUPERCRITICO	14.000	13.500	13.800	13.767	2.520	2.500	2.600	2.500	2.533	5.088	2.533	0.353	7.495	0.462	SUPERCRITICO	0.109	0.462	36.900	36.800	37.000	36.900	43	2.400	2.000	2.400	2.267
#7	35.000	34.044	0.034	8.500	8.400	8.500	8.467	0.966	SUBCRITICO	0.879	0.474	6.000	6.100	6.000	6.033	1.606	SUPERCRITICO	14.600	14.900	14.800	14.767	2.527	2.900	3.000	3.000	2.967	4.657	2.508	0.351	8.273	0.474	SUPERCRITICO	0.123	0.474	37.800	37.700	37.700	37.733	43	2.700	3.000	2.800	2.833
#8	35.000	42.694	0.043	10.000	9.900	9.800	9.900	0.958	SUBCRITICO	0.943	0.494	6.900	7.000	6.800	6.900	1.647	SUPERCRITICO	16.200	16.000	16.300	16.167	2.551	3.600	3.500	3.500	3.533	4.493	2.641	0.392	9.621	0.494	SUPERCRITICO	0.102	0.494	42.200	42.200	42.000	42.133	40	3.400	3.500	3.300	3.400
#9	35.000	65.095	0.065	13.500	13.500	13.600	13.667	0.901	SUBCRITICO	1.041	0.542	9.900	10.000	9.900	9.933	1.453	SUPERCRITICO	20.500	20.000	20.400	20.300	2.572	5.900	6.000	6.000	5.967	3.122	2.385	0.350	12.745	0.541	SUPERCRITICO	0.191	0.541	50.300	50.500	50.300	50.367	35	4.500	5.000	4.700	4.733

ENSAYOS EXPERIMENTALES CAIDAS VERTICALES VENTILADAS DE AZ= 0.400 m.																																											
PRUEBA	Az (cm.)	Q(Useg)	Q(m3/seg)	y0(cm.)		y0prom (cm.)	# Froude y0	FLUJO Y0	V0(m/s)	E0(m.)	Y caída (cm.)	ycai prom (cm.)	# Froude ycaida	FLUJO Ycaida	yp (cm.)	yp prom (cm.)	Vyp (m/s)	y1(cm.)	y1prom (cm.)	# Froude y1	V1(m/s)	E1(m.)	ycrit (cm.)	Ecritic (m.)	FLUJO Y1	AE (m.)	Ecrit (m.)	Ld (cm.)	Ld prom (cm.)	βº	y2 (cm.)	y2 prom (cm.)											
#1	40.000	11.810	0.012	4.900	4.800	4.900	0.761	SUBCRITICO	0.527	0.463	2.900	3.000	2.900	2.933	1.645	SUPERCRITICO	9.300	9.200	9.000	9.167	2.688	1.100	1.000	1.100	1.067	7.494	2.420	0.310	4.085	0.461	SUPERCRITICO	0.151	0.461	28.600	28.600	28.700	28.633	57	0.900	1.000	0.900	0.933	
#2	40.000	13.747	0.014	5.200	5.100	5.200	5.167	0.818	SUBCRITICO	0.582	0.469	3.400	3.400	3.300	3.367	1.556	SUPERCRITICO	9.500	9.700	9.600	9.600	2.696	1.100	1.100	1.000	1.067	8.723	2.817	0.416	4.520	0.468	SUPERCRITICO	0.051	0.468	29.700	29.800	28.700	29.400	56	1.100	1.000	1.100	1.067
#3	40.000	20.581	0.021	6.300	6.200	6.400	6.300	0.910	SUBCRITICO	0.714	0.489	4.500	4.500	4.500	4.500	1.507	SUPERCRITICO	11.900	11.800	12.000	11.900	2.689	1.800	1.800	1.700	1.767	5.915	0.489	0.349	5.915	0.489	SUPERCRITICO	0.139	0.489	33.600	33.700	33.600	33.633	52	1.500	1.400	1.500	1.467
#4	40.000	24.263	0.024	7.000	7.100	7.100	7.067	0.903	SUBCRITICO	0.750	0.499	4.800	4.700	4.800	4.767	1.630	SUPERCRITICO	12.700	13.000	13.000	12.900	2.690	2.400	2.100	2.200	2.233	5.082	2.375	0.311	6.601	0.499	SUPERCRITICO	0.188	0.499	35.600	35.300	35.200	35.367	50	1.600	1.500	1.600	1.567
#5	40.000	29.735	0.030	7.500	7.400	7.800	7.567	0.999	SUBCRITICO	0.859	0.513	5.800	5.900	5.900	5.867	1.463	SUPERCRITICO	14.300	14.200	14.300	14.267	2.693	2.900	2.400	2.500	2.600	4.958	2.500	0.346	7.560	0.513	SUPERCRITICO	0.168	0.513	39.300	39.200	39.300	39.267	43	2.000	2.600	2.700	2.567
#6	40.000	34.151	0.036	8.000	8.100	8.300	8.167	1.036	SUBCRITICO	0.936	0.527	6.300	6.300	6.300	6.300	1.407	SUPERCRITICO	15.300	15.300	15.300	15.300	2.716	3.200	2.500	2.600	2.700	4.150	2.500	0.350	8.150	0.527	SUPERCRITICO	0.200	0.527	41.300	41.300	41.300	41.300	44	2.500	3.000	3.100	2.867
#7	40.000	38.023	0.038	9.200	9.200	9.200	9.233	0.947	SUBCRITICO	0.990	0.534	6.800	6.900	7.000	6.900	1.466	SUPERCRITICO	16.500	16.200	16.200	16.200	2.692	3.500	3.600	3.600	3.567	3.946	2.330	0.313	8.906	0.534	SUPERCRITICO	0.220	0.534	41.500	41.500	41.600	41.533	44	3.500	3.900	4.000	3.800
#8	40.000	46.082	0.063	12.700	12.500	12.700	12.633	0.977	SUBCRITICO	1.086	0.587	8.900	9.000	9.000	8.967	1.635	SUPERCRITICO	20.200	20.500	20.200	20.333	2.741	5.700	5.800	5.700	5.737	3.197	2.394	0.350	12.453	0.587	SUPERCRITICO	0.236	0.587	50.600	49.900	49.900	50.133	39	4.500	5.000	4.900	4.800
#9	40.000	59.115	0.095	12.000	12.200	12.200	12.133	0.978	SUBCRITICO	1.065	0.579	8.300	8.200	8.300	8.267	1.739	SUPERCRITICO	20.000	19.900	20.000	19.967	2.735	5.500	5.500	5.200	5.167	3.519	2.500	0.361	11.952	0.579	SUPERCRITICO	0.208	0.579	49.200	49.300	49.200	49.233	40	4.400	5.000	4.400	4.433
#10	40.000	45.489	0.085	11.700	11.800	11.800	11.767	0.979	SUBCRITICO	1.065	0.579	8.300	8.200	8.300	8.267	1.739	SUPERCRITICO	20.000	19.900	20.000	19.967	2.735	5.500	5.500	5.200	5.167	3.519	2.500	0.361	11.952	0.579	SUPERCRITICO	0.208	0.579	49.200	49.300	49.200	49.233	40	4.400	5.000	4.400	4.433
#11	40.000	50.104	0.050	10.800	10.700	10.800	10.767	0.991	SUBCRITICO	1.017	0.561	7.100	7.200	7.100	7.139	1.851	SUPERCRITICO	18.500	18.200	18.500	18.400	2.714	4.400	4.500	4.300	4.300	3.795	2.489	0.361	10.705	0.561	SUPERCRITICO	0.200	0.561	44.600	44.500	44.600	44.567	43	4.100	4.000	4.000	4.033

TABLA COMPARATIVA DE DATOS EN CAIDAS VERTICALES NO VENTILADAS

209

45.00	38.638	0.2000	0.344	0.069	0.346	1.168	0.433	0.074	0.337	0.933	0.417	0.071	0.356	0.468	0.348	0.066	0.346	0.587	0.079	0.388	0.988	0.617
45.00	47.772	0.2304	0.396	0.083	0.380	1.310	0.459	0.089	0.371	1.005	0.446	0.084	0.392	0.500	0.385	0.079	0.382	0.614	0.091	0.418	1.066	0.729
45.00	56.628	0.2581	0.444	0.096	0.409	1.436	0.480	0.104	0.400	1.066	0.469	0.096	0.424	0.527	0.418	0.092	0.413	0.636	0.121	0.456	1.084	0.740
45.00	60.003	0.2683	0.461	0.101	0.420	1.481	0.488	0.109	0.411	1.088	0.478	0.101	0.435	0.536	0.430	0.096	0.425	0.644	0.128	0.464	1.124	0.761
50.00	10.893	0.0774	0.195	0.021	0.185	0.541	0.284	0.021	0.177	0.567	0.255	0.022	0.166	0.300	0.176	0.019	0.177	0.433	0.017	0.187	0.597	0.462
50.00	13.625	0.0899	0.155	0.025	0.204	0.611	0.304	0.026	0.196	0.613	0.277	0.027	0.190	0.322	0.196	0.023	0.197	0.455	0.021	0.207	0.638	0.512
50.00	18.316	0.1095	0.189	0.032	0.232	0.717	0.333	0.033	0.224	0.680	0.307	0.034	0.226	0.353	0.226	0.030	0.226	0.485	0.029	0.235	0.677	0.561
50.00	20.296	0.1172	0.202	0.035	0.243	0.757	0.343	0.036	0.235	0.704	0.318	0.037	0.239	0.365	0.237	0.033	0.237	0.496	0.036	0.257	0.720	0.559
50.00	25.993	0.1382	0.239	0.043	0.271	0.866	0.369	0.045	0.262	0.768	0.347	0.045	0.271	0.394	0.267	0.041	0.266	0.522	0.049	0.287	0.781	0.596
50.00	32.343	0.1599	0.276	0.052	0.298	0.974	0.394	0.055	0.290	0.829	0.373	0.054	0.303	0.421	0.296	0.049	0.295	0.547	0.050	0.323	0.835	0.623
50.00	37.824	0.1775	0.306	0.060	0.320	1.060	0.412	0.063	0.311	0.876	0.393	0.061	0.327	0.442	0.319	0.057	0.318	0.566	0.066	0.355	0.869	0.642
50.00	56.190	0.2311	0.398	0.083	0.380	1.313	0.459	0.090	0.371	1.006	0.446	0.084	0.393	0.500	0.386	0.079	0.382	0.614	0.098	0.427	0.983	0.720
50.00	50.629	0.2156	0.372	0.076	0.363	1.241	0.446	0.082	0.354	0.970	0.432	0.077	0.375	0.484	0.367	0.073	0.364	0.601	0.091	0.404	0.961	0.706
50.00	47.735	0.2073	0.357	0.073	0.354	1.202	0.439	0.078	0.345	0.950	0.424	0.074	0.365	0.476	0.357	0.069	0.354	0.594	0.087	0.393	0.945	0.705
50.00	65.225	0.2552	0.440	0.095	0.406	1.423	0.478	0.102	0.397	1.060	0.467	0.095	0.421	0.524	0.415	0.090	0.410	0.634	0.119	0.455	1.061	0.756