

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE CUBETAS
DEFLECTORAS EN LA REPRESA DE CONDOROMA AREQUIPA”**

Tesis presentada por el bachiller:

Villalba Recabarren, Helard Alejandro

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Rendón Dávila, Víctor Oscar

Arequipa – Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 04 de Octubre del 2021

Dictamen: 003051-C-EPIC-2021

Visto el borrador del expediente 003051, presentado por:

2011700781 - VILLALBA RECARBARREN HELARD ALEJANDRO

Titulado:

**DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE CUBETAS DEFLECTORAS EN LA REPRESA DE
CONDOROMA AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1783 - HIDALGO VALDIVIA ALEJANDRO VICTOR
DICTAMINADOR**



**1950 - ARROYO AMBIA ARTURO FELIX
DICTAMINADOR**



**9260 - DE LA CRUZ MENDOZA FERNANDO ARON
DICTAMINADOR**



1961

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado salud y sabiduría para poder realizar todo lo que me pueda proponer.

Agradezco a mis padres por darme el apoyo, fuerza, paciencia en mi desarrollo.

Agradezco al magister Víctor Oscar Rendon Dávila mentor que con paciencia, sabiduría y guía para que este proyecto de investigación fuera posible.

Agradezco a todas las personas que dios puso en mi camino para comprender y enseñarme más halla de mi perspectiva de vida. En especial para la persona que siempre me apoya y está a mi lado en todo momento.

Por último, agradezco una frase que puede resumir el trabajo detrás del proyecto de tesis: “La mente humana tiene una naturaleza inestable cambiando de enfoque todo el tiempo, buscando placer y evitando el dolor, la mente del hombre no encontrara la paz, hasta cuando busque el autoconocimiento para alcanzar su potencial”.

HELARD V.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene en su contenido la aplicación de años de estudio sobre el comportamiento del flujo, de diferentes autores que con tiempo y dedicación lograron aplicar la ciencia para entender el comportamiento de la naturaleza, así como poder aplicar su conocimiento.

El resultado de esta aplicación fueron los diferentes tipos de vertederos que obedeciendo a criterios generales dieron como resultado formas y aplicaciones variadas (WES), que tienen una finalidad en su construcción para disipar la energía regulando el comportamiento del flujo.

Por tanto, siguiendo con el trabajo de muchas personas que analizaron el comportamiento del flujo ante una estructura de disipación para lograr mayor seguridad y eficiencia al momento de la aplicación in situ.

Adicional, se trabajó en un modelo a escala reducida sobre el cual se instaló un vertedero tipo (WES), tomando como prototipo las características geográficas como también el registro histórico de la represa de Condoroma.

Analizando según los criterios de la USBR para lograr obtener los datos teóricos como experimentales que nos permitan un adecuado discernimiento sobre los resultados para poder responder la hipótesis general propuesta en el presente trabajo de investigación.

Todo esto contribuirá que en el futuro las construcciones echas en condiciones similares tengan como referencia el estudio realizado en este proyecto de investigación logrando una mayor seguridad y eficiencia en la aplicación.

Palabras clave: Vertedero, WES, USBR, Modelo a escala reducida.

ABSTRACT

The present research work has in its content the application of years of study on the behavior of the flow, by different authors who with time and dedication managed to apply science to understand the behavior of nature, as well as being able to apply their knowledge.

The result of this application were the different types of landfills that, obeying general criteria, resulted in varied forms and applications (WES), which have a purpose in their construction to dissipate energy by regulating the behavior of the flow.

Therefore, following the work of many people who analyzed the behavior of the flow before a dissipation structure to achieve greater safety and efficiency at the time of the on-site application.

Additionally, work was done on a reduced-scale model on which a type spillway (WES) was installed, taking as a prototype the geographical characteristics as well as the historical record of the Condorama dam.

Analyzing according to the USBR criteria to obtain theoretical and experimental data that allow us an adequate discernment about the results to be able to answer the general hypothesis proposed in this research work.

All this contributes that in the future the constructions built in similar conditions have as reference the study carried out in this research project, achieving greater safety and efficiency in the application.

Keywords: Landfill, WES, USBR, Small-scale model.

INTRODUCCIÓN

En la antigüedad es posible que se hayan hecho reproducciones de obras hidráulicas; pero estas no pensaban en ser maquetas, a falta de leyes de similitud, únicamente tendrían indicaciones cualitativas del problema. No es hasta Galileo Galilei en la obra “Diálogos acerca de dos ciencias nuevas” publicado en 1638.

Dos siglos después, en 1759, John Smeaton ingeniero inglés, presentó un artículo donde, por primera vez, se describe un estudio del comportamiento de una rueda de paletas movida por agua.

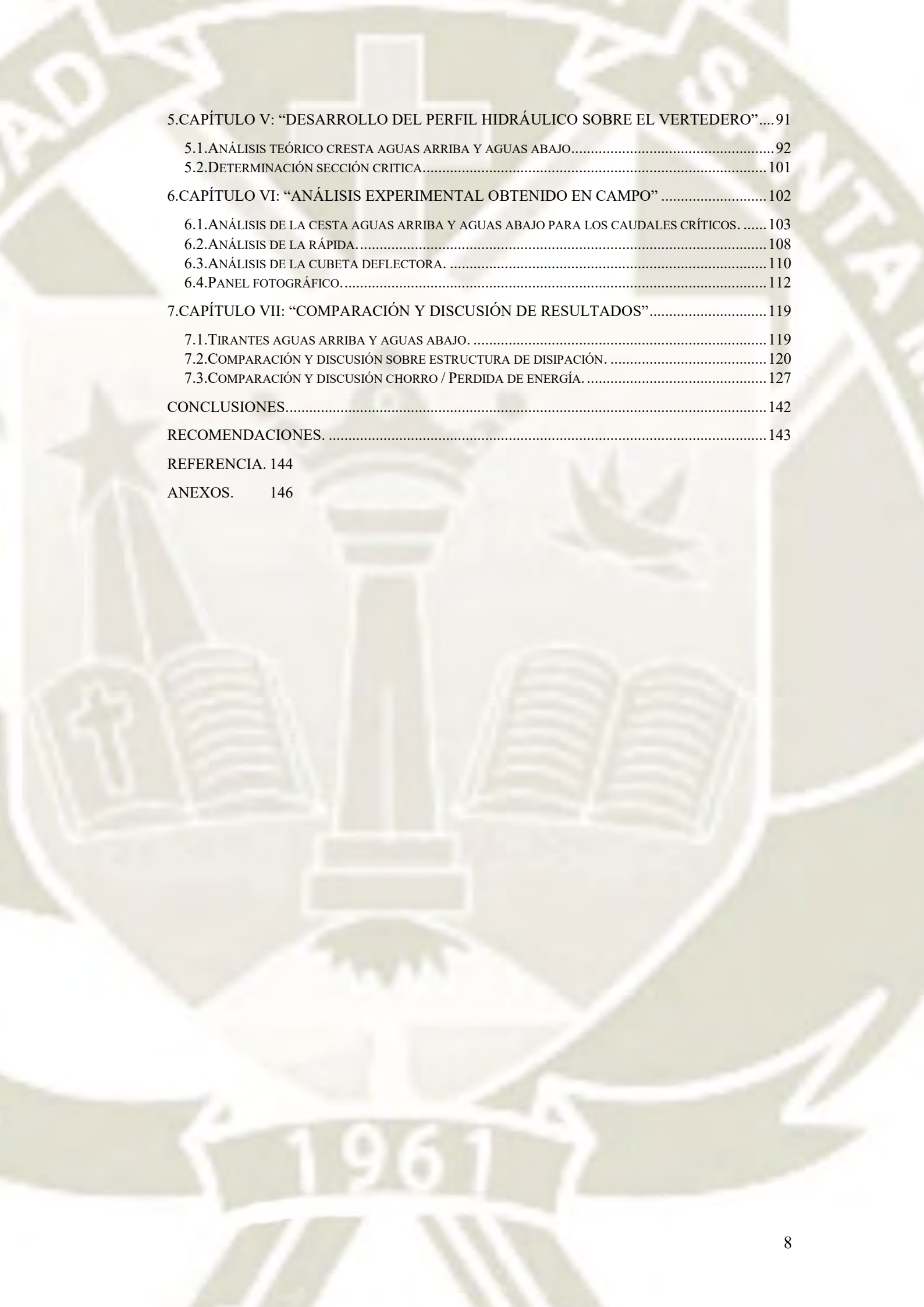
En la segunda parte del siglo XVII, un grupo de franceses: Jean Charles Borda, Charles Bossut y Pierre Poncelet, continuaron utilizando modelos para estudiar diversos problemas hidráulicos y en sus cursos, presentaba la ley de semejanza cuando el efecto dominante es la gravedad, o sea el criterio conocido ahora como la ley de Froude.

En la segunda mitad del siglo XIX en Inglaterra William Froude y su hijo Robert Edmund, hicieron experimentos para encontrar la resistencia del avance de los barcos encontrando y ampliando semejanzas de forma correcta en sus experimentos.

En este siglo quedó fuera de duda la capacidad predictiva y, en general, la utilización de los modelos físicos en la hidráulica, donde se ensayan las obras propuestas por los proyectistas para verificar su funcionamiento en diversas condiciones de escurrimiento, modificando y corrigiendo lo que haga falta incluso probando teorías propuestas por los investigadores.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| DICTAMEN APROBATORIO..... | 2 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 3 |
| RESUMEN | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 1.CAPITULO I: “PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA” | 15 |
| 1.1.PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 15 |
| 1.2.JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| 1.3.OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.4.HIPÓTESIS..... | 16 |
| 1.5.ALCANCE..... | 16 |
| 1.6.TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 17 |
| 1.7.VARIABLE..... | 17 |
| 1.8.RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 17 |
| 2.CAPITULO II: “FUNDAMENTO TEÓRICO” | 18 |
| 2.1.ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN..... | 18 |
| 2.2.ESTADO DEL ARTE..... | 19 |
| 2.3.MARCO TEÓRICO..... | 22 |
| 2.3.1.Definiciones..... | 22 |
| 2.3.2.Partes de un aliviadero..... | 25 |
| 2.3.3.Variaciones de diseño en la cubeta deflectora..... | 26 |
| 2.4.LAMINA VERTIENTE SOBRE LA PRESA:..... | 29 |
| 2.4.1.VERTEDERO SIN CONTROL: | 30 |
| 2.5.LAMINA VERTIENTE SOBRE LA RÁPIDA:..... | 31 |
| 2.6.RÉGIMEN DEL FLUJO | 32 |
| 2.7.ENERGÍA Y FLUJO A TRAVÉS DE LA ESTRUCTURA: | 33 |
| 2.8.EFECTOS DEL FLUJO SOBRE LA GEOMETRÍA CÓNCAVA..... | 40 |
| 3.CAPITULO III: “METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL VERTEDERO” | 44 |
| 3.1.UBICACIÓN GEOGRÁFICA..... | 44 |
| 3.2.REGISTRO HISTÓRICO..... | 46 |
| GRAFICO 1.REPORTE HÍDRICO | 46 |
| 3.3.SEMEJANZA Y DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO..... | 47 |
| 3.4.DETERMINACIÓN DE LA ESCALA A USAR..... | 57 |
| 3.5.METODOLOGÍA DE ANÁLISIS SOBRE EL VERTEDERO..... | 59 |
| 3.5.1.DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE DISEÑO..... | 59 |
| 3.5.2.FLUJO AGUAS ARRIBA: | 59 |
| 3.5.3.GEOMETRÍA DEL VERTEDERO..... | 60 |
| 3.5.3.1.DISEÑO DE LA CRESTA:..... | 60 |
| 3.5.3.2.PARÁMETROS DE DISEÑO RÁPIDA..... | 68 |
| 3.5.3.3.PARÁMETROS DE DISEÑO ESTRUCTURA TERMINAL..... | 69 |
| 4.CAPÍTULO IV: “DETERMINACIÓN DEL PERFIL GEOMÉTRICO” | 78 |
| 4.1.DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE DISEÑO..... | 78 |
| 4.2.GEOMETRÍA DE LA CRESTA AGUAS ARRIBA..... | 81 |
| 4.3.GEOMETRÍA AGUAS DEBAJO DE LA CRESTA HASTA EL PUNTO DE TANGENCIA..... | 84 |
| 4.4.GEOMETRÍA DE LA RÁPIDA..... | 86 |
| 4.5.GEOMETRÍA DE LA CUBETA DEFLECTORA..... | 88 |
| 4.6.DIBUJO GEOMÉTRICO DEL SALTO EN SKY POR DISPERSIÓN: | 90 |



| | |
|--|-----|
| 5.CAPÍTULO V: “DESARROLLO DEL PERFIL HIDRÁULICO SOBRE EL VERTEDERO” | 91 |
| 5.1.ANÁLISIS TEÓRICO CRESTA AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO..... | 92 |
| 5.2.DETERMINACIÓN SECCIÓN CRÍTICA..... | 101 |
| 6.CAPÍTULO VI: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL OBTENIDO EN CAMPO” | 102 |
| 6.1.ANÁLISIS DE LA CESTA AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO PARA LOS CAUDALES CRÍTICOS. | 103 |
| 6.2.ANÁLISIS DE LA RÁPIDA..... | 108 |
| 6.3.ANÁLISIS DE LA CUBETA DEFLECTORA. | 110 |
| 6.4.PANEL FOTOGRÁFICO..... | 112 |
| 7.CAPÍTULO VII: “COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS” | 119 |
| 7.1.TIRANTES AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO. | 119 |
| 7.2.COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN SOBRE ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN. | 120 |
| 7.3.COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN CHORRO / PERDIDA DE ENERGÍA. | 127 |
| CONCLUSIONES..... | 142 |
| RECOMENDACIONES. | 143 |
| REFERENCIA. | 144 |
| ANEXOS. | 146 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|---|-----|
| TABLA 1. | SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURA..... | 14 |
| TABLA 2. | PRESIONES Y COEFICIENTE DE DESCARGA SOBRE EL VERTEDERO. | 31 |
| TABLA 3. | SOTELO HIDRÁULICA DE CANALES..... | 36 |
| TABLA 4. | VALORES DE LA VARIABLE DE RUGOSIDAD..... | 37 |
| TABLA 5. | MAGNITUDES FUNDAMENTALES..... | 49 |
| TABLA 6. | MONOMIOS FUNDAMENTALES EN LA MECÁNICA DE FLUIDOS..... | 52 |
| TABLA 7. | RELACIÓN DE SEMEJANZA EXPRESADO EN MAGNITUDES FUNDAMENTALES..... | 57 |
| TABLA 8. | DETERMINAR EL RADIO DEL CUCHARON SON LAS SIGUIENTES:..... | 70 |
| TABLA 9. | ÁNGULOS ADMISIBLES PARA EL CUCHARON..... | 74 |
| TABLA 10. | PUNTOS EN LA PARTE SUPERIOR DE LA CRESTA..... | 83 |
| TABLA 11. | PUNTOS EN LA PARTE INFERIOR CRESTA..... | 85 |
| TABLA 12. | PUNTOS GEOMÉTRICOS DE LA RÁPIDA..... | 87 |
| TABLA 13. | PUNTOS GEOMÉTRICOS CUBETA DEFLECTORA..... | 89 |
| TABLA 14. | ECUACIONES ADIMENSIONALES PARA EL PERFIL DE FLUJO..... | 92 |
| TABLA 15. | RESULTADOS DE LAS ECUACIONES ADIMENSIONALES..... | 93 |
| TABLA 16. | ECUACIÓN PARA HALLAR EL COEFICIENTE Y FACTOR DE FLUJO..... | 93 |
| TABLA 17. | RESULTADOS DEL COEFICIENTE Y FACTOR DE FLUJO..... | 94 |
| TABLA 18. | FLUJO AGUAS ARRIBA RELACIÓN: $HHd = 0.5$ | 95 |
| TABLA 19. | FLUJO AGUAS ABAJO RELACIÓN: $HHd = 0.5$ | 96 |
| TABLA 20. | FLUJO AGUAS ABAJO RELACIÓN: $HHd = 1.00$ | 97 |
| TABLA 21. | FLUJO AGUAS ABAJO RELACIÓN: $HHd = 1.00$ | 98 |
| TABLA 22. | FLUJO AGUAS ARRIBA RELACIÓN: $HHd = 1.33$ | 99 |
| TABLA 23. | FLUJO AGUAS ABAJO RELACIÓN: $HHd = 1.33$ | 100 |
| TABLA 24. | DETERMINAR LA SECCIÓN CRITICA..... | 101 |
| TABLA 25. | DETERMINACIÓN DE SECCIÓN CRITICA..... | 101 |
| TABLA 26. | RELACIÓN ENTRE LA ALTURA DE APROXIMACIÓN Y DE DISEÑO..... | 102 |
| TABLA 27. | ECUACIONES ADIMENSIONALES PARA EL CASO EXPERIMENTAL..... | 103 |
| TABLA 28. | VALORES CRESTA AGUAS ARRIBA..... | 104 |
| TABLA 29. | VALORES CRESTA AGUAS ABAJO..... | 105 |
| TABLA 30. | TABULACIÓN DEL PERFIL HIDRÁULICO DE LA RÁPIDA..... | 110 |
| TABLA 31. | TABULACIÓN DEL PERFIL HIDRÁULICO CUBETA DEFLECTORA..... | 111 |
| TABLA 32. | FINAL DE LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 111 |
| TABLA 33. | PRESIONES DEL CUCHARON..... | 112 |
| TABLA 34. | TIRANTES AGUAS ARRIBA/ABAJO..... | 119 |
| TABLA 35. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 120 |
| TABLA 36. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 124 |
| TABLA 37. | CALADOS PARA CADA CAUDAL DE OPERACIÓN ESTUDIADO..... | 128 |
| TABLA 38. | CALADO PARA CADA CAUDAL ESTUDIADO..... | 129 |
| TABLA 39. | CALADO PARA CADA CAUDAL ESTUDIADO..... | 130 |
| TABLA 40. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25°..... | 131 |
| TABLA 41. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30°..... | 132 |
| TABLA 42. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35°..... | 133 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| TABLA 43. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA CUCHARON DE 25° | 134 |
| TABLA 44. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA CUCHARON DE 30° | 135 |
| TABLA 45. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN CUCHARON DE 35° | 136 |
| TABLA 46. | TIRANTE ANTES Y DESPUÉS DE LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 146 |
| TABLA 47. | CALADO Y PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN “CRESTA” | 146 |
| TABLA 48. | PRESIONES EN ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN: | 147 |
| TABLA 49. | CALADO Y GEOMETRÍA DEL CHORRO. | 147 |
| TABLA 50. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 148 |
| TABLA 51. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN CUCHARON DE 25° | 152 |
| TABLA 52. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN CUCHARON DE 30° | 153 |
| TABLA 53. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN CUCHARON DE 30° | 154 |
| TABLA 54. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN CUCHARON DE 35° | 155 |
| TABLA 55. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 158 |
| TABLA 56. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25° | 162 |
| TABLA 57. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 163 |
| TABLA 58. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35° | 164 |
| TABLA 59. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 167 |
| TABLA 60. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25° | 171 |
| TABLA 61. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 172 |
| TABLA 62. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35° | 173 |
| TABLA 63. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 176 |
| TABLA 64. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25° | 180 |
| TABLA 65. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 181 |
| TABLA 66. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 182 |
| TABLA 67. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 185 |
| TABLA 68. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25° | 189 |
| TABLA 69. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 190 |
| TABLA 70. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35° | 191 |
| TABLA 71. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 194 |
| TABLA 72. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25° | 198 |
| TABLA 73. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 199 |
| TABLA 74. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35° | 200 |
| TABLA 75. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 203 |
| TABLA 76. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 25° | 207 |
| TABLA 77. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 208 |
| TABLA 78. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35° | 209 |
| TABLA 79. | CALADO/PRESIONES EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 212 |
| TABLA 81. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 30° | 217 |
| TABLA 82. | VARIACIÓN DE LA DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN CUCHARON DE 35° | 218 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|-----|
| FIGURA 1. | PARTES DE UN SALTO EN ESQUÍ..... | 18 |
| FIGURA 2. | TIPOS DE VERTEDERO..... | 19 |
| FIGURA 3. | PARTES DE UN VERTEDERO..... | 26 |
| FIGURA 4. | PRESA RALCO “CHILE”..... | 27 |
| FIGURA 5. | DISEÑO A ESCALA REDUCIDA DE CUBETA DEFLECTORA ESCALONADA..... | 27 |
| FIGURA 6. | (PRESA GUNGZHAO “CHINA”)..... | 28 |
| FIGURA 7. | (PRESA CONTRA-SIZA)..... | 28 |
| FIGURA 8. | DIAGRAMA DE FLUJO EN LA CRESTA..... | 29 |
| FIGURA 9. | PARTES DE LA CRESTA Y ZONAS DE PRESIÓN..... | 31 |
| FIGURA 10. | DIAGRAMA DE FLUJO EN LA RÁPIDA..... | 32 |
| FIGURA 11. | RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE REYNOLDS Y FROUD..... | 33 |
| FIGURA 12. | ENERGÍA DEL FLUJO SOBRE UN CANAL ABIERTO..... | 34 |
| FIGURA 13. | FACTOR ADIMENSIONAL EN EL DIAGRAMA DE MOODY..... | 35 |
| FIGURA 14. | ABACO PARA PERDIDA POR FRICCIÓN EN FUNCIÓN DE LA RUGOSIDAD..... | 39 |
| FIGURA 15. | EFFECTOS DEL FLUJO GEOMETRÍA CÓNCAVA..... | 40 |
| FIGURA 16. | FOTO-SATELITAL REPRESA DE CONDOROMA..... | 45 |
| FIGURA 17. | REPRESA DE CONDOROMA..... | 45 |
| FIGURA 18. | TIPO DE TALUD PARA EL PARAMENTO DE LA CRESTA..... | 59 |
| FIGURA 19. | : PARÁMETROS GEOMÉTRICOS E HIDRÁULICOS ZONA DE CORONACIÓN..... | 61 |
| FIGURA 20. | VALORES DE COEFICIENTE DE DESCARGA..... | 61 |
| FIGURA 21. | : ABACO PARA HALLAR EL VALOR DE K..... | 62 |
| FIGURA 22. | : ABACO PARA VALORES DE N..... | 63 |
| FIGURA 23. | ABACO PARA HALLAR LOS PARÁMETROS DE LA CRESTA..... | 64 |
| FIGURA 24. | FORMA GEOMÉTRICA TOMANDO LA ALTURA DE APROXIMACIÓN..... | 65 |
| FIGURA 25. | VERTEDERO WES CON PARAMENTO VERTICAL AGUAS ARRIBA..... | 66 |
| FIGURA 26. | VERTEDERO WES CON PARAMENTO VERTICAL AGUAS ARRIBA..... | 67 |
| FIGURA 27. | VERTEDERO WES CON PARAMENTO VERTICAL AGUAS ARRIBA..... | 67 |
| FIGURA 28. | ABACO PARA DETERMINAR LOS VALORES DE K Y N..... | 68 |
| FIGURA 29. | GEOMETRÍA DEL CUCHARON PARA DETERMINAR EL RADIO..... | 69 |
| FIGURA 30. | GEOMETRÍA DEL CUCHARON PARA DETERMINAR EL RADIO..... | 71 |
| FIGURA 31. | PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL CHORRO..... | 75 |
| FIGURA 32. | ABACO ANGULO DE SALIDA DEL CHORRO..... | 76 |
| FIGURA 33. | ANGULO DE SALIDA DEL CHORRO..... | 77 |
| FIGURA 34. | DISEÑO GEOMÉTRICO CUBETA DEFLECTORA..... | 88 |
| FIGURA 35. | PARTES DEL DISEÑO HIDRÁULICO EN LA CRESTA..... | 91 |
| FIGURA 36. | CAPTACIÓN DE AGUA PARA EL MODELO A ESCALA REDUCIDA..... | 113 |
| FIGURA 37. | DESCRIPCIÓN: TUBERÍA FORZADA Y PANEL DE CONTROL ELÉCTRICO..... | 113 |
| FIGURA 38. | EMBALSE DE AGUA PREVIO AL RECORRIDO..... | 114 |
| FIGURA 39. | RECORRIDO DEL FLUJO AGUAS ARRIBA Y NIVELACIÓN..... | 114 |
| FIGURA 40. | INICIO DEL RECORRIDO CRESTA AGUAS ARRIBA/ABAJO..... | 115 |
| FIGURA 41. | ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN (RÁPIDA)..... | 115 |
| FIGURA 42. | CUBETA DEFLECTORA, GEOMETRÍA DEL CHORRO..... | 116 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| FIGURA 43. GEOMETRÍA DEL CHORRO | 116 |
| FIGURA 44. CAUDALÍMETRO..... | 117 |
| FIGURA 45. SENSORES DE PRESIÓN | 117 |
| FIGURA 46. SENSORES DE PRESIÓN..... | 118 |

ÍNDICE DE GRAFICOS

| | |
|---|-----|
| GRAFICO 1. REPORTE HÍDRICO..... | 46 |
| GRAFICO 2. GEOMETRÍA PARTE SUPERIOR DE LA CRESTA | 83 |
| GRAFICO 3. GEOMETRÍA PARTE INFERIOR DE LA CRESTA | 85 |
| GRAFICO 4. GEOMETRÍA DE LA RÁPIDA | 88 |
| GRAFICO 5. GEOMETRÍA CUBETA DEFLECTORA | 89 |
| GRAFICO 6. DISEÑO GEOMÉTRICO ENTERO..... | 90 |
| GRAFICO 7. CALADO-VALORES EXPERIMENTALES, PERFIL TEÓRICO, SECCIÓN CRITICA..... | 106 |
| GRAFICO 8. PRESIONES-VALORES EXPERIMENTALES, PERFIL TEÓRICO, SECCIÓN CRITICA..... | 107 |
| GRAFICO 9. SECCIÓN TRASVERSAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA $Hhd = 0.465$ A 25° | 121 |
| GRAFICO 10. SECCIÓN TRASVERSAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA $Hhd = 0.465$ A 30° | 122 |
| GRAFICO 11. SECCIÓN TRASVERSAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA $Hhd = 0.465$ A 35° | 123 |
| GRAFICO 12. SECCIÓN TRASVERSAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA $Hhd = 0.7949$ A 25° | 125 |
| GRAFICO 13. SECCIÓN TRASVERSAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA $Hhd = 0.7949$ A 30° | 126 |
| GRAFICO 14. SECCIÓN TRASVERSAL DEL DISIPADOR DE ENERGÍA $Hhd = 0.7949$ A 35° | 127 |
| GRAFICO 15. GRAFICAS DE CONTROL | 137 |
| GRAFICO 16. TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.7949$ EN EL VERTEDERO..... | 137 |
| GRAFICO 17. VELOCIDAD VS ENERGÍA | 138 |
| GRAFICO 18. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DEL VERTEDERO. | 138 |
| GRAFICO 19. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 139 |
| GRAFICO 20. TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.465$ EN EL VERTEDERO. | 139 |
| GRAFICO 21. ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 140 |
| GRAFICO 22. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DEL VERTEDERO. | 140 |
| GRAFICO 23. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 141 |
| GRAFICO 24. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $Hhd = 0.732$ A 25° | 149 |
| GRAFICO 25. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $Hhd = 0.732$ A 30° | 150 |
| GRAFICO 26. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $Hhd = 0.732$ A 35° | 151 |
| GRAFICO 27. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.732$ A 90 L/S..... | 156 |
| GRAFICO 28. ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 156 |
| GRAFICO 29. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 157 |
| GRAFICO 30. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 157 |
| GRAFICO 31. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $Hhd = 0.646$ A 80 L/S..... | 159 |
| GRAFICO 32. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $Hhd = 0.646$ A 80 L/S | 160 |
| GRAFICO 33. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $Hhd = 0.646$ A 80 L/S | 161 |
| GRAFICO 34. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.646$ A 80 L/S..... | 165 |
| GRAFICO 35. ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN..... | 165 |
| GRAFICO 36. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 166 |
| GRAFICO 37. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 166 |

| | |
|--|-----|
| GRAFICO 38. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.646$ A 70 L/S | 168 |
| GRAFICO 39. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.646$ A 70 L/S | 169 |
| GRAFICO 40. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.646$ A 70 L/S | 170 |
| GRAFICO 41. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.609$ A 70 L/S..... | 174 |
| GRAFICO 42. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD | 174 |
| GRAFICO 43. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 175 |
| GRAFICO 44. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 175 |
| GRAFICO 45. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.553$ A 60 L/S | 177 |
| GRAFICO 46. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.553$ A 60 L/S | 178 |
| GRAFICO 47. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.553$ A 60 L/S | 179 |
| GRAFICO 48. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.553$ A 60 L/S..... | 183 |
| GRAFICO 49. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD | 183 |
| GRAFICO 50. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 184 |
| GRAFICO 51. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 184 |
| GRAFICO 52. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.518$ A 50 L/S | 186 |
| GRAFICO 53. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.518$ A 50 L/S | 187 |
| GRAFICO 54. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.518$ A 50 L/S | 188 |
| GRAFICO 55. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $HHD = 0.518$ A 50 L/S | 192 |
| GRAFICO 56. ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN | 192 |
| GRAFICO 57. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 193 |
| GRAFICO 58. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 193 |
| GRAFICO 59. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.347$ A 30 L/S | 195 |
| GRAFICO 60. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.347$ A 30 L/S | 196 |
| GRAFICO 61. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.347$ A 30 L/S | 197 |
| GRAFICO 62. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.374$ A 30 L/S..... | 201 |
| GRAFICO 63. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD | 201 |
| GRAFICO 64. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 202 |
| GRAFICO 65. VARIACIÓN DE PRESIONES EN LA CUBETA DEFLECTORA..... | 202 |
| GRAFICO 66. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.324$ A 20 L/S | 204 |
| GRAFICO 67. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.324$ A 20 L/S | 205 |
| GRAFICO 68. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.324$ A 20 L/S | 206 |
| GRAFICO 69. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $Hhd = 0.324$ A 20 L/S..... | 210 |
| GRAFICO 70. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD | 210 |
| GRAFICO 71. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 211 |
| GRAFICO 72. VARIACIÓN DE PRESIONES A LO LARGO LA CUBETA DEFLECTORA. | 211 |
| GRAFICO 73. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.237$ A 10 L/S | 213 |
| GRAFICO 74. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.237$ A 10 L/S | 214 |
| GRAFICO 75. SECCIÓN DEL CANAL PARA UNA RELACIÓN $HHD = 0.237$ A 10 L/S | 215 |
| GRAFICO 76. GRAFICA DE LOS TRES TIPOS DE CUCHARON CON $HHD = 0.237$ A 10 L/S. | 219 |
| GRAFICO 77. ENERGÍA CON RESPECTO A LA VELOCIDAD EN LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN | 219 |
| GRAFICO 78. VARIACIÓN DE LA ENERGÍA A LO LARGO DE LA DISTANCIA HORIZONTAL. | 220 |
| GRAFICO 79. VARIACIÓN DE PRESIONES EN LA CUBETA DEFLECTORA..... | 220 |

Tabla 1. Simbología y abreviatura

| SIMBOLOGIA Y ABREVIATURAS | | |
|----------------------------------|----------------------|---|
| N° | ABREVIATURA | DESCRIPCION |
| 1 | B_{vuelo} | Ancho máximo de lanzamiento del chorro |
| 2 | C, C_0 | Coefficiente de descargue o descarga sobre el vertedero |
| 3 | C_{PH} | Coefficiente de presión adimensional |
| 4 | D | Distancia de alcance horizontal del chorro |
| 5 | d | Calado en el cucharon |
| 6 | d_o | Calado del flujo de aproximación |
| 7 | $d_o \text{ máx.}$ | Máximo calado de aproximación |
| 8 | F_{ro} | Numero de Froude del flujo de aproximación |
| 9 | g | Aceleración de la gravedad |
| 10 | h_a | Altura de velocidades de aproximación |
| 11 | H_d | Altura de diseño sin considerar la altura de velocidad |
| 12 | H_o | Carga total sobre la cresta del vertedero |
| 13 | h_o, H_e | Altura de coronación sobre la lámina vertiente |
| 14 | h_{pm}, h_{pt} | Carga de presiones real / teórica |
| 15 | h_{pmax} | Carga de presión máxima |
| 16 | H_{se} | Diferencia de alturas entre el flujo y el punto más bajo del cucharon |
| 17 | H_x | Carga de energía en el fondo del cucharon |
| 18 | K, n | Coefficiente para definir el perfil del vertedero |
| 19 | K_a | Coefficiente de variación por estribos |
| 20 | k_p | Coefficiente de variación por las pilas |
| 21 | L | Longitud efectiva de coronación |
| 22 | L' | Longitud neta de coronación |
| 23 | L_v | Longitud del vertedero desde la cresta hasta el labio |
| 24 | N | Numero de pilas |
| 25 | P | Altura del paramento vertical |
| 26 | P_c | Presión centrifuga |
| 27 | P_h | Presión hidrostática |
| 28 | P_x | Presión en cualquier punto del cucharon |
| 29 | Q | Caudal |
| 30 | q | Caudal unitario |
| 31 | R | Radio del cucharon |
| 32 | $R_1 \text{ y } R_2$ | Radios para determinar la geometría del vertedero |
| 33 | $re \text{ y } ri$ | Radio interno y externo del flujo |

Fuente: Elaboración Propia

1. CAPITULO I: “Planteamiento del problema”

1.1. Problemática de la investigación.

El Perú es un país variado geográficamente por la presencia de la cordillera de los andes, en la cual se ubica obras en hidráulica de gran importancia para el desarrollo del país como “represas” aprovechando la fuerza del agua y generar energía hidráulica.

Ahora bien, una vez conociendo el motivo de realizar obras hidráulicas para el aprovechamiento del agua, las represas son estructuras hidráulicas que contienen grandes embalses de agua en una superficie reducida y con gran profundidad además de tener una altura de borde alta acumulando una energía potencial importante que tiene que ser disipada a través de aliviaderos, vertederos o cubetas deflectoras.

Estas estructuras son utilizadas para dar paso a los volúmenes de agua haciendo que lleguen con una energía y presiones calculadas por medios empíricos y teóricos a través de modelos a escala reducida que ayudan a establecer parámetros de semejanza entre el prototipo y el modelo a escala real ayudando a los investigadores e ingenieros a conocer el comportamiento del flujo.

1.2. Justificación.

Arequipa es una ciudad con un potente crecimiento demográfico, este fenómeno viene acompañado de necesidades básicas que toman una importante relevancia, entre estas se encuentra el abastecimiento de agua, el cual es una de las prioritarias. La solución a esta problemática es la construcción de estructuras hidráulicas del tipo represas que, a su vez, deben garantizar un funcionamiento adecuado durante su tiempo de vida. Dentro de una represa, uno de los componentes que influye directamente en el tiempo de vida de la misma, es el aliviadero, ya que contiene al disipador de energía para el agua excedente. La importancia del disipador de energía está relacionada con la atenuación de la energía cinética ganada por el agua durante su caída, y esta puede dañar la estructura provocando erosión y socavación en zonas donde pueda comprometer su estabilidad, lo que conlleva al estudio de los disipadores de energía.

Los disipadores de energía del tipo salto de esquí han sido poco estudiados en nuestro medio, es por ello que resulta necesaria una investigación que permita conocer los escenarios en los que se puede permitir su utilización y si su comportamiento hidráulico satisface los requerimientos necesarios.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general:

Determinar las pérdidas de presión y energía que puede obtenerse con la variación de la presión atmosférica, con relación al aumento y disminución de la carga de diseño ensayada con referencia al diseño teórico.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Hallar una semejanza entre el modelo a escala reducida con la escala real.
- Obtener mediante ábacos y ecuación la pérdida de energía y de presiones en el modelo para su comparación con los análisis de campo y la menor presión atmosférica del lugar geográfico.
- Análisis de la geometría del chorro al dejar la estructura terminal del vertedero de manera teórica y comparada con los datos recabados en campo.

1.4. Hipótesis.

Los estudios realizados sobre vertederos han sido hechos en condiciones atmosféricas y geográficas diferentes a las de nuestro país.

¿Dado que, la presión atmosférica es menor por estar en un lugar a mayor altitud, es factible que varíen las diferentes condiciones hidráulicas, geométricas y de diseño, permitiendo la disipación de energía, la ampliación geométrica del chorro y la variación de presiones?

1.5. Alcance.

La investigación permite una mayor comprensión del comportamiento del flujo en un vertedero a lo largo de sus diferentes partes a través del estudio y análisis de resultados para la pérdida de energía bajo diferentes condiciones geográficas.

Un análisis sobre el comportamiento del chorro cuando deja el vertedero tanto en geometría como disipación de energía para su análisis y justificar su aplicación en el campo de la ingeniería.

1.6. Tipo de investigación.

Investigación Experimental – Aplicativa

- Diseño y construcción del modelo.
- Instalación de los instrumentos de medición.
- Realización de los experimentos.
- Trabajo de gabinete.

1.7. Variable.

VARIABLES INDEPENDIENTES.

- Condiciones geométricas y atmosféricas.
- Similitud de carga de diseño entre el modelo y el prototipo.
- Comportamiento del flujo aguas abajo.

VARIABLES DEPENDIENTES.

- Ampliación de la geometría del chorro al dejar la estructura
- Mayor disipación de energía
- Variación de presiones a lo largo de la estructura

1.8. Recolección de datos.

- Método cualitativo: El propósito del método cualitativo en la investigación es determinar las variaciones entre los diferentes tipos de cubetas disipadoras desde los 25 grados hasta los 35.
- Método cuantitativo: El propósito del método cuantitativo en la investigación es determinar la variación de presiones, geometría del flujo con diferente ángulo de inclinación.
- El sistema de aplicación para la investigación está dado por un modelo de escala reducida que trata de emular las condiciones geográficas a una escala real tratando de medir las variables que interviene en el estudio.

2. CAPITULO II: “Fundamento teórico”

2.1. Alcance de la investigación.

Desde que el hombre vive en comunidad enfrenta diferentes limitantes o desastres naturales como las inundaciones o generación de energía por medio de las hidroeléctricas por tanto se llevaron a cabo construcciones para represar el agua como un recurso hídrico.

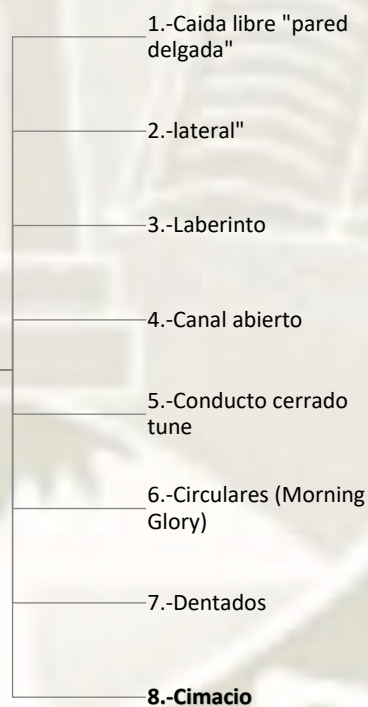
Por este motivo los vertederos han servido como una parte de control en las represas para mantener el flujo por el exceso de agua.

Por tanto, las represas en conjunto con todas sus partes como los vertederos cambian el flujo natural del cauce, esto lleva a que numerosos estudios se realicen por diferentes motivos como geografía, altitud, parámetros hidráulicos, pérdida de energía.

Asimismo, las investigaciones dan la posibilidad de experimentar todos estos posibles cambios en un escenario real por medio de los modelos a escala reducida que son una representación a escala de un modelo real con el estudio de los parámetros medibles que afectan en condiciones reales.

TIPOS DE
VERTEDEROS

Figura1: Partes de un salto en esquí





Fuente: Elaboración Propia (2021, Pg18)

2.2. Estado del arte.

El presente estudio realizará un análisis de la disipación de energía obtenida luego de realizar ensayos en aliviaderos con dissipador del tipo salto de esquí para distintas características geométricas y condiciones de operación.

La medición de parámetros geométricos e hidráulicos para realizar el respectivo contraste con los criterios teóricos sugeridos por las fuentes bibliográficas para el diseño de este tipo de aliviaderos.

Figura2: Tipos de vertedero

| TIPO DE CIMACIO PARA DISIPADORES DE ENERGÍA | TIPO | GEOGRAFÍA |
|---|--|---|
| | <p>Vertedero Escalonado: Embalse de la Breña II ubicado en España en la provincia de Córdoba en la comunidad de Andalucía</p> |  |
| | <p>Tanque Amortiguador: Ubicado en el río Grijalva en el pueblo de Netzahualcóyotl Conocido como Malpaso en la provincia de Chiapas México.</p> |  |
| | <p>Cubeta deflectora: Ubicado en OEE. UU presa Center Hill Tennessee</p> |  |

Fuente: Álvarez,(2014,Pg19)

Aproximación conceptual a los estados del arte

Para Uribe (2002) la investigación documental tiene cuatro características:

1. Es una estrategia que sirve a un propósito bien definido: la construcción de nuevo conocimiento.
2. Es una técnica que consiste en revisar qué se ha escrito y publicado sobre el tema o área de la investigación.
3. Es un procedimiento riguroso que se formula lógicamente y que implica el análisis crítico de información relevante, documentación escrita y sus contenidos.
4. Es una actividad científica y, como tal, obedece a procesos inductivos (recolección y sistematización de los datos) y deductivos (interpretación y nueva construcción) enmarcados bajo principios epistemológicos y metodológicos.

Monografía de Disipadores de Energía. Rafael A. Pardo Gómez, Ing. Susel Lobaina Fernández, Ing. Dayron E. Martí Díaz. (La Habana, Cuba 2017).

La disipación de la energía hidráulica ha formado parte del proceso evolutivo del hombre, ya que está presente en las grandes obras hidráulicas que se hacen necesarias para poder controlar y evacuar el agua para su uso inminente.

Perfil del flujo sobre un vertedor tipo cimacio y su comprobación Gilberto Sotelo-Ávila Universidad Nacional Autónoma de México (2006).

El ingeniero que se enfrenta al diseño de un vertedor tipo cimacio utiliza la información experimental de diversos autores y dependencias para determinar su capacidad de descarga, el perfil del fondo, el perfil del flujo del agua sobre el cuerpo del cimacio y la distribución de la presión sobre la escala del mismo. La información utilizada es sencilla, confiable, fácil de obtener y muy conocida por los especialistas en este tipo de obras.

La teoría matemática y los resultados experimentales han desarrollado soluciones prácticas de muchos problemas hidráulicos. En la actualidad, numerosas estructuras hidráulicas se proyectan y construyen sólo después de haber efectuado un amplio estudio sobre modelos.

Universidad Politécnica de Madrid E.T.S. Canales y Puertos (2013).

La evaluación del comportamiento de un diseño ante de que este sea una realidad es algo muchas veces difícilmente evaluable que requiere de los conocimientos de expertos y de una intuición, basada en la experiencia, que no siempre cuenta con una forma de expresión matemática aplicable por otras personas. La valoración de un determinado fenómeno por un grupo de expertos mejorara el diseño minimizando los problemas a priori.

Las mediciones y datos requeridos para el diseño de vertederos dependen del nivel de diseño a ser considerado y las condiciones específicas que se encuentran en el sitio. Generalmente estos datos y mediciones son:

1. Datos topográficos.
2. Datos climatológicos.
3. Datos hidrológicos.
4. Datos geológicos y sismológicos
5. Alcance y requerimientos del proyecto
6. Capacidad de control de avenidas
7. Datos hidráulicos.
8. Datos estructurales
9. Datos de calidad del agua
10. Requerimientos especiales.
11. Condiciones aguas abajo.

Los datos de apoyo requeridos para el diseño hidráulico son:

Flujo que entra al reservorio - máxima crecida probable y a veces frecuencias de crecidas moderadas de 100 y 200 años de período de retorno, crecidas de diseño diferentes de la máxima crecida probable, de la escorrentía normal, de los canales de alimentación, y otros flujos entrantes controlados.

1. Asignaciones de almacenaje del reservorio.
2. Área y datos de capacidad del reservorio.
3. Datos de sedimentación en el reservorio incluyendo volumen y distribución.
4. Datos de basuras y otro en el reservorio.
5. Factores climáticos.
6. Requerimientos y limitaciones del nivel de agua del reservorio.

7. Problemas anticipados de hielo.
8. Análisis de flujo en canales abiertos – perfiles de flujo, curvas de remanso, curvas del tirante de flujo.
9. Requerimientos del río aguas abajo.
10. Proyectar los requisitos y limitaciones que implican los vertederos.

2.3. Marco teórico.

2.3.1. Definiciones

Para entender el comportamiento del agua frente a una estructura hidráulica como la cubeta deflectora con todas sus partes tenemos que empezar a definir partes geométricas e hidráulica que intervienen a lo largo de la estructura y que han sido estandarizadas con los estudios posteriores a lo largo del tiempo.

- **Altura sobre la cresta del vertedero (H_o):**

Altura del flujo entre el canal aguas arriba con los estribos previos al inicio del vertedero determinado de manera Experimental y de diseño.

- **Caudal unitario (q_o):**

Es la velocidad del flujo en un metro cuadrado tomado como unidad de control para su estudio y Comparación tanto aguas arriba como aguas abajo.

- **Tirante crítico (Y_c):**

El tirante crítico es la altura máxima vertical desde la base del canal hasta el espejo de agua a lo largo del vertedero.

- **Calado (d_o):**

Distancia paralela entre la estructura hidráulica con la geometría del flujo calculado de diferentes maneras dependiendo de la estructura de control por la que pase el flujo.

- **Perdida de fricción (h_f):**

Energía perdida tomada con respecto a dos puntos de referencia calculada a lo largo de la estructura de disipación.

- **Aliviadero:**

El conjunto de partes que encausan el agua para diversos fines como el uso energético o agrícola entre sus partes tenemos: Canal de entrada, Estructura de control, Canal de salida.

- **Numero de Reynolds y Froude:**

Numero de Reynolds:

Es un valor adimensional que relaciona fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas que sirve como parámetro para saber si la condición del flujo será laminar o turbulenta.

Numero de Froude:

Es un valor adimensional que relaciona fuerzas de inerciales con gravedad que actúan sobre el flujo como los canales.

- **Presión atmosférica:**

Es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire a lo largo de la atmosfera en toda la superficie terrestre.

- **Altitud:**

Se toma como altitud a la distancia vertical desde cualquier parte de la tierra tomando como nivel de referencia el mar tomado en metros (m) seguido de la denominación m.s.n.m.

- **Aireación de Flujo:**

Perturbación del flujo que provoca un aumento de calado dejando de seguir la geometría homogénea entre el vertedero y el flujo por eso tratamos de evitarlo.

- **USBR y WES:**

USBR:

Es la oficina de reclamaciones de los estados unidos (USBR), gestiona los recursos hídricos en los EE. UU que por medio de investigaciones desarrollo un método de diseño que usaremos en la presente investigación y tiene una similitud en Perú con el organismo ANA "Asociación Nacional del agua".

WES:

Estructuras hidráulicas llamadas Vertederos o aliviaderos para el paso controlado del flujo estudiado por la Estación Experimental de Vías Fluviales en 1978 (WES) de ahí el nombre a los vertederos estudiados.

- **Modelo de escala reducida:**

Es el desarrollo de un prototipo físico a menor escala emulando las condiciones reales para el estudio y medición de variables a una escala menor y observable por el ser humano.

- **Presión:**

Es la relación de la fuerza sobre el área actuante, para lo cual hay sensores que miden la presión sobre la superficie del vertedero.

- **Línea de Energía:**

Es la suma de las alturas de la energía cinética, con la presión y la energía potencial.

- **Geometría del chorro:**

Forma adoptada por el flujo al momento de dejar la estructura terminal, tomando la forma geométrica transformándose en flujo hasta tomar la forma del canal aguas abajo.

- **Estribos:**

Es la parte más angosta del canal antes de llegar a la estructura de control.

- **Paramento:**

Parte vertical del vertedero aguas arriba donde comienza la estructura de control donde puede tener diferentes variaciones de talud.

- **Cimacio:**

Es una sección de control en donde la descarga del flujo puede ser controlada con elementos adicionales o puede ser flujo libre.

2.3.2. Partes de un aliviadero

- **Canal de Embalse.**

Es el medio por el cual se encausa el agua para llevarla a la estructura de control y modificar las condiciones iniciales del canal aguas arriba.

- **Corona o Cresta.**

Parte inicial del flujo encausado por medio del canal se encuentra con la parte frontal de la estructura de control llamada paramento que según las condiciones de diseño puede tener diferente talud, también empieza a variar el tirante a medida que el flujo se aproxima a la estructura de control.

- **Rápida.**

Comprende desde el punto de tangencia de la recta con el punto de tangencia de la cubeta deflectora.

Es un cambio rápido de las condiciones iniciales del flujo donde presenta un aumento de la energía cinética influenciado por la variación de pendiente como la transformación de la energía potencial a cinética.

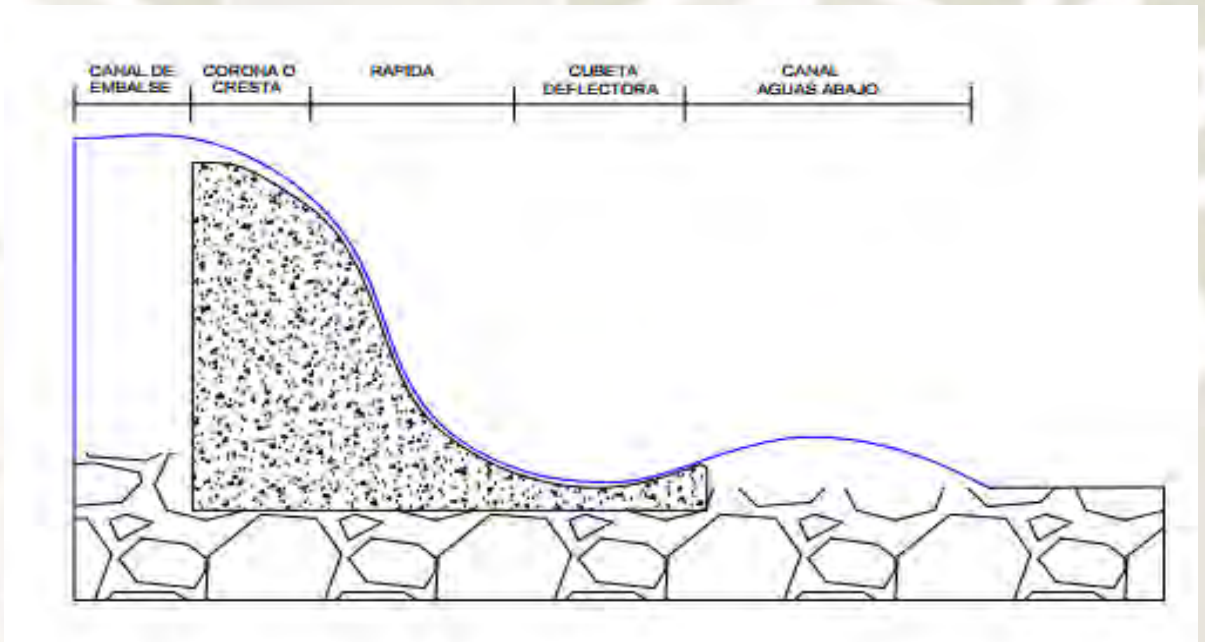
- **Cubeta Deflectora.**

Es la parte terminal de la estructura de control donde el flujo recibe un cambio de dirección por la propia geometría del vertedero recibiendo la forma de una parábola convexa en la cubeta y cambiando a una parábola cóncava al momento del despegue del chorro.

- **Canal Aguas Abajo.**

Destino final del chorro después de terminar su trayectoria producida por la cubeta deflectora, obteniendo una variación a las condiciones iniciales del choro aguas arriba.

Figura3: Partes de un vertedero



Fuente: Elaboración propia, (2021, Pg23)

2.3.3. Variaciones de diseño en la cubeta deflectora.

A lo largo de los años los investigadores han probado múltiples cambios de pequeñas variaciones que enumeraremos a continuación, dando como resultado saltos de esquí con diferentes variaciones.

- **Aliviaderos de caída libre (salto convencional).**

Este primer caso será examinado en la presente investigación comprende una estructura terminal cóncava en la cubeta definida por un radio de curvatura, pero a su vez puede ser horizontal sin expresar la parte cóncava.

Figura4: Presa Ralco “Chile”



Fuente: Uribe S.F,(1995 Pg 30)

- **Aliviaderos con deflectores.**

Desarrollados por la entidad responsable de los recursos hídricos en los Estados Unidos (U.S.B.R), por su sigla en inglés en 1946.

Presenta una variación en la estructura de la cubeta deflectorora presentando unos pliegues a todo el ancho de la estructura, por donde el flujo puede transitar a través y sobre él, dando como resultado un ángulo de salida mayor pero un radio de curvatura menor.

Figura5: Diseño a escala reducida de cubeta deflectorora



Fuente: CASA (2012 Pg. 60)

- **Aliviaderos con estrechamiento lateral de las paredes.**

Provocado por el estrechamiento de las paredes laterales de la estructura terminal, que tiene como resultado el aumento del calado provocando que el flujo se disperse con mayor rapidez cuando sale de la estructura.

Figura6: Presa Gungzhao (China pg.7)



Fuente: Guo.J.(2006, Pg 42)

También puede presentarse el estrechamiento de un solo lado de la pared.

Figura7: Presa Contra



Fuente: Guo.J(2006 pg. 7)

2.4. Lamina Vertiente Sobre la Presa:

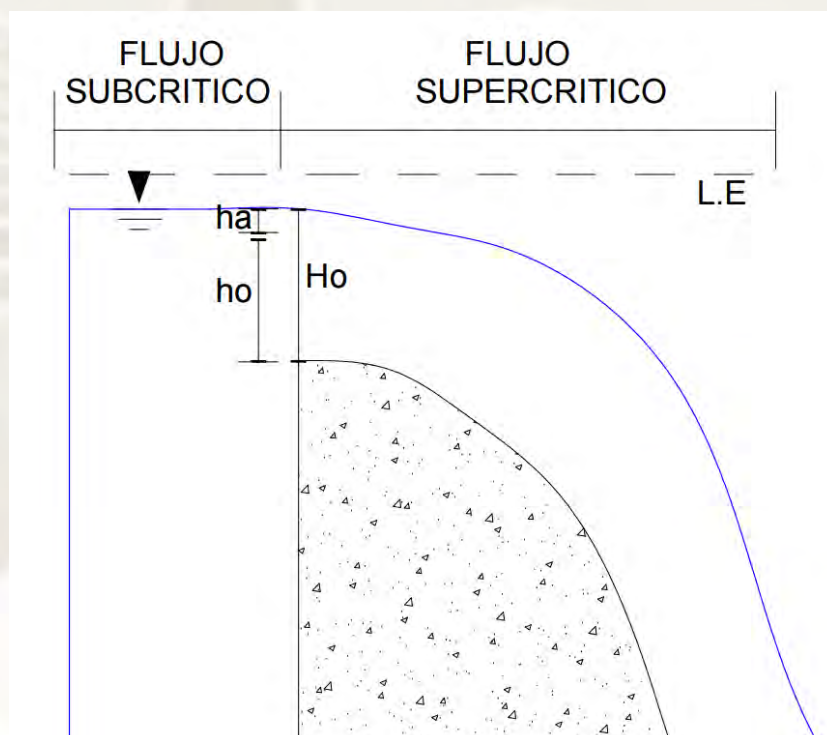
La finalidad de toda estructura de control es tener una eficiencia en la conducción del flujo para que sea descargado aguas abajo evitando complicaciones como la aireación o la separación del flujo reduciendo la probabilidad de cavitación.

Para lograr todos estos propósitos el diseño geométrico del vertedero debe estar en armonía con los parámetros hidráulicos estudiados a lo largo de las partes del vertedero provocando que la lámina de del flujo sea paralela a la geometría del vertedero.

Para tal caso han surgido diferentes estudios para determinar coordenadas del cimacio en relación con el recorrido del flujo tales como: “Perfiles Tipo Greager, Fort Collins” (1932), Perfiles de “Bazin” (1888), U.S. Bureau of Reclamation/Formas estándar WES “U.S. Army Corps of Engineers).

Por tal consecuencia en nuestro caso en el vertedero tipo WES de con paramento vertical, rápida y estructura de disipación analizaremos las deferentes medidas que hay en cada parte de la estructura de control.

Figura8: Diagrama de flujo en la cresta



Fuente: Elaboración propia, (2021 Pg26)

2.4.1. Vertedero sin control:

Es el flujo libre por encima de la presa sin restricciones, si en algún momento la carga de diseño llega a ser inferior a la real, el fluido presenta un área de separación con la estructura teniendo presiones negativas.

En caso contrario que la carga de diseño sea mayor a la real, la lámina de agua tiende a suprimirse pegándose a la geometría del vertedero teniendo presiones positivas y provocando un descenso en el coeficiente de descarga.

Una vez expuesto los posibles escenarios es imperativo determinar la variable del coeficiente de descarga (C), cuyo propósito es tomar en cuenta la eficiencia del vertedero y formar parte de la ecuación:

$$Q = CLH_0^{3/2} \quad \text{Ec... (1)}$$

Los siguientes términos representan:

- Q = Caudal de descarga en unidades de (m³/s).
- C = Coeficiente de descarga.
- L = Longitud efectiva del vertedero unidad (m).
- Ho = Energía en la cresta del vertedero (m).

Para determinar el valor del coeficiente (C) primero depende el tipo de perfil que se vaya a utilizar para este caso es tipo WES de paramento vertical sin talud por ese motivo tomaremos un valor base de 2.00.

Para lo que es la presión en el cimacio, el vertedero puede presentar diferentes cargas en la cresta como puede darse el caso que sean iguales, mayores o inferiores al diseño. Esto lleva a concluir que el valor de presiones puede ser muy próximo, pero no igual a la presión atmosférica.

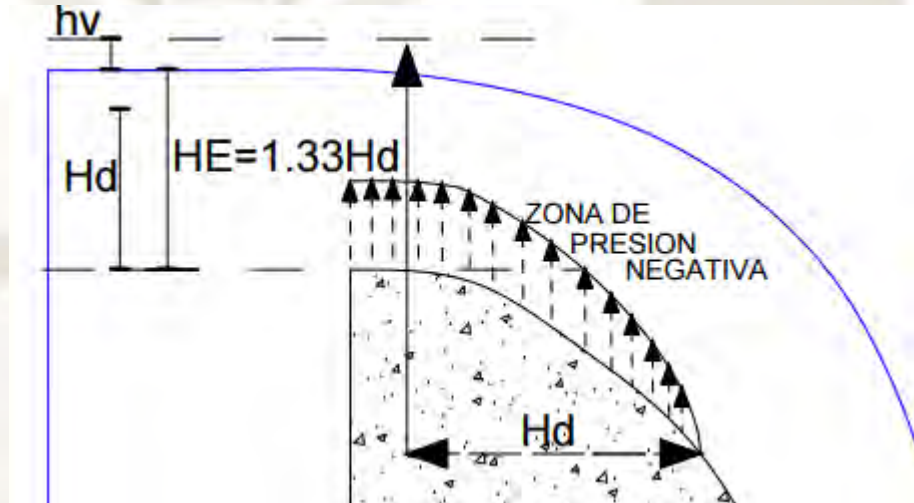
En cambio, para la carga HE diferente a la de diseño, la presión será inversamente proporcional a la relación HE/Hd con los siguientes criterios.

Para el caso que $HE/Hd \geq 1$, en este escenario las presiones son menores a las presiones atmosféricas por tanto hay presiones negativas que hay que mantener en control para no producir cavitación, una recomendación es que la relación HE/Hd no sea mayor a 1.33 de la relación HE/Hd.

Para el caso que $HE/Hd \leq 1$, en este tipo de escenario las presiones atmosféricas son menores a las presiones desarrolladas en la estructura

provocando una mayor adhesión entre la geometría del flujo con la lámina de agua vertida sobre el vertedero.

Figura9: Partes de la cresta y zonas de presión



Fuente: BUreau of Reclamation (2007 Pg 452)

Tabla 2. Presiones y coeficiente de descarga sobre el vertedero.

| CARGA SOBRE EL VERTEDERO | PRESIÓN EN LA CRESTA | COEFICIENTE DE DESCARGA |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| $H_E = H_D$ | Semejante a presión atmosférica | $C = C_d$ |
| $H_E > H_D$ | Presiones menores a la atmosférica | $C > C_d$ |
| $H_E < H_D$ | Presiones mayores a la atmosférica | $C < C_d$ |

Fuente: Chanson H.(2002 pg 375)

2.5. Lamina Vertiente Sobre la Rápida:

En todos los vertederos, se desarrolla una capa limite o capa de frontera que se origina por el tipo de fluido con su aumento de velocidad. La siguiente parte del vertedero consiste en las siguientes teorías:

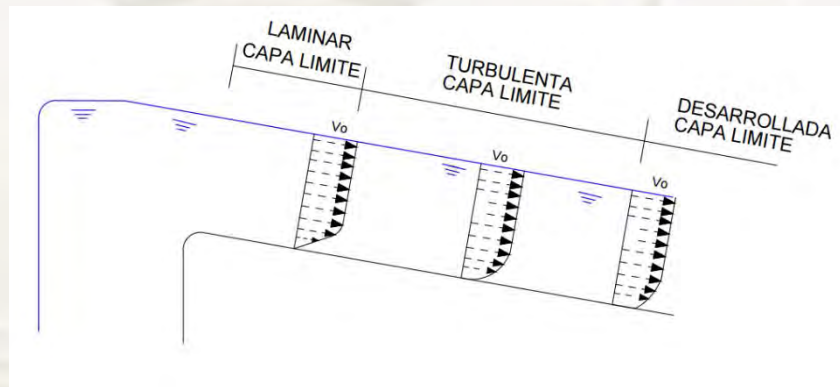
- Distribución de velocidades uniforme produciendo flujo laminar.
- No hay perturbación del flujo a la entrada de la rápida.
- El calado de Entrada es constante.

Con el símbolo (δ) se define la capa límite cuyo valor es la distancia perpendicular desde la base de la estructura hasta el punto uniforme más alto de la lámina vertiente donde la velocidad del flujo es más alta.

Como se puede observar el desarrollo de la capa límite al inicio de la cresta de vertedero tiene la distribución de velocidades parabólica continuo recorrido hasta que inicie el flujo turbulento para dejar la estructura o también cuando entre a la estructura terminal.

Este desarrollo de capa límite se distingue por diferentes zonas graficadas a continuación.

Figura10: Diagrama de flujo en la rápida



Fuente: Chow, (2004, pág. 190)

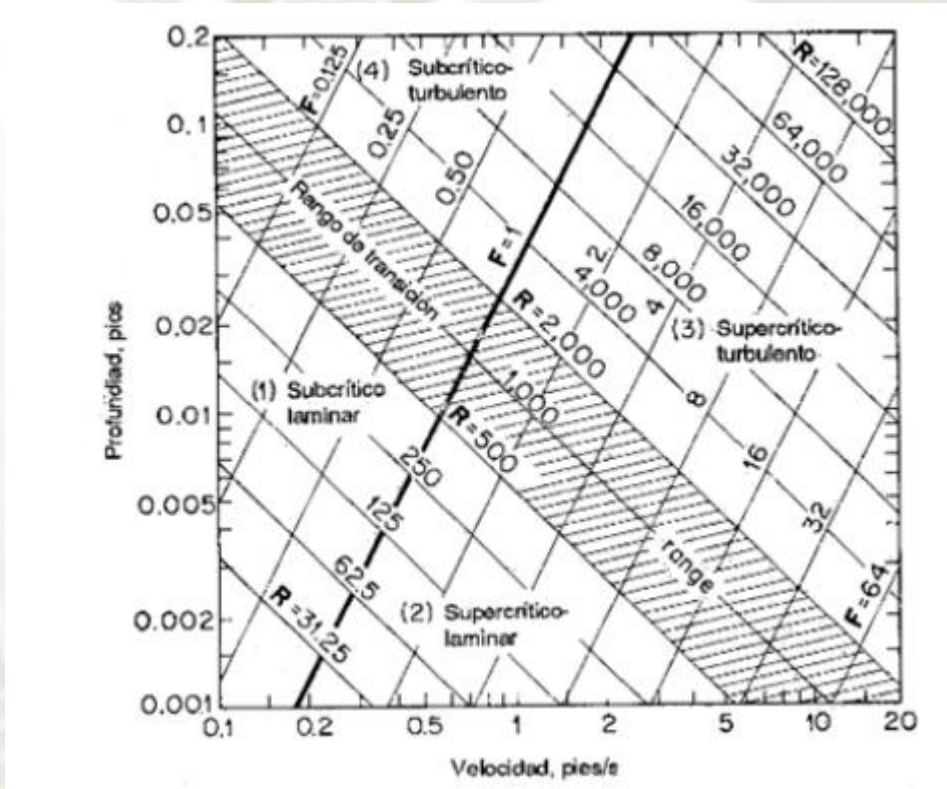
2.6. Régimen del flujo

Los diferentes regímenes del fluido dan lugar a la relación de gravedad y viscosidad o como se llama por la relación de sus autores “Numero de Reynolds- Gravedad” y “Numero de Froud-Viscosidad”, esta combinación da origen a los diferentes regímenes del flujo.

- Subcrítico-Laminar:
Rango laminar Re y el Fr menor a 1.
- Subcrítico-Turbulento:
Rango turbulento Re y el Fr menor a 1.
- Supercrítico-Laminar:
Rango laminar Re y el Fr mayor a 1.
- Supercrítico-Turbulento:
Rango turbulento Re y el Fr mayor a 1.

El autor “J. Roberton y Hunter Rouse” desarrollo un Abaco con escala logarítmica para relacionar el número de Reynolds y el número de Froud.

Figura11: Relación entre el número de Reynolds y Froud.



Fuente: Chow (2004, Pag.14)

2.7. Energía y Flujo a través de la estructura:

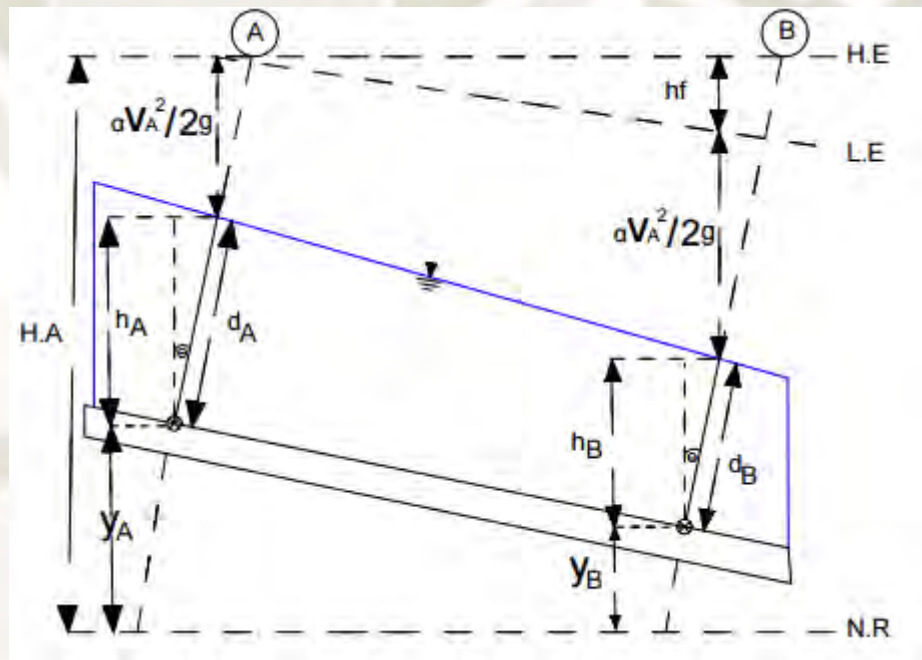
En Física hay muchas ecuaciones principales como en la hidráulica una de ellas es el principio de conservación de la energía que dice “La energía no se crea ni se destruye solo se transforma”, tomando en cuenta que el canal tiene dos secciones de control por donde fluye un flujo constante la ecuación será:

$$H_A = H_B + h_f \dots Ec(2)$$

Donde:

- $H_A - H_B$ = son las energías totales de las secciones de control.
- h_f = Pérdida de energía entre las secciones de control.

Figura12: Energía del flujo sobre un canal abierto



Fuente: Elaboración propia, (Chow,2004)

Tomando como referencia la sección de control A-B de la figura que representa un canal abierto tenemos las siguientes apreciaciones.

$$y_A + h_A + \alpha \frac{V_A^2}{2g} = y_B + h_B + \alpha \frac{V_B^2}{2g} + h_f \dots Ec(3)$$

Donde:

- y_{A-B} : Elevación sobre el nivel de referencia.
- $\alpha \frac{V_{A-B}^2}{2g}$: Carga de velocidad “ α Coeficiente de energía C. o Coriolis”.
- h_f : Pérdida por fricción entre los tramos A-B.
- h_{A-B} : Cargas de presión.

Existen pérdidas por fricción, pero también pérdidas localizadas debido al cambio de dirección producida por la geometría del canal.

Para aquellos canales con una pendiente menor al 8% la carga de presión es igual al calado, en pendientes mayor al 8% la carga de presión es igual al calado por la variación del Angulo θ .

- Pendiente menor al 8%:
 - $h_{A-B} = d_{A-B} \dots Ec(3)$
- Pendiente mayor al 8%:

$$- h_{A-B} = d_{A-B} * \cos\theta \dots Ec(4)$$

$$S_f L = f \frac{L \cdot V^2}{4Rh \cdot 2g} \qquad V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{S_f Rh}$$

$$S_f = \frac{f \cdot V^2}{8Rh \cdot g}$$

Para determinar las pérdidas por fricción en canales abiertos aguas arriba o abajo se puede tomar la fórmula propuesta por “Darcy – Weisbach” propuesta para el cálculo de pérdidas por fricción en tuberías a presión.

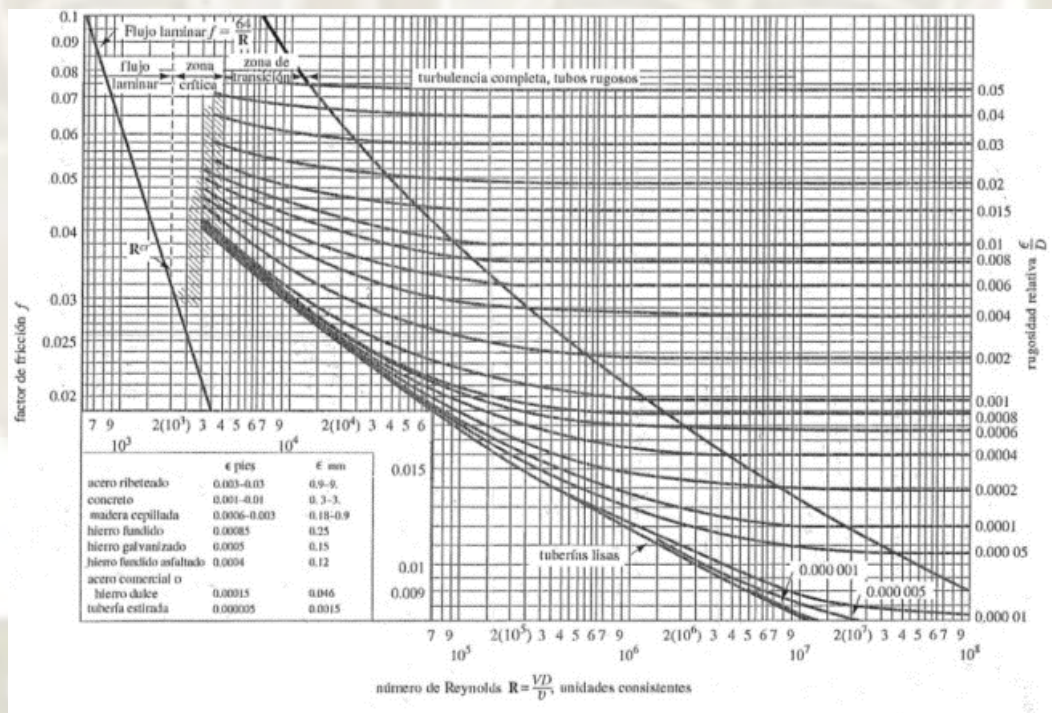
$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \dots Ec(5)$$

En canales con pendientes menores al 8% se considera $D=4Rh$.

Donde:

- f : Factor adimensional de rugosidad.
- L : Longitud de tubería.
- D : Diámetro de la tubería o Rh con la sección del canal.
- V : Velocidad media del flujo.

Figura13: factor adimensional en el diagrama de Moody.



Fuente:(Potter-Wiggert (2002, pg.272)

Otro método para hallar el factor adimensional (f) es hallando la relación entre el coeficiente de Chezy con la pérdida de energía y la longitud de la siguiente manera:

$$h_f = S_f \cdot L \dots Ec(6)$$

Despejando términos con la ecuación de Darcy-Weisbach.

- Coeficiente de chezy en función de del factor de f:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \text{ o } f = \frac{8g}{C^2} \dots Ec(7)$$

- Para hallar C hay diferentes fórmulas propuestas por investigadores a lo largo de los años a continuación un cuadro con algunas de estas fórmulas.

Tabla 3. Sotelo hidráulica de canales

| <i>Autor</i> | <i>Ecuación</i> |
|----------------------------|--|
| <i>Ganguillet y Kutter</i> | $C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{Rh}}}$ |
| <i>Manning</i> | $C = \frac{Rh^{1/6}}{n}$ |
| <i>Bazin</i> | $C = \frac{87}{1 + \frac{N_B}{\sqrt{Rh}}}$ |

Fuentes: Sotelo hidráulica de canales,2002 pg. 83

Tabla 4. Valores de la variable de rugosidad.

| 1. Conductos cerrados parcialmente llenos | Ganguillet y Kutter n | Kutter m | Bazin N_B | Kozeny N_K |
|--|--|---------------|----------------|-----------------|
| Fierro fundido nuevo. | 0.012 | 0.20 | 0.06 | |
| Fierro fundido usado. | | 0.25 | 0.12 | |
| Fierro colado. | 0.012 | 0.20 | | |
| Barro vitrificado nuevo. | | 0.25 | | |
| Barro vitrificado usado. | 0.017 | 0.30 a 0.35 | | |
| Tubos de alcantarillado. | 0.017 a 0.020 | 0.30 a 0.35 | | |
| Túneles de concreto pulido. | 0.011 a 0.013 | 0.20 a 0.25 | 0.22 | |
| 2. Canales abiertos | Ganguillet y Kutter n | Kutter m | Bazin N_B | Kozeny N_K |
| Madera cepillada. | 0.010 | 0.15 a 0.20 | 0.06 | |
| Madera de acabado rugoso. | | 0.30 a 0.35 | | |
| Mampostería de ladrillo bien acabada. | 0.013 | 0.25 | 0.16 | 70 a 76 |
| Cemento pulido. | | 0.20 a 0.25 | 0.10 a 0.16 | 84 a 90 |
| Concreto pulido. | 0.012 | 0.20 | 0.11 a 0.22 | |
| Concreto rugoso. | 0.017 | 0.65 | 0.45 | 58 a 62 |
| Piedra brasa bien acabada. | 0.017 | 0.65 | 0.46 | 60 a 70 |
| En tierra, arroyos y ríos. | 0.025 | 1.75 | 1.4 a 1.6 | |
| En tierra con material grueso y plantas. | 0.035 | 2.0 a 2.5 | 1.75 | |
| Con cantos rodados. | 0.04 a 0.5 | 3.5 a 5.0 | hasta 3.5 | |
| Con gran rugosidad de fondo y maleza tupida. | hasta 0.9 | | | |
| Roca acomodada. | | | | 36 a 50 |
| Roca a volteo. | | | | 28 a 36 |
| Grava | $\left\{ \begin{array}{l} \text{gruesa (10 a 15 cm).} \\ \text{media (5 a 10 cm).} \\ \text{fina (2 a 3 cm).} \end{array} \right.$ | | | 32 a 38 |
| | | | | 38 a 42 |
| | | | | 42 a 46 |
| Cantos rodados (15 a 20 cm). | | | | 28 a 32 |

Fuente: (Sotelo hidráulica de canales,2002, pg 84)

- Un tercer método para hallar la pérdida por fricción es usando la ecuación de Manning de la misma forma hallando una relación entre la longitud y pérdida de energía.

$$V = \frac{1}{n} R h^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \dots Ec(8)$$

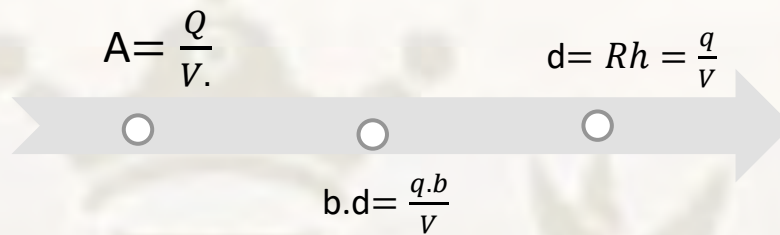
$$S_f = \left(\frac{Vn}{Rh^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \dots Ec(10)$$

- Tomando la relación $S_f = h_f/L$, despejando para la pérdida por fricción.

$$h_f = \left(\frac{Vn}{Rh^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \cdot L \dots Ec(11)$$

Donde:

- h_f : Pérdida por fricción.
- V : Velocidad media por flujo.
- n : Coeficiente de rugosidad de Manning.
- Rh : Radio hidráulico de la sección del canal.
- L : Longitud del canal.
- Para el caso de las rápidas donde la inclinación es mayor al 8% la USBR a desarrollado la siguiente hipótesis con la ecuación de Manning.



The diagram shows a grey arrow representing a channel cross-section with flow velocity V . Three circles are placed along the arrow to represent the hydraulic radius Rh . The equation $A = \frac{Q}{V}$ is on the left, and $d = Rh = \frac{q}{V}$ is on the right. Below the arrow, the equation $b \cdot d = \frac{q \cdot b}{V}$ is shown.

$$A = \frac{Q}{V} \qquad d = Rh = \frac{q}{V}$$
$$b \cdot d = \frac{q \cdot b}{V}$$

- El Radio hidráulico es igual al calado relacionado con la ecuación de continuidad.
- La energía cinética crece proporcionalmente a la longitud del canal.

$$\frac{h_v}{X} = Cta \dots Ec(12)$$

- Utilizando la fórmula de Manning para la velocidad de flujo y reemplazándola en las pérdidas por fricción se tiene que:

$$S_f = \left(\frac{Vn}{Rh^{2/3}}\right)^2 \dots Ec(13)$$

- Velocidad media del fluido:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \dots V = \sqrt{2gh_v} \dots Ec(14)$$

- Pérdida por fricción:

$$S_f = \frac{dh_f}{dx} \rightarrow h_f = \int_0^L s dx \dots Ec(15)$$

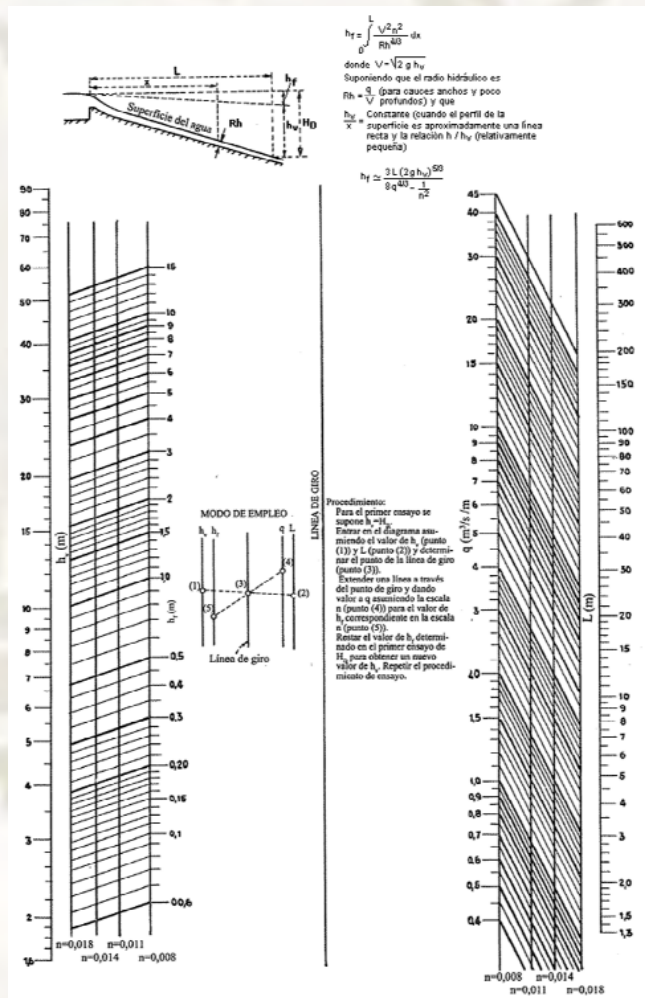
- Integrando y reemplazando para canales con pendiente mayor al 8% (rápidas):

$$h_f = \frac{3n^2 L(2gh_v)^{5/3}}{8 q^{4/3}} \dots Ec(16)$$

Donde:

- h_f : Perdida por fricción.
 - n : Coeficiente de rugosidad.
 - L : Longitud del canal.
 - q : Caudal por unidad de ancho del canal.
 - h_v : Carga de velocidad al final del canal.
- Adicionalmente se desarrolló un Abaco para hallar la perdida por fricción en función de la rugosidad con el caudal unitario.

Figura14: Abaco para perdida por fricción en función de la rugosidad.

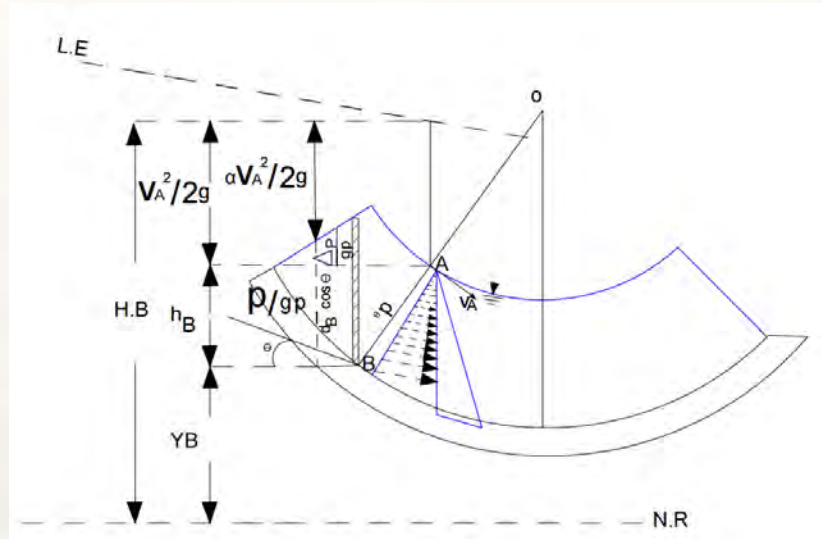


Fuente: Bureau of Reclamation, (2007, pag. 691)

2.8. Efectos del flujo sobre la geometría cóncava.

Para saber el comportamiento del flujo en una geometría cóncava como el de las cubetas deflector salto de esquí es necesario graficar la geometría como el flujo y hacer determinaciones sobre el flujo rápidamente variado puesto que es un cambio de dirección y velocidad con un aumento de la fuerza centrífuga por lo tanto se tiene:

Figura15: Efectos del flujo geometría cóncava



Fuente: Sotelo, Hidráulica de Canales, (2002, pág. 20)

Hay un cambio brusco en dirección del flujo provocando un cambio de velocidad como de presiones producto de la acción de la fuerza centrífuga en dirección opuesta a la curvatura cóncava.

Como el flujo es rápidamente variado la pendiente del fondo del canal como la pendiente por fricción difieren como también lo hacen la velocidad o el calado a lo largo de la curvatura.

Varios autores han propuesto parámetros producto de la investigación empírica y analítica estudiada como:

- La turbulencia aumenta cuando el flujo tiene desaceleración y cuando acelera produce el efecto contrario.
- El flujo rápidamente variado se produce en un tramo muy corto por lo cual la pérdida por fricción es despreciable.
- En el cucharón la pérdida de energía están asociadas al comportamiento del flujo sin tomar la fricción.

El flujo que recorre la estructura terminal es supercrítico originando la aceleración centrífuga que incide directamente sobre la presión. Una vez establecido estos conceptos del flujo curvilíneo, la sección tomada del grafico tendrá la siguiente ecuación de la energía debido a la fuerza centrífuga ($\Delta p/g\rho$).

$$H = y + \frac{p}{g\rho} + \frac{V^2}{g} = y + \left(d \cos \theta \frac{\Delta p}{g\rho} \right) + \frac{V^2}{2g} \dots Ec(17)$$

Donde:

- y : Altura sobre el nivel de referencia.
- $\frac{p}{g\rho}$: Representación de la presión hidrostática.
- V : Velocidad del flujo.
- θ : Angulo de inclinación del canal.
- ρ : Densidad.

En el punto de tangencia entre la rápida y la estructura terminal la sumatoria de presiones es cero y la velocidad de entrada es igual a la velocidad final al término de la rápida por lo tanto se tiene:

$$\frac{V^2}{2g} = H - (y_B + h_B) \pm \frac{\Delta p}{g\rho} \qquad \frac{\Delta p}{2g} = \left(\frac{V_A^2}{2g} - 1 \right) \frac{V a^2}{2g}$$



$$\frac{V^2}{2g} = \frac{V_A^2}{2g} + \frac{\Delta p}{2g}$$

$$\frac{V_A^2}{2g} = H - (y_B + h_B) \dots Ec(18)$$

Despejando términos en función de $\left(\frac{\Delta p}{g\rho} \right)$:

Ecuación:

$$\frac{\Delta p}{2g} = \left(\frac{V_A^2}{2g} - 1 \right) \frac{V a^2}{2g} \dots Ec(19)$$

Por lo tanto, se concluye que la variación de la presión en una sección del flujo sobre la superficie curva depende de la velocidad.

Pero según Sotelo 2002 se toma una distribución hidrostática uniforme por practicidad asiendo necesario el uso de un factor de corrección (α_p) para representar la variación de velocidades que se manifiesta en el cucharón.

$$\alpha_p = 1 + \frac{1}{Q d \cos \theta} \iint \frac{\Delta p}{\rho g} V dA \dots Ec(20)$$

Agregando a la ecuación de la energía para el flujo curvilíneo tenemos.

$$H = y + \alpha_p d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \dots Ec(21)$$

Donde:

- y : Distancia vertical desde el nivel de referencia.
- α_p : Coeficiente de corrección de presiones.
- θ : Angulo de inclinación del canal.
- d : Distancia perpendicular del fondo a la superficie del canal.
- V : Velocidad del flujo.

Otro método para determinar la variación de presiones es hacer correlaciones en modelo o prototipos en caso que no se contará con estos datos se puede tomar como referencia la base cóncava de la cubeta y aplicar la segunda ley de Newton.

$$F_c = m \times a_c = m \frac{V^2}{R} = \rho d d_x \frac{V^2}{R} \dots Ec(22)$$

- La fuerza en dirección del flujo es:

$$F_m = d d_x \rho g \cos \theta \dots Ec(23)$$

- La fuerza total en el sentido del flujo:

$$F = d d_x \rho g \cos \theta + \rho d d_x \frac{V^2}{R} \dots Ec(24)$$

- La presión es la fuerza sobre el área aplicada tomando la forma de F/A donde el área se define dX.

$$p = \frac{F}{d_x} = d \rho g \cos \theta + \rho d \frac{V^2}{R} \dots Ec(25)$$

- La presión en fondos curvos cóncavos es:

$$\frac{p}{\rho g} = d \cos\theta + d \frac{V^2}{gR} \dots Ec(26)$$

Donde:

- $d \cos\theta$: Carga de presión hidrostática.
- $d \frac{V^2}{gR}$: Variación de la presión debido a la fuerza centrífuga.

Al momento de calcular las presiones se debe tomar en consideración que las velocidades altas de la estructura reducen la densidad del fluido. Como resultado del análisis teórico tenemos que a mayor sea la velocidad en la estructura curva a menor radio las presiones serán mayores.

3. CAPITULO III: “Metodología y análisis dimensional del vertedero”

3.1. Ubicación geográfica.

El modelo a escala reducida nos proporciona datos y parámetros de diseño presentes en el área de influencia en el cual se desarrolla el experimento por consecuencia influye la ubicación de la represa por sus condiciones ambientales y geográficas.

Para la ejecución del modelo se toma en consideración los parámetros de la represa de Condoroma ubicada a una altitud de 4158 m.s.n.m, para tomar medidas representativas con el modelo a escala reducida acompañado de bombas y equipo de laboratorio que nos permitirán variar la carga de operación y tomar datos para el presente estudio.

Datos representativos:(Represa de Condoroma)

- Generalidades:
- Año de construcción: 1985 (termino).
- Vida útil: 50 años.

Geografía:

- Cuenca: Cuenca del rio Colca/Camaná-(Arequipa).
- Ubicación: Entre los cerros de Allusaya/Acuytanca.
- Distrito y Provincia: Callalli – Caylloma – Arequipa.
- Latitud: S 15° 23’.
- Longitud: W 76° 16’
- Altura: 4158 m.s.n.m
- Área de la cuenca: 1800 km²

Medida:

- Longitud de coronación: 514.10 m
- Ancho de coronación: 10.00 m
- Ancho de base: 420.00 m
- Altura máxima: 101.00 m

Figura16: Foto-satelital represa Condoroma



Fuente: Google Earth. (2021, Pg41)

Figura17: Represa de Condoroma



Fuente: Represa de Condoroma- (2021, Pg41)

3.2. Registro histórico.

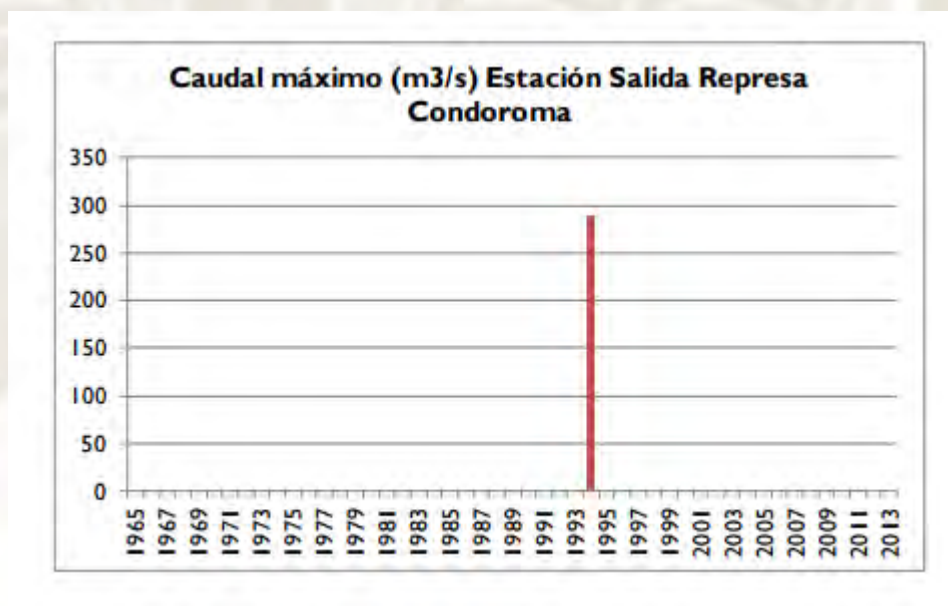
Para entender la realidad sobre los recursos hídricos tomaremos referencia del informe (Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca Informe Final), elaborado por el ANA “Autoridad Nacional del Agua” con fecha del 2015.

En las represas se toma registro de los caudales a lo largo de toda su actividad ya sea por mes o por año e incluso diario por consiguiente nuestro primer paso es determinar el caudal que tomaremos como base en nuestro estudio sabiendo que el caudal del modelo a escala reducida alcanza los 100 l/s o (0.1m³/s).

Encontraremos diferentes caudales en los reportes hídricos de la represa tales como el afluente y efluente que son producto de las precipitaciones y los ríos que llegan a la zona de embalse de la represa, también están los caudales diarios, interanuales, mensuales.

Para este estudio se tomará el caudal en la unidad de (m³/s). Este dato es sacado del informe que lleva por nombre (“Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca Informe Final”). En este informe encontraremos el caudal mencionado que cuenta con una data desde el año 1965 hasta el año 2013 y está en el valor de 280 m³/s.

Gráfico 1. Reporte hídrico



Fuente: Autoridad nacional del agua Pag 683.

A continuación, la gráfica representa los caudales extremos anuales tomadas diariamente en las estaciones de “Puente Colgante Sibayo, Negropampa, Condoroma, María Pérez, Pallca Huaruro, Bamputañe, Antasalla, Dique Los Españoles, Huatiapa, Hacienda Pampatá, Puente Carretera Camaná y Salida Represa Condoroma en el periodo comprendido entre 1965 y 2013” según el informe mencionado.

3.3. Semejanza y dimensionamiento hidráulico.

Introducción:

El estudio de los fenómenos que nos rodean por su dificultad no puede ser expresados o modelados de manera matemática, como es el caso del comportamiento atmosférico donde se requirió mucha inversión de tiempo y dinero para estudiarlo alrededor de 15 años y poder así mejorar las predicciones meteorológicas.

En el caso de las diferentes estructuras hidráulicas son construidas y reevaluadas una vez efectuado el estudio en un modelo a escala reducida que da lugar a teorías matemáticas y resultados experimentales para desarrollar diferentes soluciones a una escala real.

Estos avances producen organización y experiencia con los datos obtenidos producto del modelo a escala reducida llevando a cabo un análisis dimensional y semejanza hidráulica. Estos estudios son realizados para mejorar la comunicación entre los investigadores y el intercambio de resultados usando valores adimensionales como el número de Reynolds o el número de Froud.

Un ejemplo de aplicación de la semejanza entre el modelo a escala reducida y el prototipo a estudiar lo tenemos en la sección anterior a esta donde pusimos en semejanza el caudal de operación del modelo a escala reducida con el caudal máximo anual evaluado en la represa de Condoroma dando como resultado una semejanza optima de $1/25$ para el modelo llevado a la represa, utilizando como base el Numero de Froud debido a que los canales abiertos son afectados con mayor intensidad por la gravedad y teniendo relación con el número de Froud explicado a continuación.

Análisis Dimensional:

Estudio de un fenómeno físico dado, donde tenemos que reducir el número y complejidad de los parámetros para su estudio. Este estudio nos lleva a desarrollar un método conocido como, el teorema de VASCHY-BUCKINGHAM donde su

principal objetivo es cambiar las variables originales por otras variables más reducidas, que se consiguen mediante una adecuada combinación y un número mínimo de variables.

Ventajas:

- Ahorro de tiempo y dinero.
- Planeamiento y análisis del modelo dimensional.
- Proporciona datos de un modelo para uno a escala real.

Dimensiones de una Magnitud Física.

Como primera parte están las magnitudes físicas básicas, que son longitud, masa y tiempo que tienen su combinación en la segunda ley de Newton:

$$\sum F = ma$$

Dimensionalmente:

$$F = \frac{ML}{T^2}$$

La expresión se interpreta con 3 magnitudes básicas.

Principio de Homogeneidad Dimensional.

Consiste en la formación de expresiones que tiene relación de forma algebraica. Por consiguiente, solo se puede sumar o restar entre las mismas magnitudes físicas, para dejarlo claro se tomará como ejemplo la energía cinética y la energía potencial.

$$E = E_c + E_p$$

La energía total es la suma de la energía cinética más la energía potencial.

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + m g h$$

Expresando la energía con su respectiva fórmula.

$$E = \frac{1}{2} m \left(\frac{e}{t}\right)^2 + m \frac{e}{t^2} h$$

Tomando las magnitudes fundamentales dentro de la expresión.

$$E = \frac{1}{2} [M][L]^2[T]^{-2} + [M][L]^2[T]^{-2}$$

Poniendo en práctica los criterios dimensionales en la expresión de la ecuación de la energía cinética y potencial ambas expresiones presentan la misma ecuación dimensional.

Tabla 5. Magnitudes Fundamentales

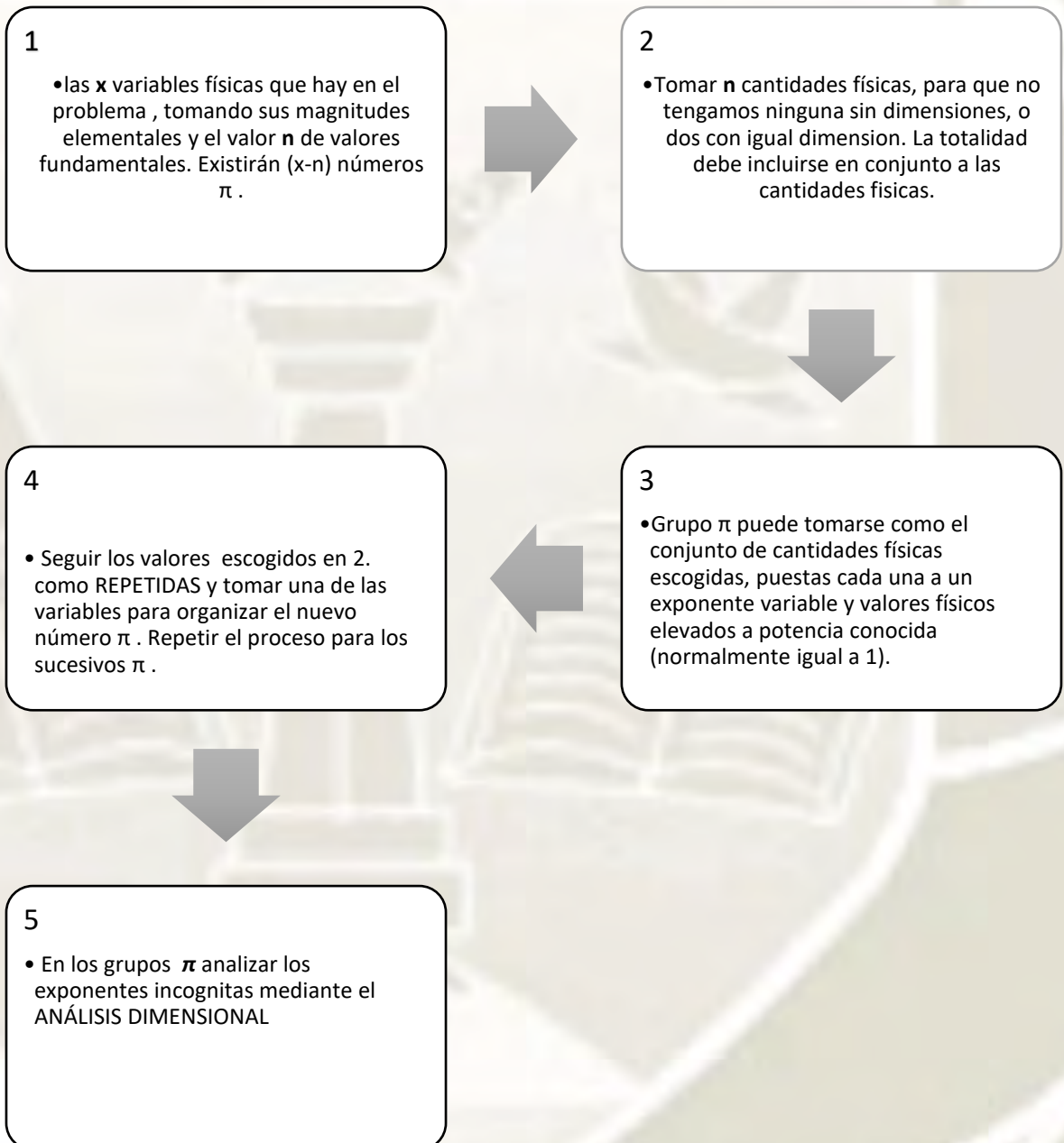
| N° | Magnitud | Notación | Sistema Absoluto | | | | Sistema Gravitacional | | | |
|----|---------------------------|-------------------|------------------|----|----|----|-----------------------|----|----|----|
| | | | M-L-T-Θ | | | | F-L-T-Θ | | | |
| | | | M | L | T | Θ | F | L | T | Θ |
| 1 | Longitud | L | x | 1 | x | x | x | 1 | x | x |
| 2 | Área | A | x | 2 | x | x | x | 2 | x | x |
| 3 | Volumen | V | x | 3 | x | x | x | 3 | x | x |
| 4 | Velocidad | V _e | x | 1 | -1 | x | x | 1 | -1 | x |
| 5 | Aceleración | d _v /t | x | 1 | -2 | x | x | 1 | -2 | x |
| 6 | Caudal | Q | x | 3 | -1 | x | x | 3 | -1 | x |
| 7 | Presión | p-σ-τ | 1 | -1 | -2 | x | 1 | -2 | x | x |
| 8 | Velocidad de deformación | ε̇ | x | x | -1 | x | x | x | -1 | x |
| 9 | Momento | M | 1 | 2 | -2 | x | 1 | 1 | x | x |
| 10 | Velocidad Angular | ω - Ω | x | x | -1 | x | x | x | -1 | x |
| 11 | Viscosidad | μ | 1 | -1 | -1 | x | 1 | -2 | 1 | x |
| 12 | Viscosidad cinemática | ν | x | 2 | -1 | x | x | 2 | -1 | x |
| 13 | Tensión superficial | Υ | 1 | x | -2 | x | 1 | -1 | x | x |
| 14 | Fuerza | F | 1 | 1 | -2 | x | 1 | x | x | x |
| 15 | Densidad | ρ | 1 | x | -3 | x | 1 | -4 | 2 | x |
| 16 | Temperatura | K | x | x | x | 1 | x | x | x | 1 |
| 17 | Peso específico | ρg | 1 | -2 | -2 | x | 1 | -3 | x | x |
| 18 | Conductividad térmica | k | 1 | 2 | -3 | -1 | 1 | x | -1 | -1 |
| 19 | Coefficiente de expansión | β | x | x | x | -1 | x | x | x | -1 |
| 20 | Diámetro | d | 1 | x | x | x | 1 | x | x | x |
| 21 | Gravedad | g | x | 1 | -2 | x | x | 1 | -2 | x |
| 22 | Trabajo, energía | W-E | 1 | 2 | -2 | x | 1 | 1 | x | x |
| 23 | Potencia | p-σ-τ | 1 | 2 | -3 | x | 1 | 1 | x | x |

Fuente: Elaboración propia

Teorema de Vaschy-Buckingham:

Es un método de reducción de parámetros adimensionales creado en los años de vida de Vaschy Buckingham. consiste en las “x” magnitudes tomadas, con las cuales, “y” han sido representadas como base, formando “x-y” productos adimensionales y relaciones fundamentales en funciones.

PROCEDIMIENTO:



Semejanza y similitud:

Para experimentar se realiza un modelo a escala reducida, con dimensiones restringidas a diferentes condiciones como la capacidad del modelo, sus dimensiones y acondicionamientos de escala, etc.

La precisión de los resultados esta dado por los dispositivos de medición en las diferentes etapas donde se encuentre el flujo a lo largo de la estructura de disipación.

Para tener una adecuada interpretación de los resultados y el estudio del modelo hay que tomar un adecuado margen de consideración por las propias diferencias entre el prototipo con relación al modelo.

Semejanza geométrica:

Se dice semejanza a la relación que toma el prototipo con el modelo a expresar en unidades iguales. Tomando la variable lambda para representar semejanza entre las dimensiones del prototipo y el modelo ($\lambda L=L_p/L_m$).

Se presenta la semejanza geométrica si todas las longitudes presentan igual factor, escalable (λl). Se puede dar el caso de una variación de escala entre la geométrica vertical u horizontal. En tal suceso se tendría factores escalables paralelos de λh y λv .

Un producto de la representación entre el modelo y el prototipo son sus áreas como volúmenes pueden ser expresados en la representación de λe variando el exponente en cada caso ejemplo:

$$\frac{l_m}{l_p} = \lambda_r \dots (1)$$

$$\frac{A_m}{A_p} = \frac{l_m^2}{l_p^2} = \lambda_r^2 \dots (2)$$

$$\frac{V_m}{V_p} = \frac{l_m^3}{l_p^3} = \lambda_r^3 \dots (3)$$

Semejanza cinemática:

En un modelo más complejo donde hay otras unidades además de la longitud como por ejemplo la velocidad, debe haber una semejanza cinemática. En este contexto los vectores de la velocidad de fluido en el prototipo se corresponden con sus pares en el modelo, por lo que lleva una semejanza proporcional denominada (λ_v).

Semejanza dinámica:

En el modelo también pueden influir fuerzas por lo cual se adopta una semejanza dinámica tomando un factor (λ_F). En un polígono de fuerzas semejantes entre prototipo y el modelo para tener proporcionalidad geométrica formada por los diferentes factores de las fuerzas.

En la mecánica de fluidos se han introducido muchos monomios para explicaciones físicas en lo cual radica la complejidad de operar todas estas y son.

Tabla 6. Monomios fundamentales en la mecánica de fluidos

| Nombre | Nomenclatura | Formula |
|--|--------------|--|
| Fuerza de gravedad | F_g | $F_g = m \cdot g = \rho L^3 g$ |
| Fuerza de presión | F_p | $F_p = A \cdot \Delta p = \Delta p L^2$ |
| Fuerza de viscosidad | F_μ | $F_\mu = \mu \frac{dv}{dy} A = \mu \frac{v}{L} L^2 = \mu v L = \rho \nu v L$ |
| Fuerzas debidas a la elasticidad (compresibilidad) | F_E | $F_E = E \cdot A = E \cdot L^2$ |
| Fuerzas de tensión superficial | F_σ | $F_\sigma = \sigma L$ |
| Fuerzas de inercia | F_I | $F_I = m \cdot g = \rho L^3 \frac{L}{T^2} = \rho L^4 T^{-2} = \rho v^2 L^2$ |

Fuente: Elaboración propia

Por tal motivo podemos tener una ecuación donde escriba el equilibrio de fuerzas inerciales que se oponen a la variación del movimiento.

$$\sum F = F_g + F_p + F_\mu + F_E + F_T = -F_I \xrightarrow{\text{Entonces}} F_g + F_p + F_\mu + F_E + F_T + F_I = 0$$

Con todas las fuerzas que actúan en el modelo hidráulico es difícil mantener la semejanza dinámica, por tal motivo hay cierto margen que se debe manejar cuando se pone en perspectiva el modelo con el prototipo a la hora de establecer la escala. Como un ejemplo podemos pensar en la presión o la gravedad porque son inalterables. Adicionalmente a estos conceptos hay que atribuirle la mano del hombre a su intervención en los diferentes ámbitos de estudio como es el uso de materiales, equipos para el funcionamiento del modelo.

Si siguiendo con el estudio de los factores para la abstracción del mundo real para su estudio en situaciones controladas para la hidráulica tendremos el número de Froude y de Reynolds dados por las siguientes ecuaciones.

| | | |
|---|---|---|
| $\frac{F_I}{F_g} = \frac{\rho v^2 L^2}{\rho g L^3} = \frac{v^2}{g \cdot L}$ | ➔ | $\frac{F_I}{F_v} = \frac{\rho v^2 L^2}{\rho \nu v L} = \frac{v \cdot L}{\nu}$ |
| Numero de Froude-"(relacion entre la fuerza de inercia y la gravedad)" | | Numero de Reynolds-"(Relacion entre la fuerza de inercia y la gravedad)" |

Como podemos observar hay factores inalienables como la viscosidad y la gravedad por lo tanto no podría darse el caso de satisfacer ambos casos en las ecuaciones. Por tal motivo la ejecución en el modelo a escala reducida se debe decidir entre el fenómeno físico más relevante la gravedad o viscosidad y realizar la semejanza en base a la relación más predominante. Si las decisiones tomadas durante el experimento fueron acertadas la variación o porcentaje de variación sería mínimo.

Por tomar un caso alternativo ejecutando un aliviadero por gravedad tendría números de Reynolds elevados por consecuencia perdiendo relevancia de dimensión de viscosidad. En el caso opuesto un modelo de escala reducida con un flujo laminar no podría tener flujo turbulento porque habría variaciones hidráulicas considerables.

Cuando se ejecutan modelos a escala reducida con lamina libre como este caso una recomendación es la observación a lo largo del canal tanto aguas arriba como aguas abajo donde el tirante sea mayor a 2 cm para evitar el fenómeno de tensión superficial porque tendría una importancia en el modelo.

Por todas las razones antes expuestas son criterios para la adopción de una escala adecuada para el modelo tomando el lugar, caudales administrados, etc. A continuación, veremos las semejanzas entre el número de Froude y Reynolds para ejemplificar nuestras opciones para la elección de una escala adecuada.

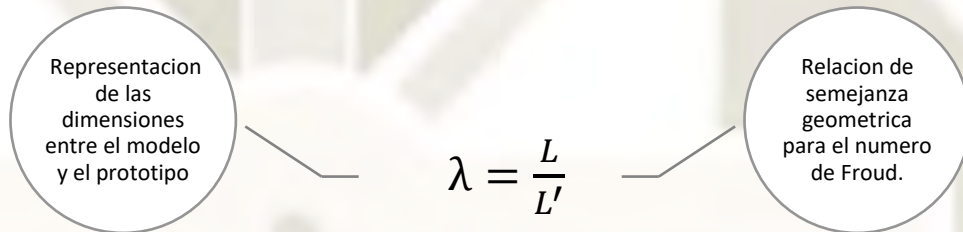
Semejanza de Froude:

Este criterio es usado cuando tenemos un flujo corriendo por una superficie libre afectado principalmente por la fuerza de gravedad. Dentro de estos casos podemos encontrar ejemplos como canales, oleajes, vertederos, resaltos, desagües etc.

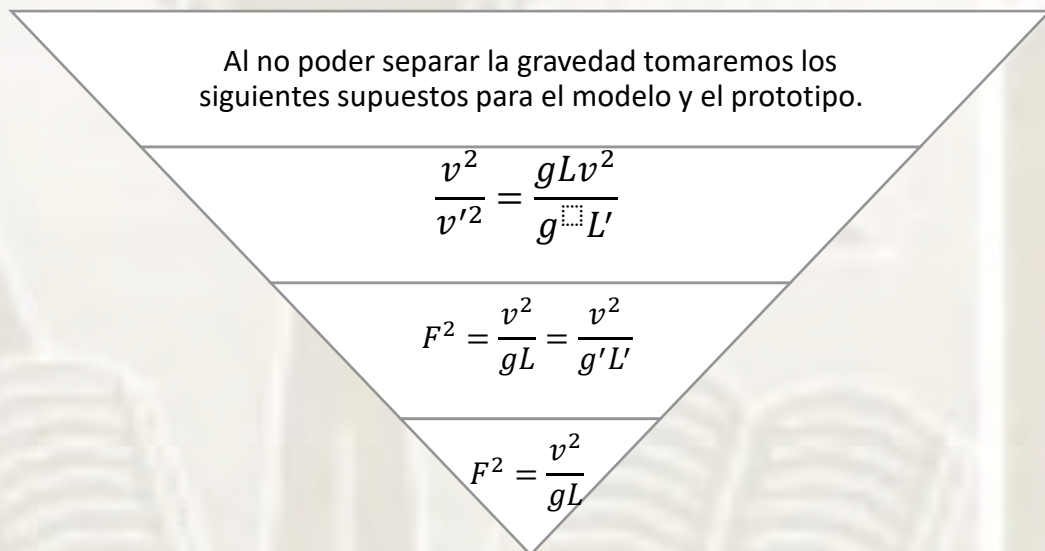
A continuación, explicaremos los pasos para establecer la semejanza entre el prototipo y el modelo a escala reducida.

Paso-1:

Tenemos a λ que es la expresión tomada para representar semejanza dependiendo el tipo de semejanza en este caso estamos en una semejanza geométrica:



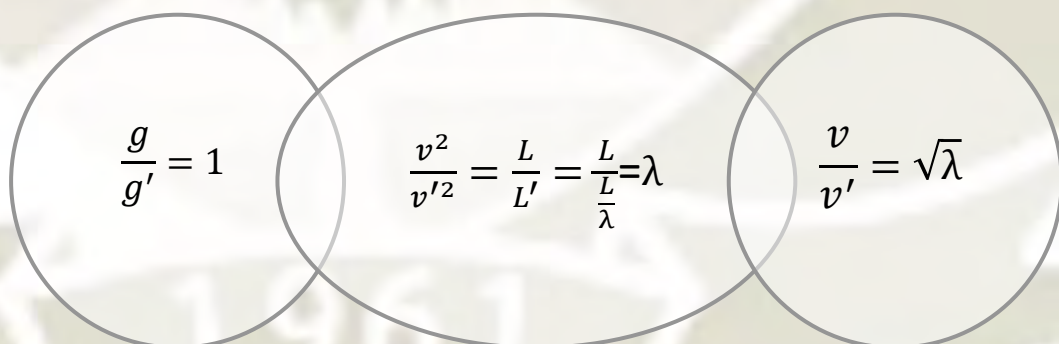
Paso-2:



A continuación, tomaremos la expresión matemática y la reemplazaremos con la semejanza geométrica antes establecida. Esto permanece inalterable entre el prototipo y modelo por ello.

Paso-3:

Finalmente despejaremos todas las variables en función del modelo y el prototipo asumiendo la siguiente distribución:



Para el tiempo podemos expresarlo en función de la velocidad y la longitud por lo que tendría.

$$t = \frac{L}{v}$$

$$\frac{t}{t'} = \frac{\frac{L}{v}}{\frac{L'}{v'}} = \frac{\lambda}{\frac{1}{\lambda}} = \lambda^2$$

Para el caudal es una magnitud representada por la longitud elevada al cubo sobre el tiempo ($\frac{m^3}{s}$).

$$Q = \frac{L^3}{t}$$

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\frac{L^3}{t}}{\frac{L'^3}{t'}} = \frac{\lambda^3}{\sqrt{\lambda}} = \lambda^{5/2}$$

Paso-4:

Para terminar, hay que expresar la masa por medio de la densidad y el volumen, sin embargo, como en la mayoría de casos se trata del mismo fluido, por lo tanto:

$$M = p \cdot V$$

$$\frac{M}{M'} = \frac{pL^3}{p'L'^3} = \frac{p}{p'} = \lambda^3$$

Semejanza de Reynolds:

La variable de viscosidad está presente en todos los escenarios de hidráulica, pero su relevancia está sujeta a las grandes cantidades de fluidos que se mueven a lo largo del canal perdiendo relevancia mientras más grandes sea la masa de flujo. Para este caso la viscosidad influye poco en el problema de estudio. Al igual que en el número de Froud se dará la siguiente semejanza en función a λ .

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu'} = \text{cta} \qquad \frac{v}{\nu'} = \frac{D'}{D} = \frac{1}{\lambda}$$

$$\frac{v}{\nu'} = \frac{D'v}{D\nu'} = 1$$

Para el caso anterior como este se conoce la longitud y la velocidad por tanto el tiempo es una variable conocida.

El caudal es una unidad que depende de la variable fundamental de la longitud (volumen).

la variable de masa está determinada por la densidad y volumen:

Relación a escalas para todos los casos de semejanza en función de Reynolds y Froud.

$$t = \frac{L}{v}$$

$$\frac{t}{t'} = \frac{\frac{L}{v}}{\frac{L'}{v'}} = \frac{\lambda}{\frac{1}{\lambda}} = \lambda^2$$

$$Q = \frac{L^3}{t}$$

λ

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\frac{L^3}{t}}{\frac{L'^3}{t'}} = \frac{\lambda^3}{\lambda^2} = \lambda$$

Tabla 7. Relación de semejanza expresado en magnitudes fundamentales.

| N° | Nombre de magnitud | Dimensión | Semejanza para el numero de Froud y Reynolds | |
|----|--------------------|---------------------------------|--|-----------------------|
| | | | Froud | Reynolds |
| 1 | Longitud | L | λ | λ |
| 2 | Área | L ² | λ^2 | λ^2 |
| 3 | Volumen | L ³ | λ^3 | λ^3 |
| 4 | Tiempo | T | $\sqrt{\lambda}$ | λ^2 |
| 5 | Velocidad | LT ⁻¹ | $\sqrt{\lambda}$ | $\frac{1}{\lambda}$ |
| 6 | Aceleración | LT ⁻² | 1 | $\frac{1}{\lambda^3}$ |
| 7 | Caudal | L ³ T ⁻¹ | $\sqrt{\lambda^5}$ | λ |
| 8 | Presión | ML ³ T ⁻² | λ | $\frac{1}{\lambda^2}$ |
| 9 | Energía | ML ² T ⁻² | λ^4 | λ |
| 10 | Fuerza | MLT ⁻² | λ^3 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

3.4. Determinación de la escala a usar.

Una vez obtenidos nuestros datos tanto de modelo a escala reducida con un caudal máximo de 100 l/s (0.1 m³/s), como el prototipo con un registro máximo anual según informe de 280 m³/s pasaremos a determinar la semejanza entre sus caudales y determinar la escala usando el número de Froud.

$$\frac{g_p}{g_m} = 1$$

$$\frac{\rho_p}{\rho_m} = 1$$

De primera intención tomaremos variables cuya relación es igual a la unidad que son la gravedad y la densidad.

$$M = \rho \cdot V \qquad \frac{M}{M'} = \lambda^3$$

$$\frac{M}{M'} = \frac{\rho L^3}{\rho' L'^3} = \frac{\rho}{\rho'} \lambda^3$$

Tomaremos la semejanza geométrica de la ecuación del número de Froud y caudal en escala 1/50 y 1/25 para determinar si cumplen con el caudal máximo de operación del modelo a escala reducida, que es de 100 l/s (0.1 m³/s).

$$F^2 = \frac{v_p^2}{g_p L_p} = \frac{v_m^2}{g_m L_m} = \text{cta} \qquad \frac{v_p}{v_m} = \sqrt{\lambda_l}$$

$$\frac{v_p^2}{v_m^2} = \frac{g_p L_p}{g_m L_m} = \lambda_l$$

$$\frac{Q_p}{Q_m} = V \cdot S = \frac{v_p L_p^2}{v_m L_m^2} \qquad \sqrt{\lambda^5} = \frac{\text{esc: } 1/50}{\text{esc: } 1/25}$$

$$\sqrt{\lambda} \lambda^2 = \sqrt{\lambda^5}$$

Para concluir con la semejanza entre el modelo y el prototipo tomaremos las escalas de 1/50 y 1/25 para ver si el caudal máximo del modelo de 100 l/s es un caudal de operación aceptable para representar el caudal máximo anual registrado en la represa de Condoroma en la data de 1965 a 2013.

$$Q_m = \frac{Q_p}{50^{\frac{5}{2}}} = \frac{280 \text{ m}^3/\text{s}}{50^{5/2}} = 0.0158 \text{ m}^3/\text{s} = 15.84 \text{ l/s}$$

$$Q_m = \frac{Q_p}{25^{\frac{5}{2}}} = \frac{280 \text{ m}^3/\text{s}}{25^{5/2}} = 0.0896 \text{ m}^3/\text{s} = 89.6 \text{ l/s}$$

Finalmente concluyendo, las dos escalas son apropiadas para probar el modelo a escala reducida, pero hay un factor para escoger la escala 1/25 sobre la escala 1/50 y ese factor es el caudal de operación. Mientras que en el modelo a escala reducida (1/50) el caudal máximo para análisis sería de 15.84 l/s este caudal está muy por debajo del caudal real de operación del modelo que es de 100 l/s; sin embargo, el caudal de operación para la escala 1/25 sería de 89.6 l/s. Entonces esa será nuestra escala de análisis.

3.5. Metodología de análisis sobre el vertedero.

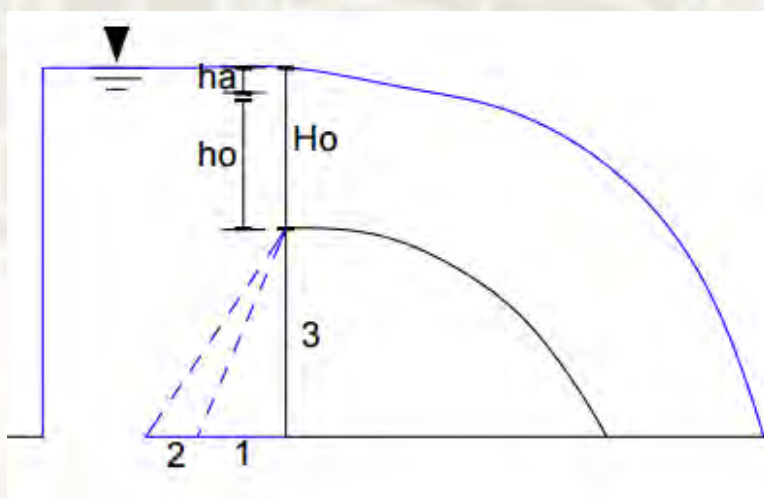
3.5.1. Determinación de la altura de diseño.

Para comenzar con el procedimiento de diseño convencional para la disipación de energía comenzaremos por partes desde el flujo aguas arriba donde tendremos como dato principal la carga de operación hasta cuando el flujo de agua deja la estructura terminal para convertirse en chorro y seguir aguas abajo, a continuación, se presenta las convenciones de diseño adoptadas para el análisis de estructuras hidráulicas en modelos a escala reducida.

3.5.2. Flujo aguas Arriba:

Es la primera parte de la estructura de control que tiene contacto con el flujo proveniente del canal aguas arriba compuesto principalmente por una estructura vertical llamada “paramento” que puede variar en talud como 1:3 o 2:3 para nuestro caso el paramento es vertical.

Figura18: Tipo de talud para el paramento de la cresta



Fuente: USBR-elaboración propia (2021, Pg55)

Cresta con forma curva, que a su vez está compuesta en función de los parámetros hidráulicos iniciales como la carga de diseño y la altura de aproximación del flujo.

El diseño geométrico de una estructura de control empieza por el cimacio que toma como criterio inicial la carga de operación proveniente del canal aguas arriba.

Para empezar con la carga de operación se comienza con una semejanza entre el prototipo y el modelo a escala reducida, por tal motivo se busca al caudal máximo de operación que tenga el prototipo durante su vida útil o en caso no habría una estructura de control para el caudal máximo de operación un análisis hidrológico.

3.5.3. Geometría del vertedero.

Parámetros de diseño Cresta

La corona o cresta debe ser diseñada, para caudales óptimos, por lo cual debe ajustarse a la lámina inferior de agua en el vertedero. La Bureau of Reclamation ha propuesto mediante estudios las mejores condiciones de coronación, se estudió que depende del volumen de aguas arriba del vertedero, los parámetros aguas arriba, altura del vertedero con respecto al canal de entrada.

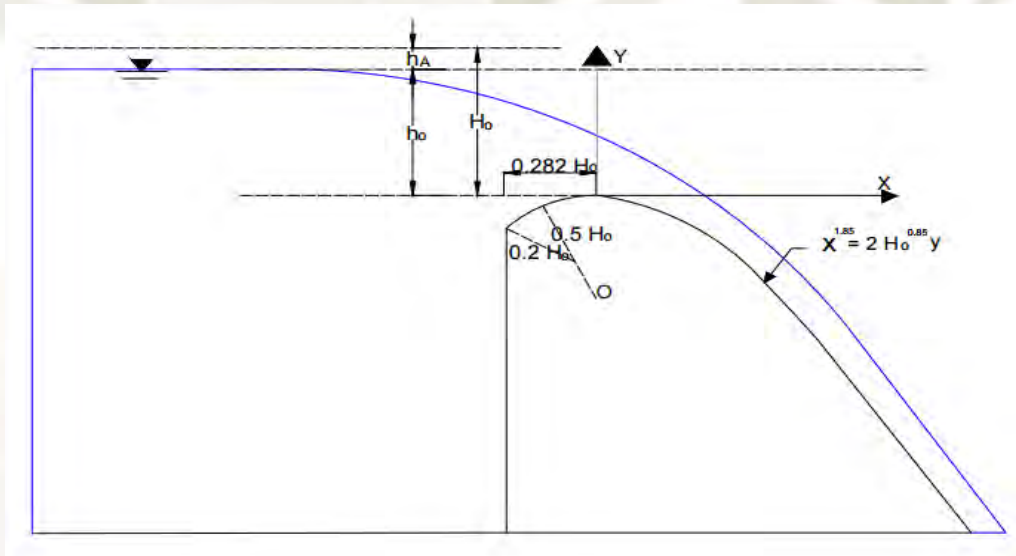
3.5.3.1. Diseño de la Cresta:

Propuesto por la U.S.B.R para definir los segmentos de la cresta aguas arriba y aguas abajo tomando como punto de referencia el más alto de la cresta.

Donde los puntos que componen el segmento de la cresta estarán definidos por la siguiente ecuación y terminara en el punto de tangencia con la rápida para seguir con la siguiente parte.

$$\frac{Y}{H_0} = -K\left(\frac{X}{H_0}\right)^n \dots Ec_1$$

Figura19: Parámetros geométricos e hidráulicos zona de coronación



Fuente: USBR-elaboración propia (2021, Pg55)

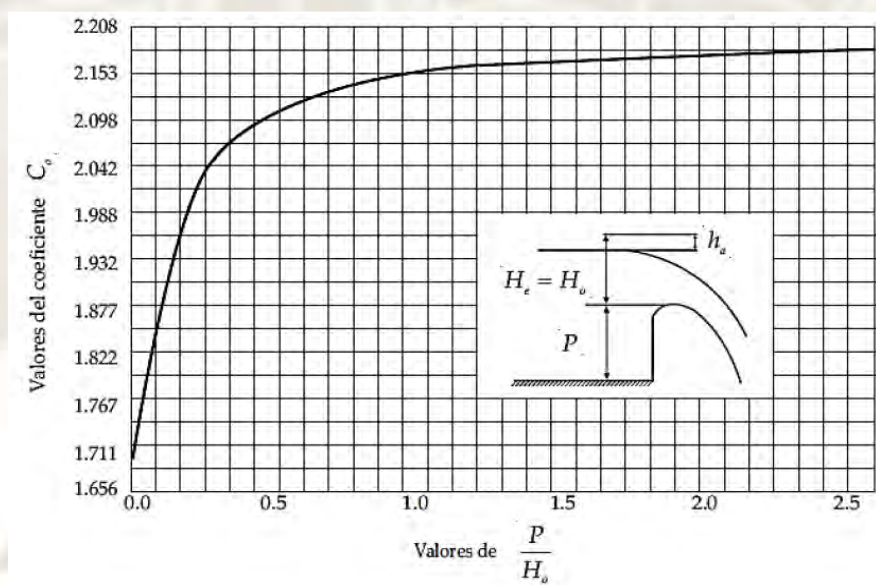
Para comenzar con el diseño de la cresta de la estructura de control se empieza por establecer la similitud entre el modelo escala reducida y el prototipo de estudio.

Posteriormente comenzamos a establecer la altura de la sección.

$$H_o = \left(\frac{Q}{C * L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Para continuar se tiene un Abaco con la relación C en el eje de las ordenadas y la relación P/H_o en el eje de las abscisas.

Figura20: Valores de coeficiente de descarga



Fuente: Arreguín Cortés, F., & Alcocer Yamanaka, V. (2010, Pg38).

La longitud efectiva de la cresta del vertedero es calculada teniendo en consideración la reducción debido a la presencia de pilas y/o estribos, las cuales tienden a contraer lateralmente la lámina de agua.

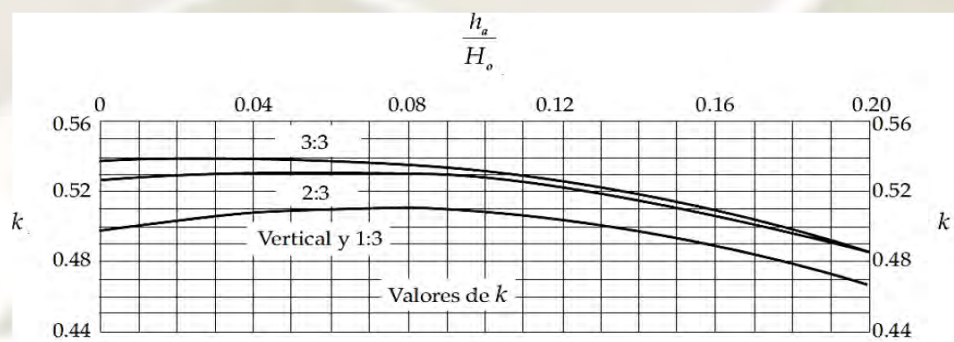
$$L = L' - 2(NK_p + K_a)H_o \dots Ec_3$$

Donde:

- L: longitud efectiva de coronación.
- L': longitud neta de coronación.
- N: número de pilas.
- K_p : Coeficiente de contracción debido a pilas.
- K_a : Coeficiente de contracción debido a estribos.
- H_o : Carga total sobre la coronación.
- Pilas con forma rectangular, con las esquinas redondeadas, con radios del orden de 0.1 del espesor de la pila: $K_p = 0.02$.
- Pilas con forma redondeada $K_p = 0.01$.
- Pilas con forma apunta $K_p = 0.0$
- Estribos cuadrados con el muro de aguas arriba de 90° con la dirección del caudal $K_a = 0.20$.
- Estribos redondeados con el muro formando 90° con la dirección del caudal, cuando $0.5H_o \leq r \leq 0.15H_o$: $K_a = 0.10$.
- Para estribos redondeados, cuando $r \geq 0.5H_o$ y el muro forma un ángulo no mayor de 45° con la dirección del caudal: $K_a = 0.0$.

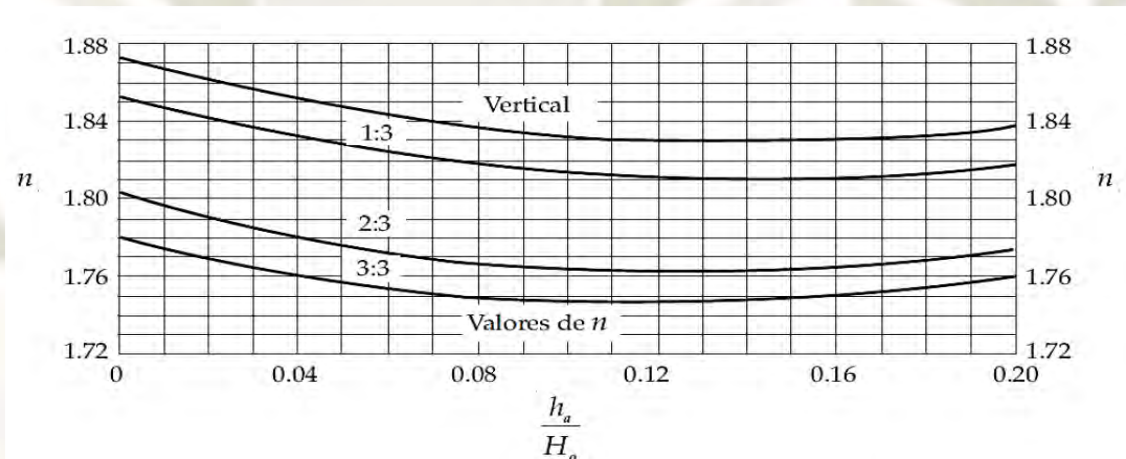
Los parámetros k y n dependen de la inclinación aguas arriba y el flujo de aproximación cuyos valores están comprendidos en los ábacos a continuación explicados.

Figura21: Abaco para hallar el valor de K



Fuente: Arreguín Cortés, F., & Alcocer Yamanaka, V. (2010, Pg41).

Figura22: Abaco para valores de n



Fuente: Arreguín Cortés, F., & Alcocer Yamanaka, V. (2010, Pg41).

- Cuando tenemos los datos del proyecto como, longitud de corona, caudal, podemos asumir un coeficiente de descarga (C), a su vez una carga total de corona (H_o) y mediante los ábacos corregirlo con iteraciones.
- Siguiendo con el cálculo obtenemos la carga de velocidad (h_a).

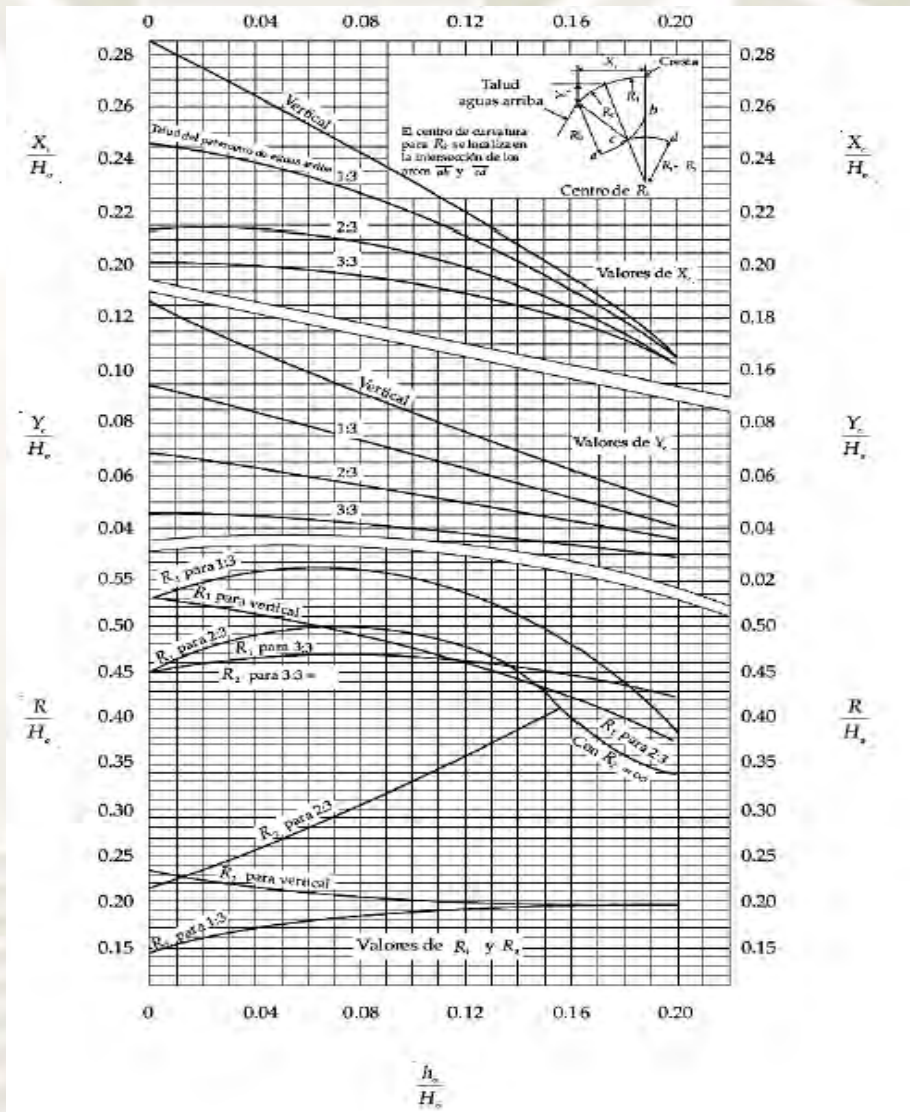
$$V_a = \frac{q}{P + H_o} \dots Ec_4$$

$$h_a = \frac{V_a^2}{2g} \dots Ec_5$$

$$h_a = \frac{q^2}{2g(P + H_o)^2} \dots Ec_6$$

- Cuando obtenemos los resultados de H_o y h_a podemos proceder a determinar los valores de K y n, obteniendo los puntos de las ecuaciones X_c , Y_c , R_1 , y R_2 , para terminar de formar las circunferencias que describen el perfil.

Figura23: Abaco para hallar los parámetros de la cresta

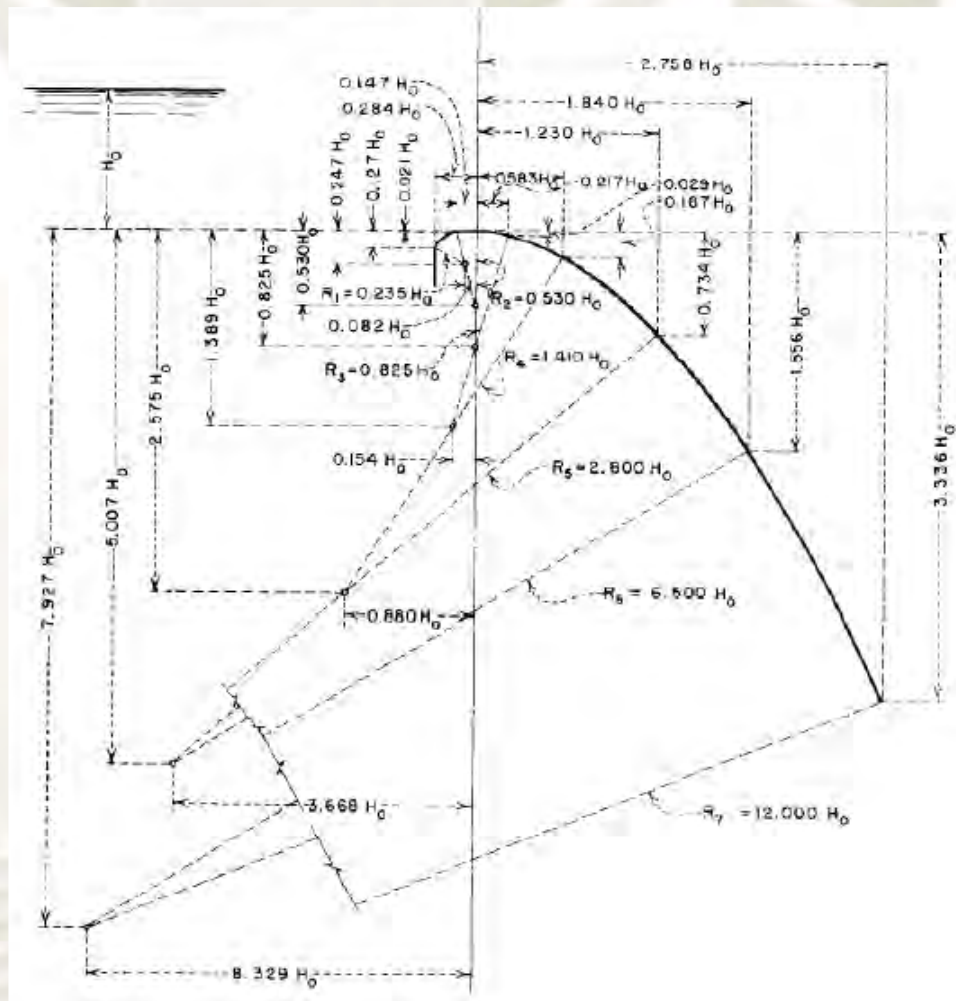


Fuente: Arreguín Cortés, F., & Alcocer Yamanaka, V. (2010, Pg. 23).

- Diseño de la cresta Segundo método:

Este método consta de dos condiciones, cuando aguas arriba es vertical, la velocidad de aproximación es igual a cero y para vertederos con altura P mayor o igual que la media de la altura de carga, si no cumple con estas dos condiciones debe seguir el proceso de la primera forma. Estas aplicaciones dependen de carga hidráulica sobre la coronación H_o .

Figura24: Forma geométrica tomando la altura de aproximación



Fuente: USBR. (1987, Pg. 22).

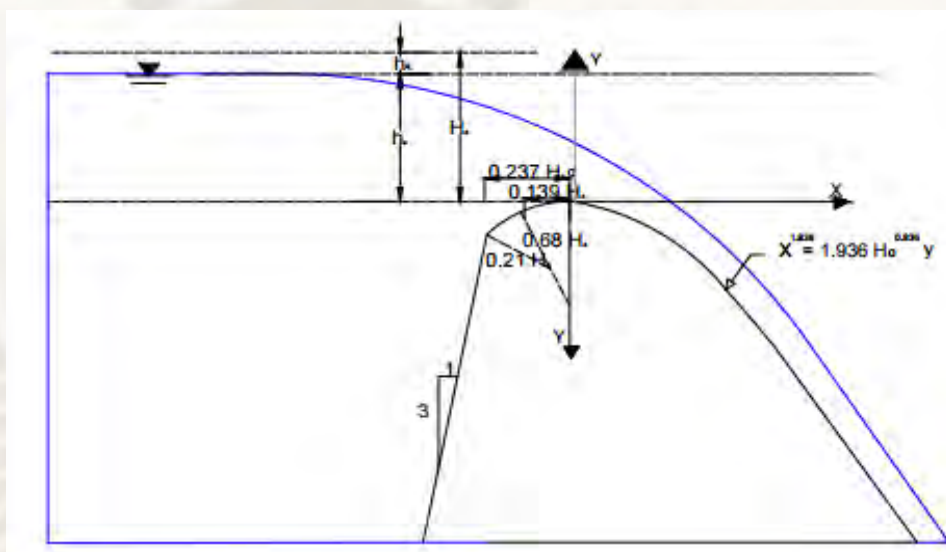
Diseño de la cresta Tercer método:

- Otro método para diseñar la parte de coronación de los vertederos, cuando la carga hidráulica de diseño H_0 es muy pequeña y se confunde como si fuera h_0 , entonces el valor es inversamente proporcional al factor $(P+H_0)$, por lo tanto, el valor se aproxima a cero. Por lo tanto, la velocidad de llegada al vertedero es despreciable. Los modelamientos hechos en laboratorios han tenido como resultado que la velocidad de aproximación es despreciable cuando $P > 1.33H_0$, y el coeficiente de descarga toma el valor $C = 2.225$
- Los Ingenieros de los EEUU utiliza perfiles con criterios propios a su homólogo del tipo USBR, dichos perfiles son conocidos como de tipo WES (Waterways Experiment Station), que pueden representarse mediante la siguiente ecuación:

$$X^n = KH^{n-1}_d Y \dots E_c 7$$

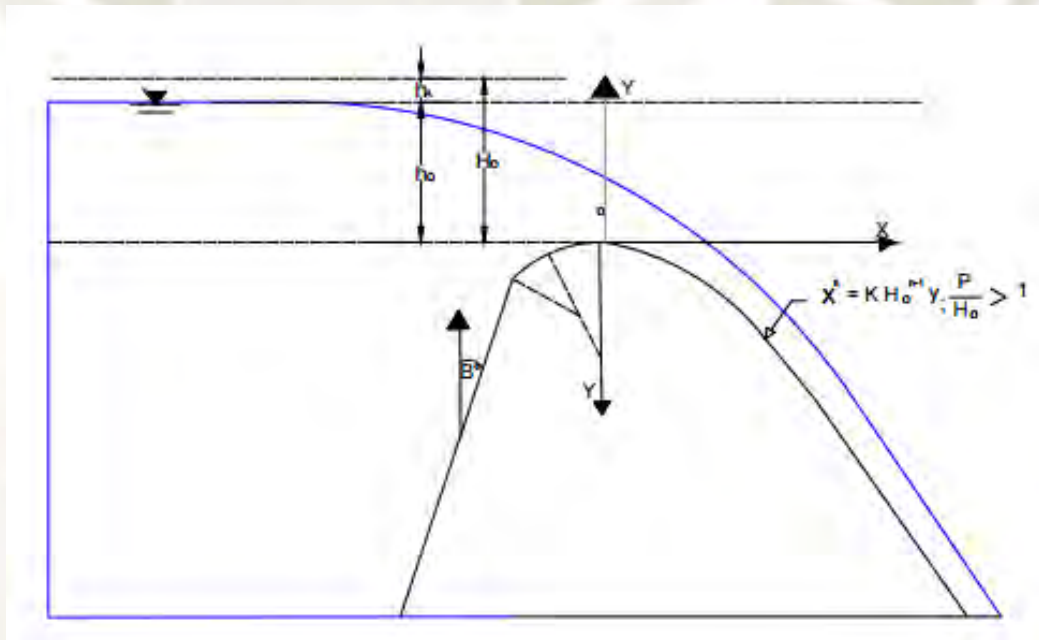
- Las coordenadas X, Y son los puntos que describen geoméricamente la cresta junto a H_d como altura de diseño, no cuenta con la altura de velocidad del flujo de aproximación y valores como K y n toman su valor de la pendiente del paramento aguas arriba.
- Mostrando esquemas geoméricos con fórmulas del perfil WES con talud vertical aguas arriba, comprendido entre 3:1 aguas arriba y talud 3:2 aguas arriba; para dimensionar los radios de la curvatura aguas arriba de la cresta y aguas abajo de la corona.

Figura25: Vertedero WES con paramento vertical aguas arriba.



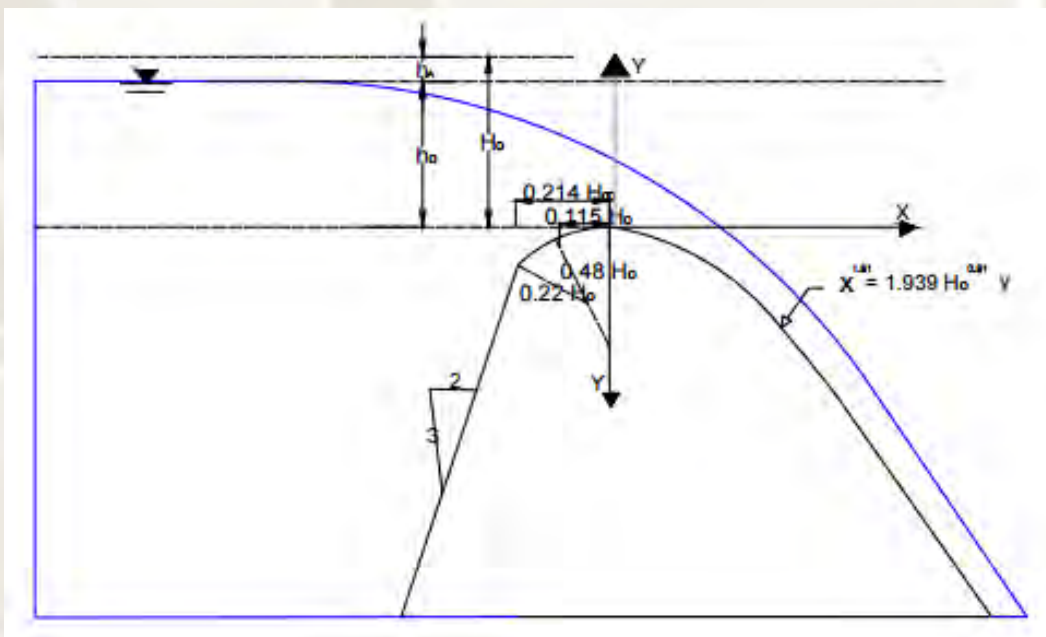
Fuente: WES-Elaboración propia. (2021, Pg61)

Figura26: Vertedero WES con paramento vertical aguas arriba.



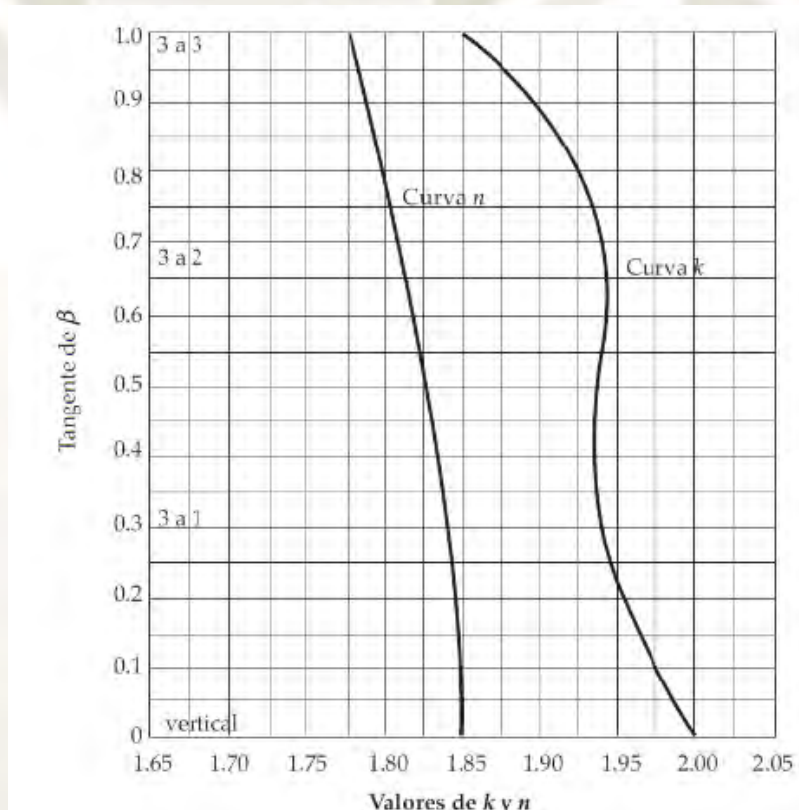
Fuente: WES-Elaboración propia. (2021, Pg61)

Figura27: Vertedero WES con paramento vertical aguas arriba.



Fuente: WES-Elaboración propia. (2021, Pg61)

Figura28: Abaco para determinar los valores de K y n



Fuente: Arreguín Cortés, F., & Alcocer Yamanaka, V. (2010, Pg29).

3.5.3.2. Parámetros de diseño Rápida.

Para tomar los parámetros aguas abajo es necesario encontrar los puntos de tangencia entre la rápida y la cresta aguas abajo para que eso suceda se toma la ecuación de la curva y derivarla.

De igual manera aguas abajo, para encontrar el final de la rápida se halla el punto de tangencia con la rápida y la estructura final, que en este caso es una cubeta deflectora con un radio de curvatura, de igual forma se repite el proceso.

Para terminar, se tiene dos puntos de tangencia, por un extremo la intersección con la cresta y por el otro la intersección con la cubeta deflectora, obteniendo dos puntos y definiendo el segmento de la recta para llegar a la cubeta deflectora.

3.5.3.3. Parámetros de diseño Estructura Terminal.

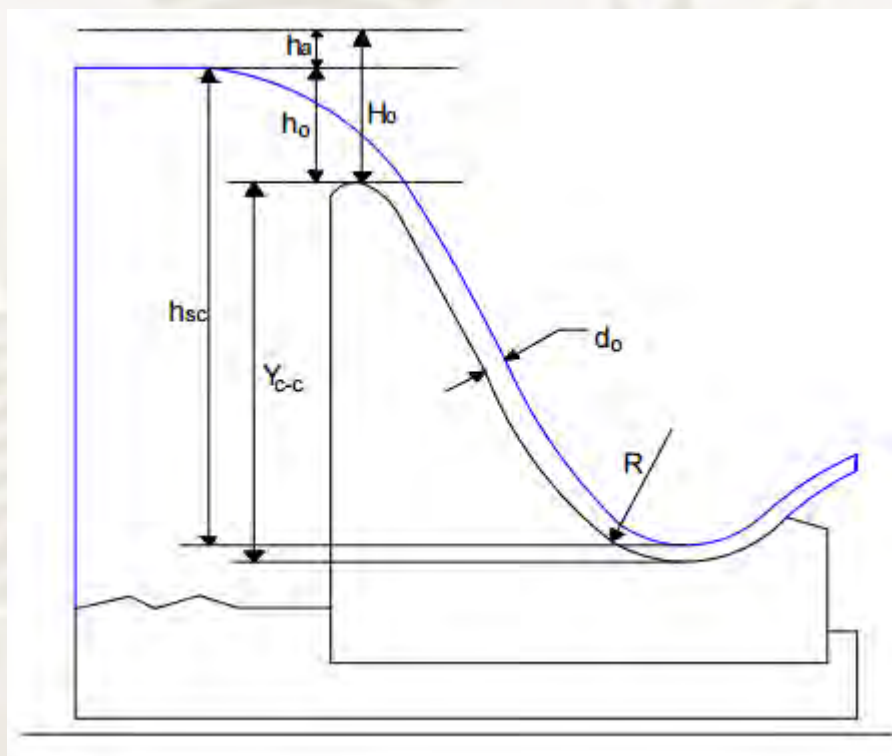
La estructura terminal está compuesta por la cubeta deflectora, parte final donde el flujo deja el vertedero, para convertirse en chorro y dispersar su energía aguas abajo según el diseño.

El cambio de dirección junto con la pérdida de energía hace que se tenga cargas hidrostáticas y dinámicas para todos los caudales a probar.

RADIO DE LA CUBETA DEFLECTORA:

Hay diferentes ecuaciones para el cálculo del radio de la cubeta para lograr la mayor distribución de presiones.

Figura29: Geometría del cucharón para determinar el radio



Fuente: Chow-Elaboración propia (2021, Pg63)

Tabla 8. Determinar el radio del cucharón con las siguientes:

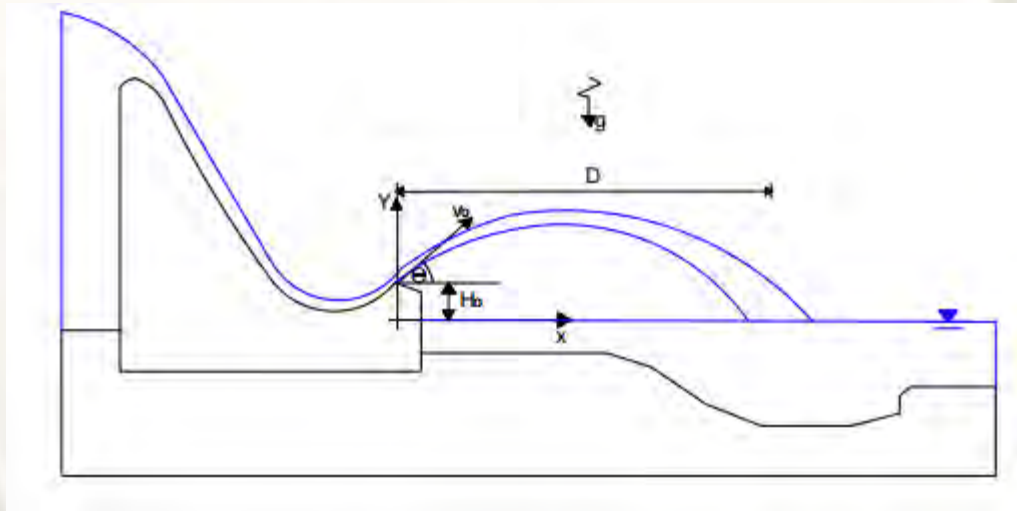
| AUTOR | VARIABLE | ECUACION |
|---|--|--|
| Damle (1966) | H_o : Carga de velocidad en el flujo de aproximación (m) d_o : Calado de aproximación (m) V_o : Velocidad media del flujo de aproximación (m/s) | $R = \left(\frac{H_o}{d_o}\right)^{0.5}$ $H_o = \frac{V_o^2}{2g}$ |
| Varshney y Bajaj (1970) | Fr_o : Numero de Froude del flujo de aproximación d_o : Calado de aproximación (m) | $R = \frac{d_o}{0.06} (Fr_o^{0.5} - 1.96)$ |
| Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos -MX (1977) | d_o : Calado de aproximación (m) | $R = (2.5 \text{ a } 3.0)d_o$ |
| U.S. Bureau of Reclamation (1987) | H_o : Carga de velocidad en el flujo de aproximación (m) d_o : Calado de aproximación (m) V_o : Velocidad media del flujo de aproximación (m/s) h_{pmax} : Carga de presión máxima (m) | $R > 5 d_o$ $R = \left(\frac{H_o}{h_{pmax}}\right)^{d_o}$ $H_o = \frac{V_o^2}{2g}$ |
| Khatsuria (2005) | h_o : Carga de agua sobre la cresta (m) d_o : Calado de aproximación (m) Y_{c-c} : Distancia vertical desde la cresta al punto mas bajo del cucharón (m) | $R = \sqrt{h_o \times Y_{c-c}}$ $R = (3 \text{ a } 7)d_o$ |
| Bureau of Indian Standards (2010) | h_o : Carga de agua sobre la cresta (m) $d_o \text{ max}$: Maximo calado de aproximación (m) H_{sc} : Diferencia de niveles entre el embalse y la superficie del agua en el punto mas bajo del cucharón (m) | $R = (0.6 \text{ a } 0.8)\sqrt{h_o \times H_{sc}}$ $R > 3d_o \text{ max}$ |

Fuente: Elaboración propia

TRAYECTORIA DEL FLUJO PARA ÁNGULO DE SALIDA EN EL CUCHARÓN (ϕ_c).

La trayectoria del flujo, tiene la geometría similar como un movimiento parabólico; dicha trayectoria se influencia por el ángulo de salida y la velocidad inicial al terminar el cucharón.

Figura30: Geometría del cucharón para determinar el radio



Fuente: USBR-Elaboración propia (2020,Pg65)

Partiendo de las ecuaciones de movimiento y prescindiendo de la resistencia del aire tenemos las ecuaciones:

$$X = V_x t \quad \rightarrow \quad t = \frac{X}{V_x} \quad \dots \text{Ec 7}$$

$$z = z_o + v_y t - \frac{1}{2} g t^2 \quad \dots \text{Ec 8}$$

Despejando el valor de "t"

$$z = z_o + \frac{v_y}{v_x} * x - \frac{1}{2 v_x^2} g x^2 \quad \dots \text{Ec 9}$$

$$v_x = v \cos \theta_c \quad \dots \text{Ec 10}$$

$$v_y = v \sin \theta_c \quad \dots \text{Ec 11}$$

$$\frac{v_y}{v_x} = \tan \theta_c = m \quad \dots \text{Ec 12}$$

Reemplazando en la Ec (9) con Ec (12):

$$z = z_o + \tan \theta_c * x - \frac{1}{2 (v \sin \theta_c)^2} g x^2 \quad \dots \text{Ec 13}$$

LA U.S.B.R da la siguiente ecuación:

$$z = z_o + \tan\theta_c * x - \frac{X^2}{K[4(d + h_v)\cos^2\phi_c]} \quad \dots \text{Ec 14}$$

Para representar un chorro teórico tomaremos el valor de $K = 1$ para un caso real se considera el valor de 0.9 tomando en cuenta la turbulencia, resistencia de aire.

Podemos apreciar que en la ecuación de la U.S.B.R toma el siguiente reemplazo en su ecuación

$$\frac{v^2}{g} = 2(d + h_v) \quad \dots \text{Ec 15}$$

Teniendo:

$$1 + \tan^2\phi_c = \sec^2\phi_c \quad \dots \text{Ec 16}$$

Partiendo de la Ec (13).

$$z = z_o + \tan\theta_c * x - \frac{g\sec^2\phi_c}{2v^2} x^2 \quad \dots \text{Ec 17}$$

$$z = z_o + \tan\theta_c * x - (1 + \tan^2\phi_c) \frac{g}{2v^2} x^2 \quad \dots \text{Ec 18}$$

$$z = z_o + mx - (1 + m^2) \frac{g}{2v^2} x^2 \quad \dots \text{Ec 19}$$

Para tener la distancia máxima horizontal en cualquier ángulo tenemos que:

$Z=0$ y $X=D$ el valor de D es la distancia horizontal con respecto al borde del cucharón hasta donde termina el chorro.

$$0 = z_0 + mD - (1 + m^2) \frac{g}{2v^2} D^2 \quad \dots \text{Ec 20}$$

$$0 = 2z_0v^2 + 2mDv^2 - gD^2 - gD^2m^2 \quad \dots \text{Ec 21}$$

$$0 = gD^2m^2 - 2mDv^2 + gD^2 - 2z_0v^2 \quad \dots \text{Ec 22}$$

La solución de la ecuación con la formula general dando la siguiente expresión:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \dots \text{Ec 23} \quad \text{Simplificando:}$$

$$m = \frac{2Dv^2 \pm \sqrt{(2Dv^2)^2 - 4gD^2(gD^2 - 2v^2z_0)}}{2gD^2} \quad \dots \text{Ec 24}$$

$$m = \frac{2Dv^2 \pm 2D\sqrt{v^2(v^2 + 2gz_0) - g^2D^2}}{2gD^2} \quad \dots \text{Ec 25}$$

Numero de soluciones posibles:

$$b^2 - 4ac > 0 \quad \text{Dos soluciones}$$

$$b^2 - 4ac = 0 \quad \text{Una solucion doble}$$

$$b^2 - 4ac < 0 \quad \text{Sin solucion}$$

La expresión $v^2(v^2 + 2gz_0) - g^2D^2 > 0$ es mayor a cero tendrá dos soluciones por ese motivo una distancia D puede ser alcanzada por dos pendientes m_1 y m_2 . Cuando la expresión es igual a cero la distancia D será la máxima.

$$m = \frac{2Dv^2}{2gD^2} \dots \text{Ec 26}$$

$$m = \frac{v^2}{gD_{max}} \dots \text{Ec 27}$$

$$v^2(v^2 + 2gz_0) = g^2D_{max}^2 \dots \text{Ec 28}$$

$$D_{max} = \frac{v^2}{g} \sqrt{1 + \frac{2gz_0}{v^2}} \dots \text{Ec 29}$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2gz_0}{v^2}}} \dots \text{Ec 30}$$

Para tener la mayor pendiente se debe cumplir las siguientes condiciones:

$$z_0 = 0, \phi = 45^\circ, D = \frac{v^2}{g}$$

En el salto en esquí dichas condiciones son poco probables por qué se necesita de una gran altura para tener estas condiciones sin embargo algunos autores dan rangos de ángulos de salida del cucharón.

Tabla 9. Ángulos Admisibles para el cucharón

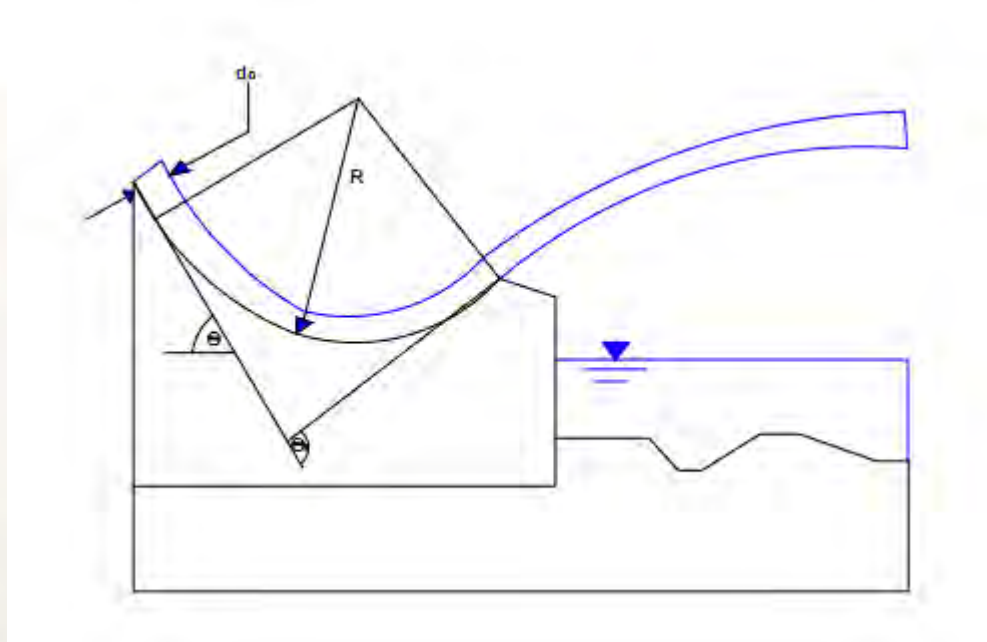
| AUTORES | ÁNGULOS |
|---|-----------|
| Edward Elevatorsky | 20° - 30° |
| Secretaria de agricultura y RRHH - Mexico | 30° - 45° |
| Nuray Denli Tokyay | 20° - 40° |
| Rajan y Shivashankara | 20° - 40° |
| Mason | 20° - 35° |
| Khatsuria | 20° - 40° |

Fuente: Elaboración propia

ANGULO DE SALIDA DEL CUCHARON:

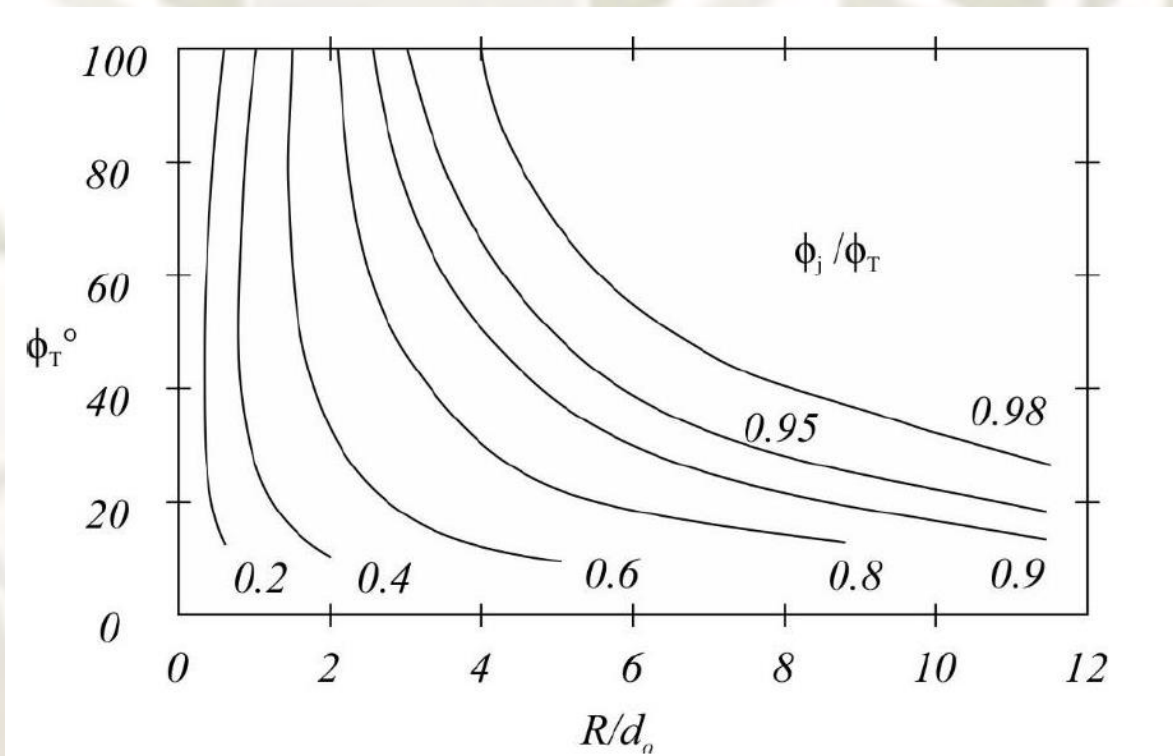
Para determinar el ángulo de salida al final del cucharon se toma como referencia:

Figura31: Parámetros Geométricos del chorro.



Fuente: USBR-Elaboración propia (2020, Pg,68)

Figura32: Abaco Angulo de salida del chorro.



Fuente: Vischer y Hager, (1995 pág. 140).

Con el esquema geométrico del chorro y el ábaco para determinar el ángulo de salida según el criterio de Orlov, el cual está determinado por el radio de curvatura del cucharón y el calado de aproximación del flujo.

Para una relación R/d pequeña, $F_{ro} > 5(\text{sen}\theta)^{0.5}$ tenemos:

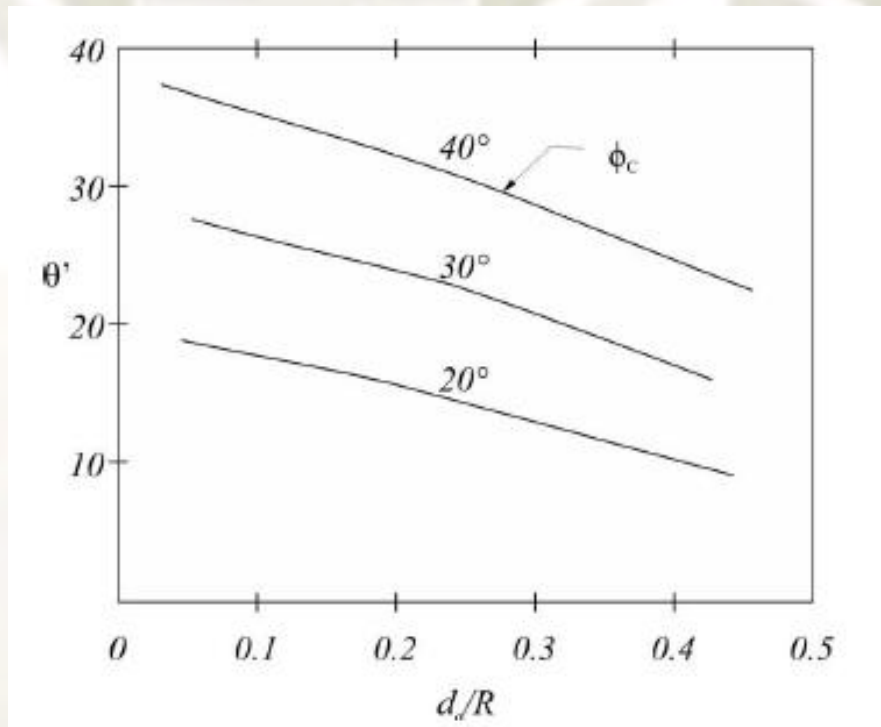
$$\theta' = \Phi_j - \theta$$

Para una relación R/d grande, $\Phi_T = \Phi_j, 5(\text{sen}\theta)^{0.5}$ tenemos:

$$\theta' = \Phi_T - \theta$$

- θ' : Angulo de despegue del chorro (°)
- Φ_c : Angulo de salida del cucharón (°)
- Φ_T : Angulo de deflexión del cucharón (°)
- Φ_j : Angulo de salida del chorro (°)
- θ : Angulo de inclinación del fondo del canal de aproximación (°)
- d_o : Calado de aproximación (m)

Figura33: Angulo de salida del chorro.



Fuente: Ábaco para determinar el ángulo de salida del chorro del salto de esquí convencional Khatsuria, (2005, pág. 447)

4. CAPÍTULO IV: “Determinación del perfil geométrico”

4.1. Determinación de la altura de diseño.

Con las condiciones geográficas de la represa de Condoroma en la región Arequipa se planea modelar el vertedero que cumpla con el caudal máximo anual de operación tomado en la represa de Condoroma en el informe “Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca Informe Final”.

El modelo a escala reducida está a superficie libre, eso significa que cuenta con mayor influencia de las fuerzas gravitatorias por lo tanto se usa la semejanza con el número de Froud explicado en capítulos anteriores como resultado se obtuvo una escala 1/25 basándose en el caudal de operación del modelo (Represa de Condoroma) a 280 m³/s y el caudal de operación del modelo a escala reducida que es de 100 l/s (0.1m³/s).

Paso-1:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} = 1/25$$

$$Q_m = 280 \text{ m}^3/\text{s} \left(\frac{1}{25}\right)^{5/2} = 0.0896 \text{ m}^3/\text{s} = 89.6 \text{ l/s}$$

$$Q = \frac{Q_m}{Q_p} = \lambda^{5/2}$$

De acuerdo a la similitud del número de Froud tenemos la semejanza entre el modelo y el prototipo:

Paso-2:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} = 1/25$$

$$L_m = 25 * 0.457 = 11.425 \text{ m}$$

$$L = \frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{25}$$

La longitud de coronación a escala real

Paso-3:

Cálculo de caudal utilizando la semejanza de Froud de acuerdo a la escala señalada:

Caudal – (prototipo) $Q_P = Q_m * \left(\frac{Esc^{5/2}}{1000}\right)$

$$Q_P = 100 * \left(\frac{25^{5/2}}{1000}\right) = 312 \text{ m}^3/\text{s}$$

Paso-4

Carga total sobre el vertedero (H_o), utilizando el caudal del modelo a escala reducida asumiendo un $C_I=2$ y L anteriormente calculado.

De la formula $Q = H_o^{3/2} * CL = \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3}$

$$H_o = \left(\frac{312}{2 * 11.425}\right)^{2/3} = 5.71 \text{ m}$$

Paso-5:

Hallando el C real por medio de iteraciones y ábacos. Usando los siguientes datos:

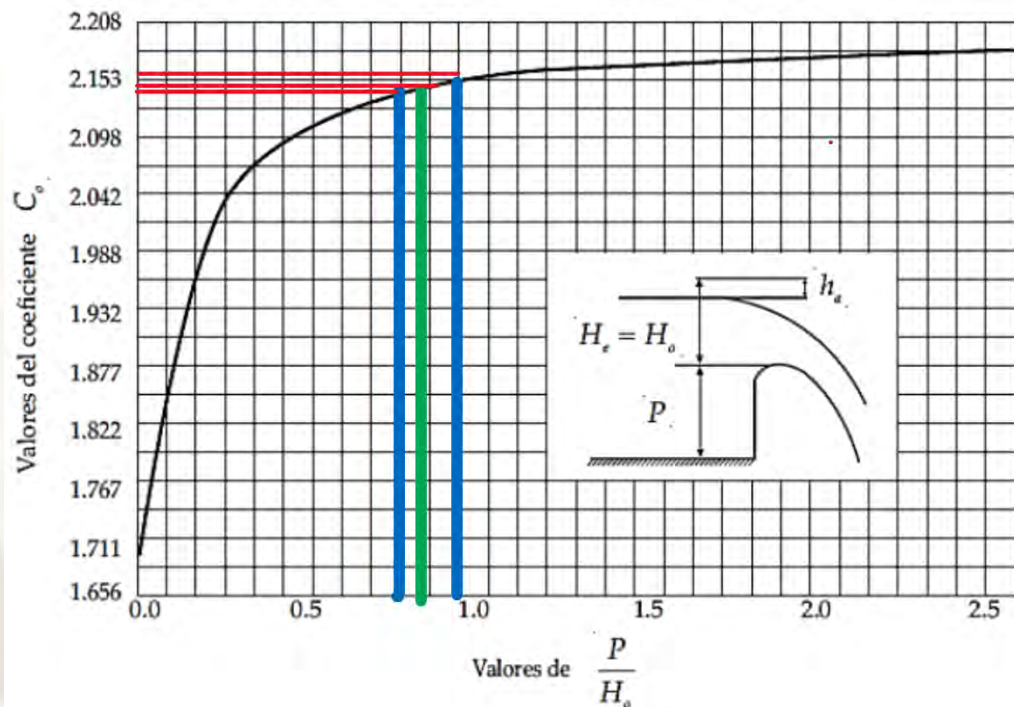
DATOS:

1. $P = 0.20 * 25 = 5m$
2. $H_o = 5.71m$
3. $C_I = 2$

La relación (P/H_o) con respecto al Abaco y hallar el C real correspondiente al diseño:

Relacion:

$$\frac{P}{H_o} = \frac{5}{5.71} = 0.876$$



Paso-6:

Se vuelve a hallar la carga sobre el vertedero con el nuevo C calculado y una nueva relación de P/H_o que nos ayudara a definir la geometría del vertedero

De la formula

$$Q = H_o^{3/2} * CL = \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3}$$

$$H_o = \left(\frac{312}{2.139 * 11.425}\right)^{2/3} = 5.46 \text{ m}$$

Relacion:

$$\frac{P}{H_o} = \frac{5}{5.46} = 0.915$$

4.2. Geometría de la cresta aguas arriba.

Es la parte de la estructura con la que inicia el flujo durante su recorrido para lo cual se deben desarrollar caudales adecuados, que permitan ajustar el perfil de la lámina de agua a la geometría del vertedero.

Teniendo en cuenta los parámetros de la USBR para lo cual se mira afectado por el paramento, la carga de agua encima del vertedero, la altura del vertedero respecto al canal.

Paso-1:

A continuación, tenemos que calcular la longitud efectiva (L) con los criterios expuestos en la figura 23 con el abaco:

DATOS:

1. Lefectiva = 9.24 (incognita)
2. $H_o = 5.46$ m
3. N (# de pilas) = 0
4. K_p (Coef. contraccion de pilas) = 0
5. K_a (Coef. contraccion de estribos 90°) = 0.2
6. L' (longitud neta) = 11.425

De la formula

$$L = L' - 2 * (N * K_p + K_a) * H_o$$

$$L = 11.425 - 2 * (0.0 + 0.2) * 5.46$$
$$L = 9.24 \text{ m}$$

Paso-2:

Obtención del perfil estándar tipo WES: mediante la relación que existe entre la altura de velocidad de aproximación (h_a) y (h_o), con el siguiente procedimiento:

Caudal por unidad
de longitud

$$q = \frac{Q}{L}$$

$$q = \frac{311.78}{9.24} = 33.74 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

Paso-3:

Determinando los valores (X_C, Y_C, R_1, R_2) a partir de la altura de velocidad de aproximación (h_a) y tomando los ábacos de la relación ($\frac{h_a}{H_0}$).

Velocidad de aproximación (V_a)

$$V_a = \frac{q}{p + H_0}, h_a = \frac{V_a^2}{2g}$$

$$V_a = \frac{33.74}{5 + 5.46} = 3.23 \text{ m/s}$$

$$h_a = \frac{3.23^2}{2.981} = 0.532 \text{ m}$$

Paso-4:

Determinando valores

$$\frac{h_a}{H_0} = \frac{0.532}{5.46} = 0.097$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0.20; R_2 = 1.092, \frac{R_1}{H_0} = 0.475; R_1 = 2.59$$

$$\frac{Y_C}{H_0} = 0.084; Y_C = 0.4586$$

$$\frac{X_C}{H_0} = 0.235; X_C = 1.28$$

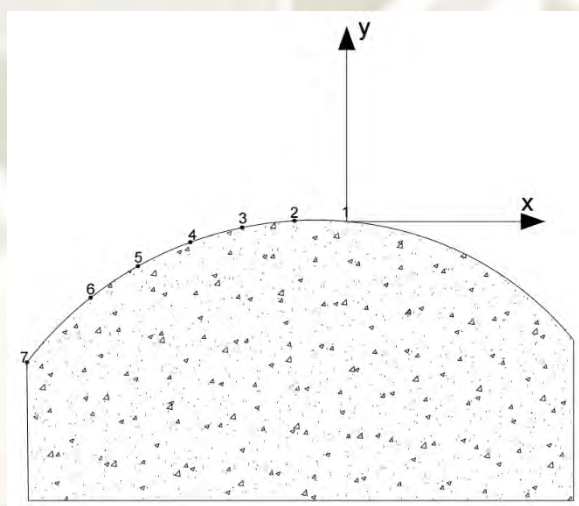
Para hallar los puntos aguas arriba de la creta se toma en consideración los ($X_m; Y_m$) en función de la altura de diseño para tener los puntos límites.

De la ecuación:

$$X_m = 0.282 * H_0$$

$$X_m = 0.282 * 5.46 = 1.54 \text{ m}$$

Grafico 2. Geometría parte superior de la cresta



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Puntos en la parte superior de la cresta

| N° | X (m) | Y (m) |
|----|-------|--------|
| 1 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | -0.25 | -0.009 |
| 3 | -0.50 | -0.033 |
| 4 | -0.75 | -0.069 |
| 5 | -1.00 | -0.118 |
| 6 | -1.25 | -0.178 |
| 7 | -1.54 | -0.263 |

Fuente: Elaboración propia

4.3. Geometría Aguas debajo de la cresta hasta el punto de tangencia.

Paso-1:

Trazo del cuadrante aguas abajo de la cresta haciendo uso de ábacos y de la relación.

*Determinando
valores de (n, K)*

$$\frac{h_a}{H_o} = \frac{0.532}{5.46} = 0.097$$

$$n = 1.843, K = 0.496$$

Paso-2:

Calculando la geometría aguas abajo de la cresta se definirá mediante la ecuación:

De la ecuación:

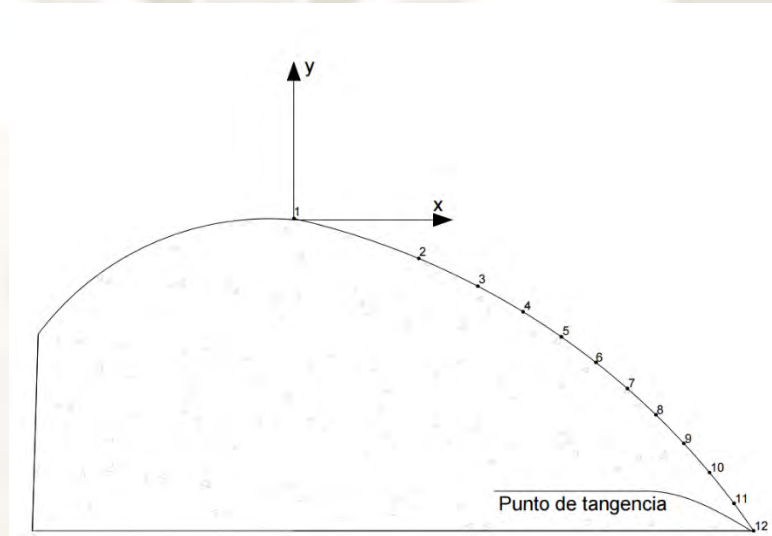
$$\frac{y}{H_o} = -K * \left(\frac{x}{H_o}\right)^n$$

$$\frac{y}{5.46} = -0.496 * \left(\frac{x}{5.46}\right)^{1.843}$$

Paso-3:

A continuación, asignamos valores en Y para tener su correspondiente en el eje X teniendo como límite el valor de P en el eje Y.

Grafico 3. Geometría parte inferior de la cresta



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Puntos en la parte inferior cresta

| Nº | X (m) | Y (m) |
|----|-------|-------|
| 1 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 2.183 | -0.5 |
| 3 | 3.180 | -1.0 |
| 4 | 3.963 | -1.5 |
| 5 | 4.632 | -2.0 |
| 6 | 5.228 | -2.5 |
| 7 | 5.772 | -3.0 |
| 8 | 6.275 | -3.5 |
| 9 | 6.747 | -4.0 |
| 10 | 7.192 | -4.5 |
| 11 | 7.615 | -5.0 |
| 12 | 7.96 | -5.38 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-4:

Para conseguir el punto de tangencia entre la cresta aguas abajo y comenzar con la estructura conocida como rápida se tiene que aplicar la derivada.

De la ecuacion:
$$\frac{y}{5.46} = -0.496 * \left(\frac{x}{5.46}\right)^{1.843}$$

$$Y = -0.118 * x^{1.843}$$

Paso-5:

Para el valor de talud en la rápida está a criterio del diseñador pudiendo tomar valores entre 0.6:1 a 0.85:1 como recomendación para este caso se tomará 0.8:1

De la ecuacion:
$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan(\alpha) = \frac{1}{0.8} = 1.25$$

De la ecuacion:
$$\frac{dy}{dx} = 0.217 * x^{0.843} = 1.25$$

De la ecuacion:
$$X_t = 7.96 \text{ m}, Y_t = 5.398 \text{ m}$$

4.4. Geometría de la rápida.

Paso-1:

De acuerdo con diseños estándares el salto en esquí se tomará a un 30% de la altura total del vertedero por lo cual tendremos:

De la ecuacion:
$$P = 5 \text{ m}$$

$$n_c = \frac{30}{100} * 5 = 1.5 \text{ m}$$

Paso-2:

para determinar el segmento de la rápida de diferentes investigadores han proporcionado ecuaciones distintas la que usaremos es la fórmula de Khatsuria (2005).

De la ecuacion:

$$R = \sqrt{h_o * Y_{c-c}}$$

$$R = \sqrt{5.46 * (5 - 1.5)} = 4.37m$$

Paso-3

Definir el punto de tangencia entre la rápida y el inicio del cucharon para lo cual iguala las ecuaciones de la rápida con la del radio.

De la ecuacion:

$$R = X^2 + Y^2$$

$$X = 2.05 m$$

Punto de tangencia coordenadas:

 Punto de tangencia

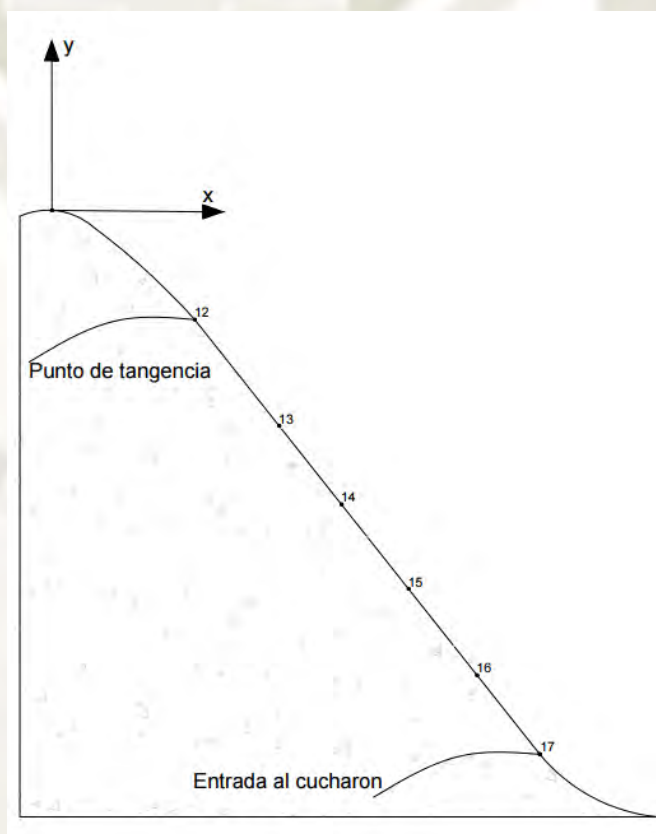
$$P_{tr} = (10.01, 8.23)$$

Tabla 12. Puntos geométricos de la rápida.

| N° | X (m) | Y (m) |
|----|-------|--------|
| 12 | 7.96 | -5.398 |
| 13 | 8.00 | -5.44 |
| 14 | 8.50 | -6.09 |
| 15 | 9.00 | -6.76 |
| 16 | 9.50 | -7.48 |
| 17 | 10.01 | -8.23 |

Fuente: Elaboración Propia

Grafico 4. Geometría de la rápida



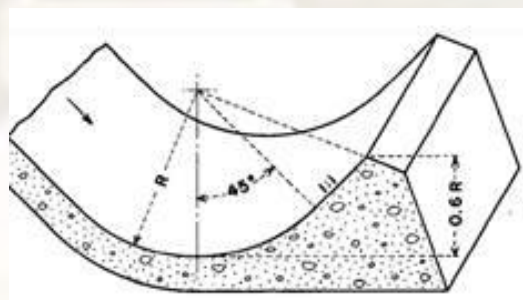
Fuente: Elaboración Propia

4.5. Geometría de la cubeta deflectora.

Paso-1

Para determinar la geometría de la cubeta deflectora según los criterios de diseño de la (USBR) para cubetas lisas sin dentado tendremos la siguiente figura para aplicar la tabulación.

Diseño geométrico cubeta deflectora



Fuente: USBR

Paso-2

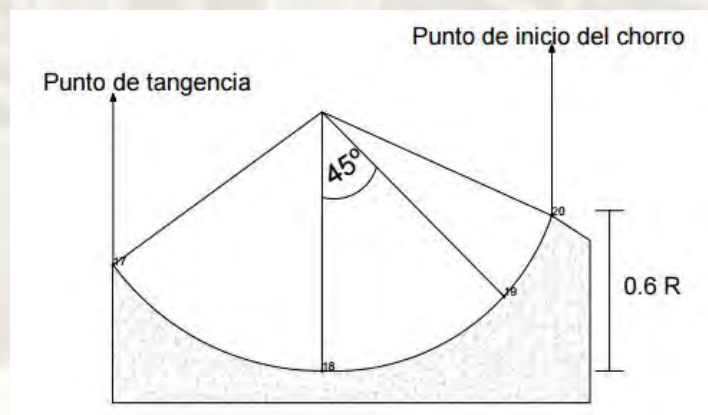
- Comenzamos desde el punto de tangencia con el radio hallado de 4.37 m para posteriormente formar un Angulo de 90° en el punto más bajo de la circunferencia.
- Para después abrir un arco de circunferencia de 45° como el de la figura y por último darle un talud de 1:1 como dice las recomendaciones de la (USBR) para terminar con una altura igual a 0.6 del radio.
- Tabular los puntos antes mencionados partiendo del punto de tangencia entre la rápida y el cucharón.

Tabla 13. Puntos geométricos cubeta deflectora

| N° | X (m) | Y (m) |
|----|-------|--------|
| 17 | 10.01 | -8.23 |
| 18 | 13.54 | -10.03 |
| 19 | 16.62 | -8.77 |
| 20 | 17.43 | -7.41 |

Fuente: Elaboración Propia

Grafico 5. Geometría cubeta deflectora

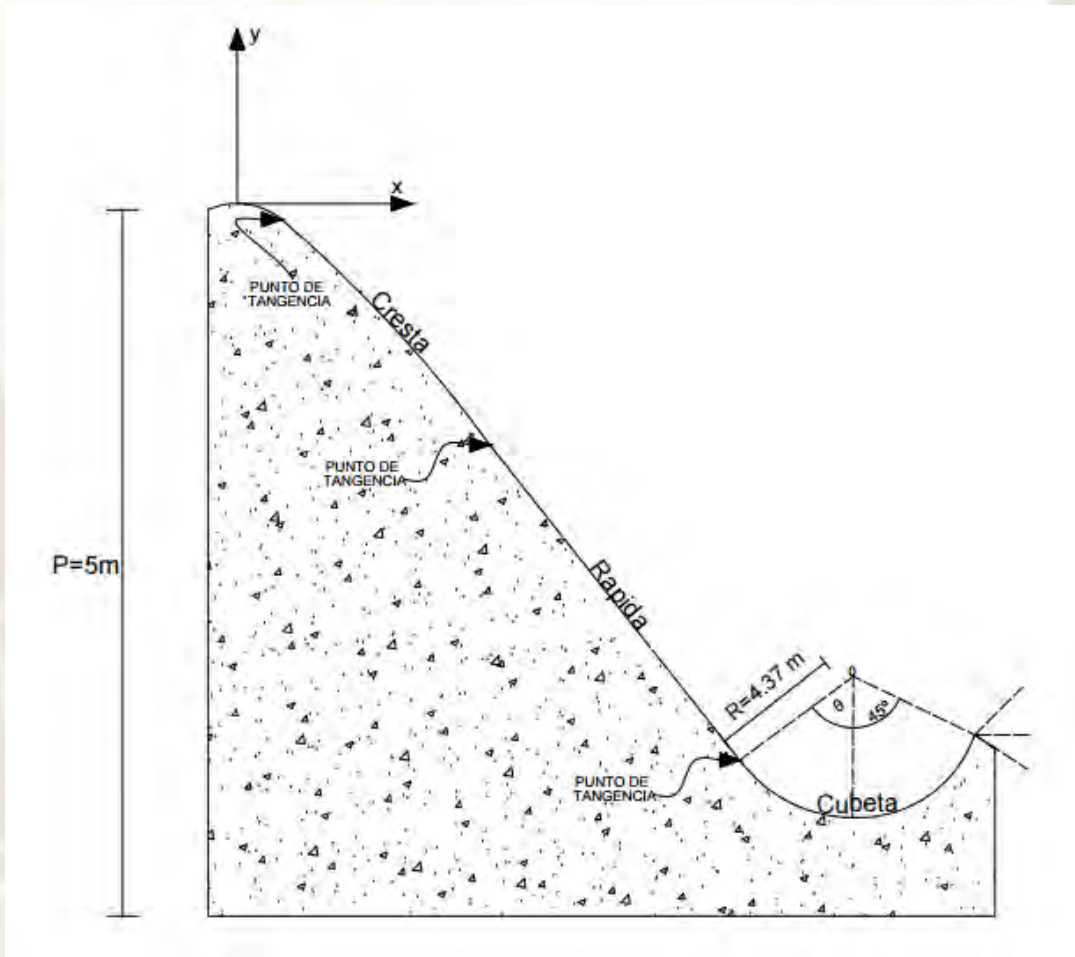


Fuente: Elaboración Propia

4.6. Dibujo Geométrico del salto en SKY por dispersión:

Uniendo todas las partes anteriormente tabuladas tendremos un dibujo geométrico con dimensiones reales para el salto en SKY por dispersión datos hallados partiendo de la geometría y caudal de operación del modelo a escala re

Grafico 6. Diseño geométrico entero



Fuente: Elaboración Propia

5.1. Análisis teórico cresta aguas arriba y aguas abajo.

Paso-1

Haciendo uso de la investigación de gilberto Sotelo “Perfil del flujo sobre un vertedor tipo cimacio y su comprobación” se hallará las ecuaciones adimensionales expuestas en el siguiente cuadro que tienen como datos la geometría del vertedero y la altura de diseño.

Tabla 14. Ecuaciones adimensionales para el perfil de flujo

| N.º | Formula |
|-----|--|
| 1 | $\zeta/H_d = -1/2 \left(x/H_d\right)^{1.85}$ |
| 2 | $\tan \theta = \frac{d\zeta}{dx} = -0.925 \left(x/H_d\right)^{0.85}$ |
| 3 | $KH_d = -\frac{0.73625}{\left(x/H_d\right)^{0.15} [1+0.855625 \left(x/H_d\right)^{1.7}]^{3/2}}$ |
| 4 | $\frac{H_d^2 \frac{dk}{dx}}{KH_d} = -\frac{0.15}{x/H_d} \left[\frac{1+15.40125 \left(x/H_d\right)^{1.7}}{1+0.855625 \left(x/H_d\right)^{1.7}} \right]$ |
| 5 | $\frac{KH_d}{\cos \theta} (FKH_d)^2 = -1/2 \frac{[(1-X_c) \ln(1-X_c)]^3}{\ln(1-X_c)+1}$ |
| 6 | $\frac{KH_d}{\cos \theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right) = X_c - 1/2 \frac{(1-X_c) \ln(1-X_c)}{\ln(1-X_c)+1}$ |
| 7 | $f\left(\frac{x}{H_d}; \frac{H}{H_d}\right) = (1-X_c) \frac{d\zeta}{dx} + \left[2 \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right) - 3 \frac{\cos \theta}{KH_d} X_c \right] \frac{H_d^2 \frac{dk}{dx}}{KH_d} = 0$ |
| 8 | $\frac{P_o}{gpH_d} = \left[\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right] - \left[\frac{FKH_d}{\ln(1-x)} \right]^2$ |

Fuente: Perfil del flujo sobre un vertedor tipo cimacio y su comprobación Gilberto Sotelo-Ávila, elaboración propia

Tabla 15. Resultados de las ecuaciones adimensionales

| | N.º | $\frac{X}{H_d}$ | $\frac{\zeta}{H_d}$ | $\tan \theta$ | $\cos \theta$ | kH_d | $\frac{kH_d}{\cos \theta}$ | $\frac{H_d^2 \frac{dk}{dx}}{KH_d}$ |
|---|-----|-----------------|---------------------|---------------|---------------|---------|----------------------------|------------------------------------|
| | | | | | | | | |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.281 | -0.0481 | -0.3155 | 0.9537 | -0.8245 | -0.8645 | -1.35 |
| | 6 | 0.2289 | -0.0327 | -0.2641 | 0.9672 | -0.8865 | -0.9146 | -1.38 |
| | 5 | 0.1832 | -0.0216 | -0.2186 | 0.901 | -1.39 | -1.41 | -1.45 |
| | 4 | 0.1374 | -0.0127 | -0.0127 | 0.9854 | -1.014 | -1.029 | -1.62 |
| | 3 | 0.0916 | -0.006 | -0.006 | 1.00 | -1.10 | -1.1 | -2.041 |
| | 2 | 0.0459 | 0.0017 | -0.0017 | 1.00 | -1.24 | -1.24 | -3.526 |
| | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.399 | -0.091 | -0.4236 | 0.9207 | -0.704 | -0.7646 | -1.34 |
| | 3 | 0.582 | -0.1837 | -0.584 | 0.8636 | -0.549 | -0.6356 | -1.372 |
| | 4 | 0.726 | -0.276 | -0.705 | 0.8173 | -0.451 | -0.5518 | -1.379 |
| | 5 | 0.848 | -0.368 | -0.804 | 0.779 | -0.3815 | -0.4897 | -1.359 |
| | 6 | 0.957 | -0.461 | -0.891 | 0.746 | -0.329 | -0.441 | -1.336 |
| | 7 | 1.056 | -0.553 | -0.968 | 0.718 | -0.288 | -0.401 | -1.311 |
| | 8 | 1.149 | -0.646 | -1.04 | 0.6931 | -0.256 | -0.369 | -1.285 |
| | 9 | 1.235 | -0.738 | -1.107 | 0.670 | -0.229 | -0.342 | -1.280 |
| | 10 | 1.317 | -0.832 | -1.169 | 0.65 | -0.207 | -0.318 | -1.232 |
| | 11 | 1.39 | -0.919 | -1.224 | 0.633 | -0.189 | -0.298 | -1.207 |
| | 12 | 1.458 | -1.00 | -1.274 | 0.617 | -0.175 | -0.284 | -1.186 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-2:

Dos organizaciones Para la investigación en EE. UU (WES; U.S. Army Corps of Engineers “1978”) por sus siglas en inglés, realizaron pruebas para el perfil geométrico del cimacio con un paramento vertical y velocidades de aproximación.

Dando como resultado un factor adimensional “F” que representa las relaciones entre el flujo y el perfil geométrico con el coeficiente de descarga para las diferentes condiciones establecidas.

Tabla 16. Ecuación para hallar el coeficiente y factor de flujo

| N.º | Formula |
|-----|---|
| 1 | $F = \frac{C}{\sqrt{2g}} \left(\frac{H_o}{H_d}\right)^{3/2}$ |
| 2 | $C = 0.49867 \sqrt{2g} \left(\frac{H_o}{H_d}\right)^{0.1316}$ |

Fuente: Perfil del flujo sobre un vertedor tipo cimacio y su comprobación

Gilberto Sotelo-Ávila

Datos Teóricos relacionados con el factor F y el coeficiente de descarga para diferentes relaciones de cargas de operación “ $\frac{H_o}{H_d}=0.5, \frac{H_o}{H_d}=1.0, \frac{H_o}{H_d}=1.33$ ”.

Tabla 17. Resultados del coeficiente y factor de flujo

| $\frac{H_o}{H_d}$ | C | F |
|-------------------|-------|------|
| 0.5 | 2.016 | 0.16 |
| 1.0 | 2.21 | 0.50 |
| 1.33 | 2.293 | 0.78 |

Fuente: Perfil del flujo sobre un vertedor tipo cimacio y su comprobación
Gilberto Sotelo-Ávila, elaboración propia

Donde:

- $\frac{H_o}{H_d}$: Relación teórica entre las cargas de diseño.
- C : Coeficiente de descarga.
- F : Factor adimensional que relaciona el flujo con cargas de operación y coeficiente

Paso-3:

Determinación teórica del flujo de la cresta aguas arriba y aguas abajo para una relación Determinación de la sección crítica cuando el factor “f” llega a 0 cuando la altura y el caudal son críticos.

Tabla 18. Flujo aguas arriba Relación: $\frac{H}{H_d} = 0.5$

| | $Q_{cta}, H = H_{crit}$ | | | $H_{cta}, Q = Q_{crit}$ | | |
|--|-------------------------|---|-------------------------------|---|-----------------------|--------------------|
| | | | $F = 0.16$ | | $\frac{H}{H_d} = 0.5$ | |
| N.º | $\frac{X}{H_d}$ | $(FKH_d)^2$ $\frac{KH_d}{\cos\theta}(FKH_d)^2$ | X_c $\frac{H}{H_d}$ f | $\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d}$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right)$ | X_c f | |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ARRIBA “ SECCIÓN-CRITICA” | 7 | 0.281 | 0.017 -0.0147 | -0.3204 0.6654 0.3627 | 0.5481 0.4738 | -0.2894 0.03265 |
| | 6 | 0.2289 | 0.020 -0.0183 | -0.3441 0.6691 0.3754 | 0.5327 0.4883 | -0.3196 0.0258 |
| | 5 | 0.1832 | 0.0495 -0.0698 | -0.35 0.7883 0.0213 | 0.5216 0.7355 | -0.4085 0.01435 |
| | 4 | 0.1374 | 0.0263 -0.0271 | -0.39 0.6814 0.04291 | 0.5127 0.5276 | -0.3171 0.01981 |
| | 3 | 0.0916 | 0.031 -0.0341 | -0.4181 0.6984 0.05697 | 0.506 0.5566 | -0.8314 0.00 |
| | 2 | 0.0459 | 0.0394 -0.0489 | -0.4662 0.7281 0.00 | 0.5017 0.6222 | -0.3619 0.04697 |
| | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración: propia

Flujo aguas debajo de la cresta con la relación $\frac{H}{H_d} = 0.5$

Tabla 19. Flujo aguas abajo Relación: $\frac{H}{H_d} = 0.5$

| N.º | $Q_{cta}, H = H_{crit}$ $F = 0.16$ | | | $H_{cta}, Q = Q_{crit}$ $\frac{H}{H_d} = 0.5$ | |
|-----|---------------------------------------|---|-------------------------------|---|------------------|
| | $\frac{X}{H_d}$ | $(FKH_d)^2$ $\frac{KH_d}{\cos\theta}(FKH_d)^2$ | X_c $\frac{H}{H_d}$ f | $\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d}$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right)$ | X_c f |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.3112 |
| 2 | 0.399 | 0.0127 -0.097 | -0.2785 0.602 -0.9345 | 0.591 -0.451 | -0.5032 |
| 3 | 0.582 | 0.047 -0.049 | -0.2309 0.7623 -0.8115 | 0.6837 -0.4346 | 0.297 -0.625 |
| 4 | 0.726 | 0.052 -0.29 | -0.1847 0.8003 -0.757 | 0.776 -0.4282 | 0.295 -0.8416 |
| 5 | 0.848 | 0.037 -0.018 | -0.157 0.8659 -0.608 | 0.868 -0.4251 | 0.293 -0.957 |
| 6 | 0.957 | 0.028 -0.012 | -0.1368 0.945 -0.459 | 0.961 -0.4238 | 0.292 -0.757 |
| 7 | 1.056 | 0.021 -0.0008 | -0.1192 1.0098 -0.31 | 1.053 -0.4224 | 0.2916 -0.608 |
| 8 | 1.149 | 0.017 -0.0006 | -0.1050 1.0951 -0.161 | 1.146 -0.429 | 0.2914 -0.458 |
| 9 | 1.235 | 0.013 -0.0004 | -0.0942 1.1588 -0.012 | 1.238 -0.4234 | 0.2918 -0.31 |
| 10 | 1.317 | 0.011 -0.0003 | -0.0855 1.242 0.286 | 1.332 -0.4236 | 0.2916 -0.161 |
| 11 | 1.39 | 0.0009 -0.0003 | -0.0835 1.3565 0.435 | 1.419 -0.4229 | 0.2914 -0.12 |
| 12 | 1.458 | 0.0008 -0.0002 | -0.0746 1.3996 0.584 | 1.5 -0.42 | 0.2936 -0.112 |

GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ABAJO
" SECCIÓN-CRITICA "

Fuente: Elaboración: propia

Paso-4:

Flujo aguas arriba para la relación $\frac{H}{H_d} = 1.00$

Tabla 20. Flujo aguas abajo Relación: $\frac{H}{H_d} = 1.00$

| N.º | $Q_{cta}, H = H_{crit}$ $F = 0.5016$ | | | $H_{cta}, Q = Q_{crit}$ $\frac{H}{H_d} = 1.00$ | | |
|---|---|---|--------------------------|---|-----------------|--------------------|
| | $\frac{X}{H_d}$ | $(FKH_d)^2$ $\frac{KH_d}{\cos\theta}(FKH_d)^2$ | $\frac{X_c}{H_d}$ f | $\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d}$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right)$ | X_c f | |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ARRIBA " SECCIÓN-CRITICA " | 7 | 0.281 | 0.17 -0.147 | -0.603 0.9466 0.73 | 1.048 -0.906 | -0.6361 -0.9942 |
| | 6 | 0.2289 | 0.196 -0.179 | -0.6412 0.9684 0.584 | 1.032 -0.946 | -0.665 -0.88 |
| | 5 | 0.1832 | 0.483 -0.681 | -0.458 0.9369 0.435 | 1.016 -1.43 | -1.015 -0.435 |
| | 4 | 0.1374 | 0.257 -0.267 | -0.267 0.3646 0.286 | 1.012 -1.04 | -0.7334 -0.286 |
| | 3 | 0.0916 | 0.3027 -0.333 | -0.773 0.9902 0.00 | 1.006 -1.10 | -0.7811 -0.137 |
| | 2 | 0.0459 | 0.384 -0.4762 | -0.8609 0.9801 0.86 | 1.001 -1.242 | -0.878 0.00 |
| | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración: propia

- Flujo aguas abajo para la relación $\frac{H}{H_d} = 1.00$

Tabla 21. Flujo aguas abajo Relación: $\frac{H}{H_d} = 1.00$

| N.º | $Q_{cta}, H = H_{crit}$ $F = 0.5016$ | | | $H_{cta}, Q = Q_{crit}$ $\frac{H}{H_d} = 1.00$ | |
|-----|---|---|-------------------------------|---|-------------------|
| | $\frac{X}{H_d}$ | $(FKH_d)^2$ $\frac{KH_d}{\cos\theta}(FKH_d)^2$ | X_c $\frac{H}{H_d}$ f | $\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d}$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right)$ | X_c f |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.5845 |
| 2 | 0.399 | 0.1239 -0.094 | -0.525 0.8916 -0.161 | 1.091 -0.8342 | -0.161 |
| 3 | 0.582 | 0.0754 -0.0479 | -0.4262 0.7786 -0.31 | 1.018 -0.752 | -0.5258 -0.31 |
| 4 | 0.726 | 0.0509 -0.0281 | -0.365 0.79 -0.459 | 1.027 -0.567 | -0.3934 -0.454 |
| 5 | 0.848 | 0.0364 -0.0174 | -0.3121 0.555 -0.608 | 1.336 -0.669 | -0.466 -0.608 |
| 6 | 0.957 | 0.0271 -0.012 | -0.2753 0.4391 -0.757 | 1.461 -0.664 | -0.4483 -0.757 |
| 7 | 1.056 | 0.0207 -0.00084 | -0.2457 0.3242 -0.906 | 1.553 -0.6336 | -0.4409 -0.906 |
| 8 | 1.149 | 0.0164 -0.0006 | -0.1050 0.2279 -1.055 | 1.646 -0.6074 | -0.422 -1.05 |
| 9 | 1.235 | 0.0131 -0.0004 | -0.0914 0.3424 -1.204 | 1.738 -0.5972 | -0.414 -1.204 |
| 10 | 1.317 | 0.0107 -0.0003 | -0.0332 0.2421 -1.353 | 1.0832 -0.3445 | -0.236 -1.353 |
| 11 | 1.39 | 0.00089 -0.0002 | -0.0728 0.144 -1.502 | 1.019 -0.3037 | -0.2048 -1.502 |
| 12 | 1.458 | 0.00077 -0.0002 | -0.0728 0.144 -1.651 | 1.02 -0.567 | -0.393 -1.65 |

GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ABAJO
" SECCIÓN-CRITICA "

Fuente: Elaboración: propia

Paso-5:

Flujo aguas arriba para la relación $\frac{H}{H_d} = 1.33$

Tabla 22. Flujo aguas arriba Relación: $\frac{H}{H_d} = 1.33$

| | $Q_{cta}, H = H_{crit}$ $F = 0.7895$ | | | $H_{cta}, Q = Q_{crit}$ $\frac{H}{H_d} = 1.33$ | | |
|---|---|-----------------|--|---|---|-------------------|
| | N.º | $\frac{X}{H_d}$ | $(FKH_d)^2$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} (FKH_d)^2$ | X_c $\frac{H}{H_d}$ f | $\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d}$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right)$ | X_c f |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ARRIBA " SECCIÓN-CRITICA " | 7 | 0.281 | 0.4658 -0.402 | -0.277 0.4179 -0.362 | 1.3381 -1.1913 | -0.842 -0.8047 |
| | 6 | 0.2289 | 0.489 -0.444 | -0.3098 0.4571 -0.2984 | 1.3627 -1.239 | -0.876 -0.459 |
| | 5 | 0.1832 | 0.543 -7654 | -0.5353 0.5214 0.161 | 1.356 -1.396 | -1.366 -0.36 |
| | 4 | 0.1374 | 0.649 -0.659 | -0.4593 0.6281 0.00 | 1.3427 -1.3816 | -0.979 -0.137 |
| | 3 | 0.0916 | 0.754 -0.829 | -0.5812 0.7482 0.137 | 1.336 -1.469 | -1.044 -0.0 |
| | 2 | 0.0459 | 0.958 -0.949 | -0.6671 0.7636 0.286 | 1.337 -1.65 | -1.17 -0.286 |
| | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Elaboración: propia

- Flujo aguas abajo para la relación $\frac{H}{H_d} = 1.33$

Tabla 23. Flujo aguas abajo Relación: $\frac{H}{H_d} = 1.33$

| N.º | $Q_{cta}, H = H_{crit}$ $F = 0.7895$ | | | $H_{cta}, Q = Q_{crit}$ $\frac{H}{H_d} = 1.33$ | |
|-----|---|--|----------------------------|---|------------------|
| | $\frac{X}{H_d}$ | $\frac{(FKH_d)^2}{\cos\theta} (FKH_d)^2$ | $\frac{X_c}{H_d}$ f | $\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d}$ $\frac{KH_d}{\cos\theta} \left(\frac{H}{H_d} - \frac{\zeta}{H_d} \right)$ | X_c f |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.766 |
| 2 | 0.399 | 0.3089 -0.234 | -0.1593 0.081 0.435 | 1.421 -1.086 | 0.435 |
| 3 | 0.582 | 0.1879 -0.1176 | -0.0793 0.275 0.584 | 1.513 -0.962 | -0.675 0.584 |
| 4 | 0.726 | 0.1268 -0.07 | -0.0457 0.32 0.733 | 1.606 -0.886 | -0.6219 0.733 |
| 5 | 0.848 | 0.0907 -0.04 | -0.0265 0.4527 0.882 | 1.698 -0.8315 | -0.581 0.882 |
| 6 | 0.957 | 0.0675 -0.0298 | -0.0253 0.1791 1.031 | 1.791 -0.789 | -0.5526 1.03 |
| 7 | 1.056 | 0.0517 -0.0211 | -0.0141 0.5096 1.18 | 1.883 -0.768 | -0.527 1.18 |
| 8 | 1.149 | 0.0408 -0.015 | -0.011 0.69 1.329 | 1.883 -0.729 | -0.509 1.32 |
| 9 | 1.235 | 0.0327 -0.012 | -0.0085 0.73 1.478 | 1.973 -0.7291 | -0.493 1.47 |
| 10 | 1.317 | 0.0267 -0.008 | -0.0053 0.775 1.627 | 2.068 -0.707 | -0.479 1.627 |
| 11 | 1.39 | 0.0223 -0.0191 | -0.0045 0.8167 1.77 | 2.162 -0.6875 | -0.467 1.776 |
| 12 | 1.458 | 0.0191 -0.005 | 0.003 0.857 1.925 | 2.249 -0.6702 | -0.467 1.92 |

GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ABAJO
" SECCIÓN-CRITICA "

Fuente: Elaboración: propia

5.2. Determinación sección crítica.

Valores críticos para las diferentes condiciones de operación en la cresta

1.- Primer Caso:

Tabla 24. Determinar la sección crítica

$$Q_{cta}, H = H_{crit}$$

| N.º | $\frac{H_0}{H_d}$ | F | $\frac{X_c}{H_d}$ | $X_c = Kd_c$ | $\frac{H}{H_d}$ | ϵ | KH_d | $\frac{d_o}{H_d}$ | C |
|-----|-------------------|------|-------------------|--------------|-----------------|------------|--------|-------------------|-------|
| 1 | 0.5 | 0.16 | 0.04518 | -0.462 | 0.428 | -0.456 | -1.24 | 0.372 | 2.096 |
| 2 | 1.0 | 0.50 | 0.0916 | -0.773 | 0.873 | -0.498 | -1.10 | 0.702 | 2.112 |
| 3 | 1.33 | 0.78 | 0.1374 | -0.979 | 0.993 | -0.527 | -1.04 | 0.965 | 2.32 |

Fuente: Elaboración: propia

2.- Segundo Caso:

Tabla 25. Determinación de sección crítica

$$H_{cta}, Q = Q_{crit}$$

| N.º | $\frac{H_0}{H_d}$ | $\frac{X_c}{H_d}$ | $X_c = Kd_c$ | F_c | $\frac{H}{H_d}$ | ϵ |
|-----|-------------------|-------------------|--------------|-------|-----------------|------------|
| 1 | 0.5 | 0.04518 | -0.4085 | 0.198 | 0.564 | -0.456 |
| 2 | 1.0 | 0.0916 | -0.7811 | 0.552 | 1.1 | -0.498 |
| 3 | 1.33 | 0.1374 | -0.734 | 0.805 | 1.33 | -0.527 |

Fuente: Elaboración: propia

6. Capítulo VI: “Análisis experimental obtenido en campo”

Introducción:

Con relación a los datos obtenidos teóricamente para la relación “ H/H_d ” (altura de aproximación del flujo entre altura de diseño), se tomarán datos experimentales para contrastar el recorrido del flujo con respecto a la geometría del vertedero, teniendo datos como el calado “ d_o ” y presiones a lo largo de la cresta.

El propósito de contrastar los resultados es para determinar los caudales experimentales que se acerquen más a la relación teórica ($H/H_d=0.5,1.00,1.33$), una vez determinado los caudales experimentales mas cercanos a las condiciones teóricas de la cresta estos serán evaluados a lo largo de todo su recorrido a lo largo de la estructura de disipación.

Paso-1:

Teniendo la altura de aproximación tomada en Condoroma para los tres tipos de cucharón se procede a sacar el promedio y la relación H/H_d con respecto al mayor valor obtenido y el caudal de estudio.

Tabla 26. Relación entre la altura de aproximación y de diseño

| Nº | CAUDAL | 29.NOV- Y_1 | 30.NOV- Y_2 | 31.NOV- Y_3 | PROM | $\frac{H}{H_d}$ |
|----|---------|---------------|---------------|---------------|----------|-----------------|
| 1 | 10 l/s | 6.0 cm | 5.4 cm | 5.1 cm | 5.17 cm | 0.237 |
| 2 | 20 l/s | 7.4 cm | 7.6 cm | 6.2 cm | 7.06 cm | 0.324 |
| 3 | 30 l/s | 9.2 cm | 8.1 cm | 7.2 cm | 8.16 cm | 0.374 |
| 4 | 40 l/s | 11.2 cm | 10.2 cm | 9.1 cm | 10.16 cm | 0.465 |
| 5 | 50 l/s | 12.1 cm | 11.3 cm | 10.6 cm | 11.33 cm | 0.518 |
| 6 | 60 l/s | 12.5 cm | 12.3 cm | 11.5 cm | 12.1 cm | 0.553 |
| 7 | 70 l/s | 13.6 cm | 13.8 cm | 12.5 cm | 13.3 cm | 0.609 |
| 8 | 80 l/s | 14.9 cm | 14.4 cm | 13.1 cm | 14.13 cm | 0.646 |
| 9 | 90 l/s | 17.2 cm | 16.7 cm | 14.1 cm | 16.03 cm | 0.732 |
| 10 | 100 l/s | 18.6 cm | 17.2 cm | 16.3 cm | 17.36 cm | 0.794 |

Fuente: Elaboración: propia

6.1. Análisis de la cesta aguas arriba y aguas abajo para los caudales críticos.

Contrastando los valores teóricos con los experimentales tenemos que los valores más cercanos a los valores teóricos ($H/H_d=0.5,1.00$) son respectivamente (0.465,0.794).

Como se puede observar el caudal tomado como referencia para el estudio de la represa de Condorama no llega a las condiciones teóricas $H/H_d=1.00$ y 1.33 por que estos valores teóricos son para caudales superiores a los 500 m³.

Por tanto, se hará el análisis de la sección crítica teórica de la relación $H/H_d=0.50$ junto con los caudales antes mencionados.

Tabla 27. Ecuaciones adimensionales para el caso experimental

| | N.º | $\frac{X}{H_d}$ | $\tan \theta$ | $\cos \theta$ | kH_d | $\frac{kH_d}{\cos \theta}$ |
|---|-----|-----------------|---------------|---------------|---------|----------------------------|
| | | | | | | |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.3105 | -0.3155 | 0.9537 | -0.8245 | -0.8645 |
| | 6 | 0.2456 | -0.2641 | 0.9672 | -0.8865 | -0.9146 |
| | 5 | 0.200 | -0.2186 | 0.901 | -1.39 | -1.41 |
| | 4 | 0.1528 | -0.0127 | 0.9854 | -1.014 | -1.029 |
| | 3 | 0.0913 | -0.006 | 1.00 | -1.10 | -1.1 |
| | 2 | 0.0438 | -0.0017 | 1.00 | -1.24 | -1.24 |
| | 1 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -2.00 | -2.00 |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.3511 | -0.4236 | 0.9207 | -0.704 | -0.7646 |
| | 3 | 0.5685 | -0.584 | 0.8636 | -0.549 | -0.6356 |
| | 4 | 0.7451 | -0.705 | 0.8173 | -0.451 | -0.5518 |
| | 5 | 0.823 | -0.804 | 0.779 | -0.3815 | -0.4897 |
| | 6 | 0.8734 | -0.891 | 0.746 | -0.329 | -0.441 |
| | 7 | 1.00 | -0.968 | 0.718 | -0.288 | -0.401 |
| | 8 | 1.1074 | -1.04 | 0.6931 | -0.256 | -0.369 |
| | 9 | 1.235 | -1.107 | 0.670 | -0.229 | -0.342 |
| | 10 | 1.2947 | -1.169 | 0.65 | -0.207 | -0.318 |
| | 11 | 1.379 | -1.224 | 0.633 | -0.189 | -0.298 |
| | 12 | 1.4535 | -1.274 | 0.617 | -0.175 | -0.284 |

Fuente: Elaboración: propia

Paso-1:

Tabla 28. Valores cresta aguas arriba

| N.º | $H/H_d = 0.465$ | | $H/H_d = 0.7949$ | | $H/H_d = 0.7281$ | | | | |
|---|-----------------|--|--------------------------------|--|-------------------------------|--|-------------------------------|---------|--------|
| | $F = 0.15$ | | $F = 0.339$ | | $F_c = 0.294$ | | | | |
| | $\frac{X}{H_d}$ | $\frac{H}{H_d} = \frac{\zeta}{H_d}$ $(FKH_d)^2$ | $\frac{X}{d/H_o}$ p/gpH_d | $\frac{H}{H_d} = \frac{\zeta}{H_d}$ $(FKH_d)^2$ | X_c d/H_o p/gpH_d | $\frac{H}{H_d} = \frac{\zeta}{H_d}$ $(FKH_d)^2$ | X_c d/H_o p/gpH_d | | |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS ARRIBA " SECCIÓN-CRITICA " | 7 | 0.281 | 0.4673 | -0.0427 | 0.843 | -0.0966 | 0.776 | -0.0765 | |
| | | | 0.015 | 0.467 | 0.074 | 0.7972 | 0.058 | 0.766 | |
| | 6 | 0.2289 | 0.4662 | 0.017 | -0.0798 | 0.827 | -0.530 | 0.761 | -0.463 |
| | | | | 0.4662 | 0.0856 | 0.7962 | 0.067 | 0.761 | |
| | | | | 0.44 | 0.0784 | 0.0812 | | | |
| | 5 | 0.1832 | 0.4755 | 0.043 | -0.169 | 0.816 | -0.813 | 0.749 | -0.695 |
| | | | | 0.4755 | 0.214 | 0.7943 | 0.167 | 0.7543 | |
| | | | | 0.4007 | 0.0548 | 0.0676 | | | |
| | 4 | 0.1374 | 0.4651 | 0.023 | -0.104 | 0.807 | -0.582 | 0.741 | -0.445 |
| | | | | 0.4651 | 0.112 | 0.7949 | 0.088 | 0.7449 | |
| | | | | 0.3989 | 0.0748 | 0.0548 | | | |
| | 3 | 0.0916 | 0.4712 | 0.027 | -0.115 | 0.806 | -0.617 | 0.734 | -0.543 |
| | | | | 0.4712 | 0.134 | 0.799 | 0.104 | 0.734 | |
| | | | | 0.3976 | 0.0729 | 0.0432 | | | |
| | 2 | 0.0459 | 0.4651 | 0.036 | -0.1403 | 0.796 | -0.695 | 0.728 | -0.562 |
| | | | | 0.4651 | 0.175 | 0.7942 | 0.132 | 0.7342 | |
| | | | | 0.397 | 0.0692 | 0.0211 | | | |
| | 1 | 0.00 | 0.465 | 0.034 | 0.465 | 0.794 | -0.561 | 0.728 | -0.543 |
| | | | | 0.465 | 0.443 | 0.7944 | 0.345 | 0.724 | |
| | | | | 0.336 | 0.035 | 0.0134 | | | |

Fuente: Elaboración: propia

Paso-2:

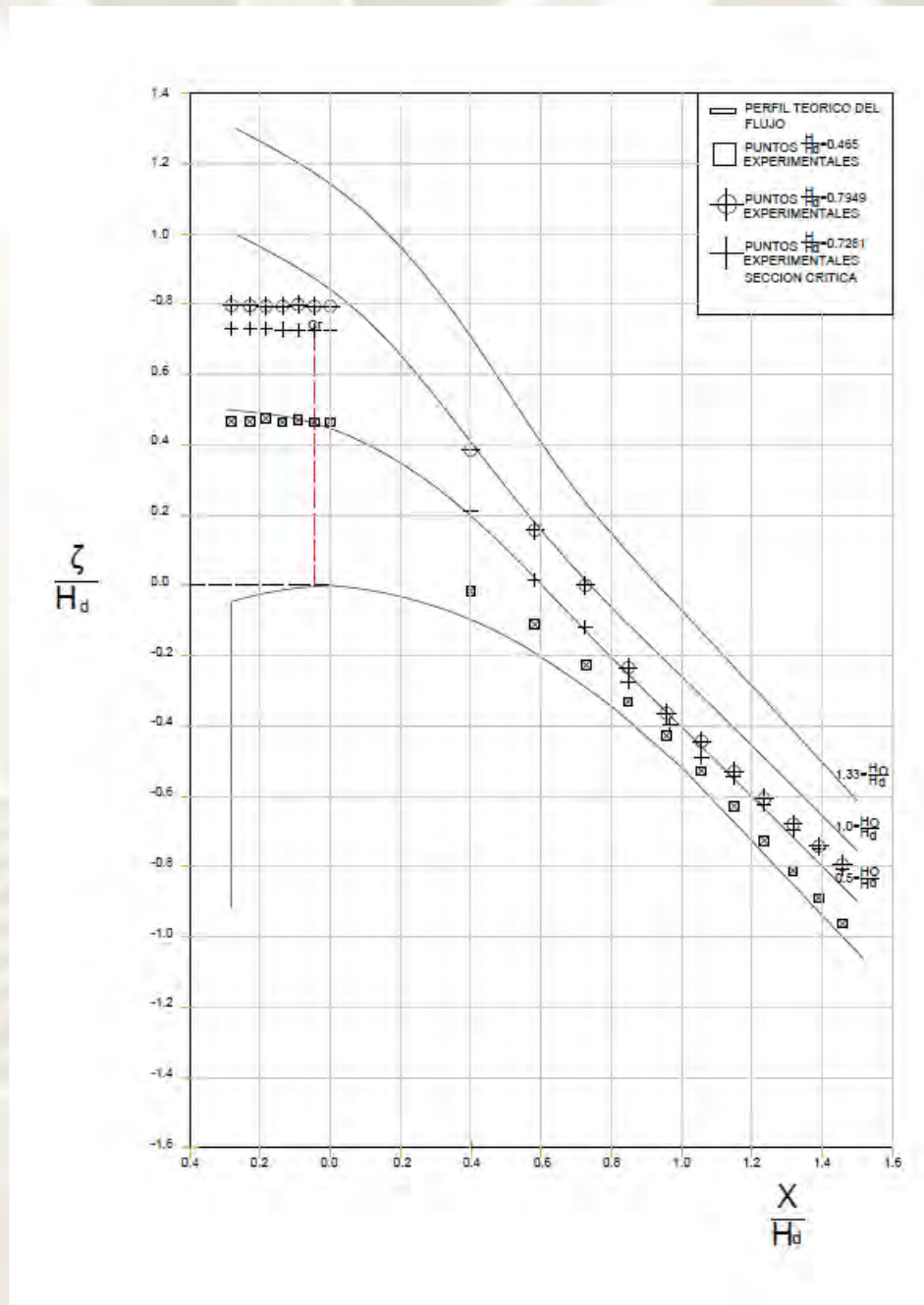
Tabla 29. Valores cresta aguas abajo

| N.º | $\frac{X}{H_d}$ | $H/H_d = 0.465$ | | $H/H_d = 0.7949$ | | $H/H_d = 0.7281$ | | |
|--|-----------------|--|-----------------------------|--|-------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| | | $F = 0.15$ | | $F = 0.339$ | | $F_c = 0.294$ | | |
| | | $\frac{H}{H_d} = \frac{\zeta}{H_d}$ $(FKH_d)^2$ | X d/H_o p/gpH_d | $\frac{H}{H_d} = \frac{\zeta}{H_d}$ $(FKH_d)^2$ | X_c d/H_o p/gpH_d | $\frac{H}{H_d} = \frac{\zeta}{H_d}$ $(FKH_d)^2$ | X_c d/H_o p/gpH_d | |
| GEOMETRIA HIDRAULICA CRESTA AGUAS " SECCIÓN-CRITICA " | 1 | 0.00 | 0.4650 0.09 | -0.3029 0.1505 0.3364 | 0.7949 0.4436 | -0.5614 0.2807 0.0355 | 0.7281 0.3457 | -1.034 0.517 0.183 |
| | 2 | 0.399 | 0.550 0.011 | -0.0571 0.0811 0.5093 | 0.8859 0.0550 | -0.4721 0.6706 0.8657 | 0.8191 0.0505 | -0.4356 0.6188 0.7996 |
| | 3 | 0.582 | 0.6487 0.0068 | -0.0298 0.0542 0.5951 | 0.9786 0.0334 | -0.4326 0.788 0.970 | 0.9180 0.0261 | -0.4024 0.733 0.9058 |
| | 4 | 0.726 | 0.7410 0.0046 | -0.0284 0.0630 0.7140 | 1.0709 0.0225 | -0.4105 0.9102 1.066 | 1.0041 0.0176 | -0.3842 0.8519 1.0012 |
| | 5 | 0.848 | 0.8290 0.0033 | -0.0206 0.0540 0.8074 | 1.1629 0.0161 | -0.3952 1.0359 1.1605 | 1.0961 0.0126 | -0.3702 0.9951 1.0945 |
| | 6 | 0.957 | 0.9260 0.0024 | -0.0171 0.0520 0.9060 | 1.2559 0.0121 | -0.3825 1.1626 1.2525 | 1.1891 0.0094 | -0.3692 1.2569 1.2685 |
| | 7 | 1.056 | 1.014 0.0019 | -0.0143 0.0497 0.9961 | 1.3379 0.0092 | -0.3825 1.4391 1.3667 | 1.2811 0.0072 | -0.3509 1.3707 1.3111 |
| | 8 | 1.149 | 1.110 0.0015 | -0.0118 0.0461 -0.0370 | 1.4409 0.0073 | -0.3684 1.4391 1.3667 | 1.3791 0.0057 | -0.3469 1.5148 1.4154 |
| | 9 | 1.235 | 1.203 0.0012 | -0.0099 0.0039 1.0683 | 1.5529 0.0058 | -0.3631 1.5856 1.4712 | 1.4667 0.0045 | -0.3464 1.5148 1.4154 |
| | 10 | 1.317 | 1.297 0.0010 | -0.0086 0.041 1.1501 | 1.6269 0.0048 | 0.3582 1.7302 1.5352 | 1.5601 0.0037 | -0.3431 1.6575 1.5176 |
| | 11 | 1.390 | 1.384 0.0008 | -0.0074 0.0392 1.227 | 1.7139 0.0040 | -0.3535 1.8704 1.6702 | 1.6471 0.0031 | -0.3394 1.7958 1.6291 |
| | 12 | 1.450 | 1.465 0.0007 | -0.0066 0.0377 -0.2486 | 1.7949 0.0034 | -0.3528 2.016 1.7577 | 1.7281 0.0026 | -0.3394 1.9394 1.6977 |

Fuente: Elaboración: propia

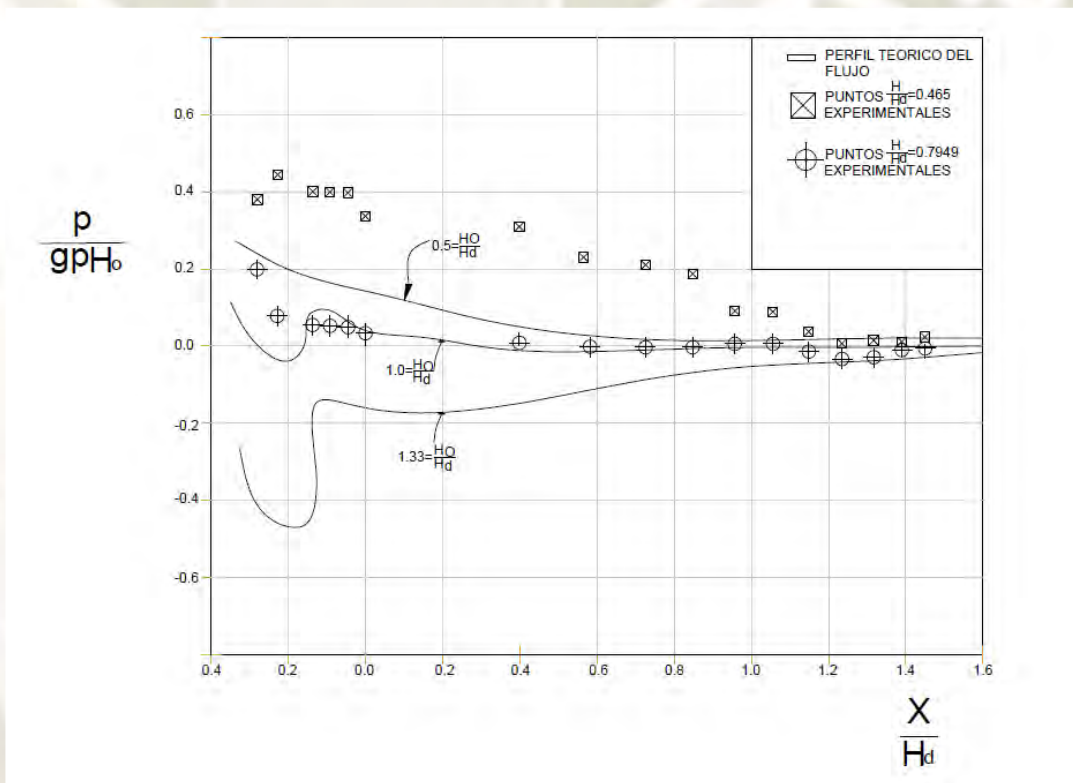
Paso-3:

Grafico 7. Calado-Valores experimentales, perfil teórico, sección crítica



Fuente: Elaboración: propia

Grafico 8. Presiones-Valores experimentales, perfil teórico, sección crítica



Fuente: Elaboración: propia

6.2. Análisis de la rápida.

La geometría hidráulica de la rápida parte desde el punto de tangencia de la cresta hasta el punto de tangencia en la cubeta deflectora.

Determinado el calado “ d_o ” para los caudales críticos de 40 l/s y 100 l/s en el punto de tangencia entre la cresta y la rápida, se determina la pérdida de energía de la rápida hasta su punto de tangencia con la cubeta deflectora.

Tabla 30. Datos de flujo al inicio de la rápida.

| N ^a | Descripción | 40 l/s | 100l/s |
|----------------|---|----------|----------|
| 1 | d_{pt} = Calado punto de tangencia cresta. | 0.0161m | 0.0421 m |
| 2 | Y_{pt} = Altura punto de tangencia con respecto al N.R. | 0.2484 m | 0.2484 m |
| 3 | Y_{rt} = Altura punto de tangencia con respecto al N.R | 0.1356 m | 0.1356 m |
| 4 | Θ = Angulo de inclinación de la rápida | 51.34° | 51.34° |
| 5 | b = Ancho del canal | 0.457 m | 0.457 m |
| 6 | n = Coeficiente de Manning | 0.01 | 0.01 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-1:

Comenzando con el calado de la rápida se tiene que partir de la conservación de energía y pérdida por fricción y teniendo como dato el calado del punto de tangencia de la cresta aguas abajo hasta el punto de tangencia con la cubeta deflectora.

De la ecuacion:

conservación de energía

$$Y_{pt} + d_{pt} \cos(51.34^\circ) + \frac{Q^2 n}{2 * g b^2 d_{pt}^2} = Y_{rt} + d_r \cos(51.34^\circ) + \frac{Q^2 n}{2 * g b^2 d_{rt}^2} + \bar{Sf} * L_{pt-rt}$$

De la ecuacion:

pérdida por fricción en rápida

$$\bar{Sf} = \frac{Sf_{pt} + Sf_{rt}}{2}$$

$$Sf = \left(\frac{Qn}{R^{2/3}A}\right)^2$$

Paso-2:

Conservación de la energía.

Punto de tangencia cresta

$$H_{pt} = 0.2484 + d_{pt} \cos(51.34) + \frac{Q^2 n}{2 * 9.81 * 0.457^2 * a^2}$$

Conservación de la energía.

Punto de tangencia cubeta deflector

$$H_{r1} = d_{r1} \cos(51.34) + \frac{Q^2}{2 * 9.81 * 0.457^2 * d_{r1}^2} + 0 + \frac{\left(\frac{Q * 0.1}{0.457 * d_{rt}}\right)^2}{\frac{(0.457 + 2d_{rt})^{2/3} * 0.457 * d_{rt}}{2}} + 0.1412$$

Paso-3:

Calado critico

perdida por friccion en rapida

$$S_{f_{pt}} = 0$$

$$S_{f_{rt}} = \left(\frac{Q * 0.13}{(0.457 * d_{rt})^{2/3} * 0.457 * d_{rt}}\right)^2$$

Calado critico

perdida por friccion en rapida

$$\bar{S}_f = 0 + \frac{\left(\frac{Q * 0.013}{(0.457 * d_{rt})^{2/3} * 0.457 * d_{rt}}\right)^2}{2}; L_{pt-rt} = 0.1412$$

De la ecuacion:

conservación de energía

$$Y_{rpt} + d_{rt} \cos(\alpha) + \frac{Q^2 * n}{2 * g b^2 d_{pt}^2} = Y_{r+1} + d_{r+1} \cos(\alpha) + \frac{Q^2 * n}{2 * g b^2 d_{r+1}^2} + \bar{S}_f * L_{rt-rt+1}$$

Paso-4:

Tabla 31. Tabulación del perfil hidráulico de la rápida

| N.º | Coordenadas | | $Q = 40 \text{ l/s}$ | | | $Q = 100 \text{ l/s}$ | | |
|-----|-------------|-------|----------------------|----------|------------------|-----------------------|----------|------------------|
| | X | Y | L_{PT-r1} | H_{pt} | d_{r+1} (m) | L_{PT-r1} | H_{pt} | d_{r+1} (m) |
| 12 | 7.96 | -5.39 | 0.00 | 0.5238 | 0.0163 | 0.00 | 0.0643 | 0.0423 |
| 13 | 8.00 | .5.44 | 0.0028 | 0.5225 | 0.0161 | 0.0028 | 0.0640 | 0.0422 |
| 14 | 8.50 | -6.09 | 0.0048 | 0.5216 | 0.0164 | 0.0048 | 0.0641 | 0.0421 |
| 15 | 9.00 | -6.76 | 0.0684 | 0.5214 | 0.0162 | 0.0684 | 0.0641 | 0.0424 |
| 16 | 9.50 | -7.48 | 0.1349 | 0.5202 | 0.0171 | 0.1349 | 0.0640 | 0.0423 |
| 17 | 10.01 | -8.23 | 0.1412 | 0.5191 | 0.0224 | 0.1412 | 0.0639 | 0.0421 |

Fuente: Elaboración: propia

6.3. Análisis de la cubeta deflectora.

El análisis hidráulico en la estructura de disipación con geometría cóncava este sujeto a la conservación de energía junto con la pérdida por fricción adicionalmente se toma en cuenta la presión hidrostática a lo largo del recorrido del flujo.

El análisis se llevará acabo con los caudales de análisis críticos llevados desde la cresta para ser comparado con los datos experimentales obtenidos con los sensores de presión puestos en el canal a escala reducida.

Paso-1:

Tabla 32. Tabulación del perfil hidráulico cubeta deflectora

| Nº | Coordenadas | | Datos de sección | | $Q = 40 \text{ l/s}$ | | $Q = 100 \text{ l/s}$ | |
|----|-------------|--------|------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------|----------|
| | X | Y | y_{rt} | α | d_{rt} (m) | H_{rt} | d_{rt} (m) | H_{rt} |
| 17 | 10.01 | -8.23 | 0.1356 | 51.34° | 0.0103 | 0.1866 | 0.0493 | 0.1796 |
| 18 | 13.54 | -10.03 | 0.0632 | 0° | 0.0102 | 0.1182 | 0.0493 | 0.1233 |
| 19 | 16.62 | -8.77 | 0.114 | 45° | 0.0103 | 0.1659 | 0.0491 | 0.1616 |
| 20 | 17.43 | -7.41 | 0.1664 | 21° | 0.0103 | 0.2207 | 0.0492 | 0.2237 |

Fuente: Elaboración: propia

Paso-2:

Conservación de la energía.

Conservación de la energía.

Inicio de estructura de disipación

$$H_{rt} = Y_{r+1} + d_{r+1} \cos(\alpha) + \frac{Q^2 * n}{2 * gb^2 d_{r+1}^2} + \overline{Sf} * L_{rt-r+1}$$

Conservación de la energía.

Paso-3:

Conservación de la energía.

Final de estructura de disipación

$$H_{rt} = Y_{r+1} + d_{r+1} \cos(\alpha) + \frac{Q^2 n}{2 * gb^2 d_{r+1}^2} + \overline{Sf} * L_{rt-r+1}$$

Tabla 33. Final de la estructura de disipación.

| Nº | Coordenadas | | Datos por sección | | | $Q = 40 \text{ l/s}$ | | $Q = 100 \text{ l/s}$ | |
|----|-------------|--------|-------------------|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | X | Y | Y_{r+1} | α | L_{r+1} | H_{r+1} | d_{r+1} (m) | H_{r+1} | d_{r+1} (m) |
| 17 | 10.01 | -8.23 | 0.1356 | 51.34° | 0.1648 | 0.1866 | 0.0434 | 0.1796 | 0.0512 |
| 18 | 13.54 | -10.03 | 0.0632 | 0° | 0.1308 | 0.1182 | 0.0352 | 0.1233 | 0.0583 |
| 19 | 16.62 | -8.77 | 0.114 | 45° | 0.064 | 0.1616 | 0.0473 | 0.1616 | 0.0685 |
| 20 | 17.43 | -7.41 | 0.1664 | 21° | 0 | 0.2207 | 0.0492 | 0.2237 | 0.0622 |

Fuente: Elaboración: propia

Paso-4:

Presiones a lo largo del cucharón:

Lenau Cassidy (1969) propuso un procedimiento bidimensional analíticamente a través de ecuaciones adimensionales ($RC_{ph}/2d_o; S/d_o$) a través de la siguiente ilustración (). que sirve para calcular el coeficiente adimensional (C_{ph}).

Tabla 34. Presiones del cucharón

| Coordenadas | | | | | | $Q = 40 \text{ l/s}$ | | |
|-------------|-------|--------|----------|---------|----------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| Nº | X | Y | d (m) | S/d_o | BR/d_o | $RC_{ph}/2d_o$ | $C_{ph} = P_c/gPH$ | $P_c = C_{ph}Y_{c-c}$ |
| 17 | 10.01 | -8.23 | 0.049 | 0.00 | 0 | 0.50 | 0.2631 | 8.073 |
| 18 | 13.54 | -10.03 | 0.0385 | 1.468 | 2 | 0.64 | 0.2067 | 7.958 |
| 19 | 16.62 | -8.77 | 0.0437 | 3.242 | 3 | 0.78 | 0.2346 | 8.376 |
| 20 | 17.42 | -7.41 | 0.0409 | 5.397 | 5 | 0.74 | 0.0076 | 9.694 |
| Coordenadas | | | | | | $Q = 100 \text{ l/s}$ | | |
| Nº | X | Y | d (m) | S/d_o | BR/d_o | $RC_{ph}/2d_o$ | $C_{ph} = P_c/gPH$ | $P_c = C_{ph}Y_{c-c}$ |
| 17 | 10.01 | -8.23 | 0.0581 | 0.00 | 0 | 0.50 | 0.3119 | 8.8451 |
| 18 | 13.54 | -10.03 | 0.0588 | 2.087 | 2 | 0.667 | 0.3211 | 20.031 |
| 19 | 16.62 | -8.77 | 0.0682 | 4.575 | 5 | 0.796 | 0.3662 | 21.9615 |
| 20 | 17.42 | -7.41 | 0.0627 | 5.735 | 6 | 0.727 | 0.0081 | 22.384 |

Fuente: Elaboración: propia

6.4. Panel fotográfico.

Construcción y montaje del modelo a escala reducida

Para la investigación del siguiente modelo se trasladó un canal con capacidad de almacenamiento de agua de tres módulos impulsado por 4 bombas eléctricas cada una con capacidad de 30 l/s además de una bomba a gasolina que impulsaba entre 8 a 14 l/s con la finalidad de impulsar el modelo a velocidades constantes en intervalos de 10 l/s hasta llegar al máximo de 100 l/s que fue el caudal máximo alcanzado durante el experimento.

El modelo a escala reducida consta de un vertedero con paramento vertical y una estructura de disipación con un Angulo que varía desde los 25 hasta los 35 grados.

Pasos de montaje:

PASO-1: Captación de agua

A través de la hidroeléctrica donde inicia el recorrido el agua para transformar la energía potencial en corriente eléctrica a través de la sala de máquinas desde ahí se tomó el agua para suministrar al modelo a escala reducida con ayuda de tuberías forzadas y un panel de control eléctrico de las bombas encargadas de succionar el agua hasta el modelo

Figura35: Captación de agua para el modelo a escala reducida



Fuente: Elaboración propia (2021, Pg104)

Figura36: Descripción: tubería forzada y panel de control eléctrico



Fuente: Elaboración propia (2021, Pg104)

PASO-2: montaje de la estructura de disipación “Embalse”.

La parte inicial del modelo donde el agua proveniente de las tuberías forzadas llena las tres cámaras de embalse antes de iniciar el recorrido por el canal donde esta la estructura de disipación.

Figura37: Embalse de agua previo al recorrido.



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg105)

Paso-3: Recorrido del flujo aguas arriba del canal

Figura38: Recorrido del flujo aguas arriba y nivelación.



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg105)

Paso-4: Estructura de disipación (Cresta)

Figura39: Inicio del recorrido cresta aguas arriba/abajo.



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg106)

Paso-5: Estructura de disipación (Rápida)

Figura40: Estructura de disipación (Rápida)



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg106)

Paso-6: Estructura de disipación (cubeta deflector)

Figura41: Cubeta deflector, geometría del chorro



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg107)

Paso-7: geometría del chorro

Figura42: Geometría del chorro



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg107)

Paso-8: Instalación de Equipo

Los equipos de medición están formados por caudalímetro, sensores de presión en el área del cucharón y formatos de control para medir el tirante aguas arriba, aguas abajo junto con las características geométricas del chorro desde su trayecto dejando l cucharón hasta aguas abajo.

Figura43: Caudalímetro.



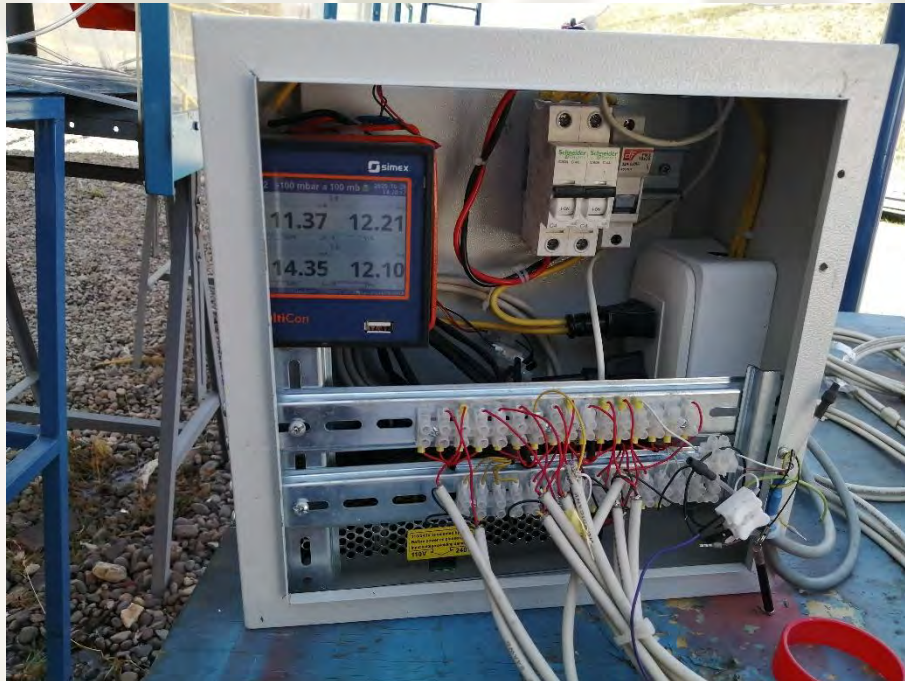
Fuente: Elaboración propia (2020, Pg108)

Figura44: Sensores de presión.



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg108)

Figura45: Panel de control sensores de presión.



Fuente: Elaboración propia (2020, Pg109)

7. Capítulo VII: “Comparación y discusión de resultados”

7.1. Tirantes aguas arriba y aguas abajo.

Tabla 35. Tirantes aguas arriba/abajo

| N.º | Q(l/s) | Tirante aguas arriba | | | Tirante aguas abajo | | |
|-----|--------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ |
| | | Y ₁ (cm) | Y ₁ (cm) | Y ₁ (cm) | Y ₂ (cm) | Y ₂ (cm) | Y ₂ (cm) |
| 1 | 10 | 26.00 | 26.30 | 26.80 | 1.57 | 1.54 | 1.80 |
| 2 | 20 | 29.30 | 29.40 | 29.40 | 2.60 | 2.10 | 2.30 |
| 3 | 30 | 30.70 | 30.70 | 30.70 | 3.20 | 2.50 | 2.60 |
| 4 | 40 | 33.20 | 32.50 | 33.50 | 3.60 | 2.70 | 3.30 |
| 5 | 50 | 34.50 | 34.30 | 34.50 | 3.80 | 3.90 | 3.90 |
| 6 | 60 | 35.60 | 35.60 | 35.60 | 4.20 | 4.20 | 4.40 |
| 7 | 70 | 37.20 | 37.20 | 37.40 | 5.57 | 5.30 | 5.40 |
| 8 | 80 | 38.40 | 38.30 | 38.50 | 5.66 | 5.20 | 5.70 |
| 9 | 90 | 40.30 | 39.30 | 40.70 | 6.30 | 5.80 | 6.70 |
| 10 | 100 | 41.60 | 40.40 | 41.50 | 7.40 | 6.80 | 7.20 |

Fuente: Elaboración Propia.

7.2. Comparación y discusión sobre estructura de disipación.

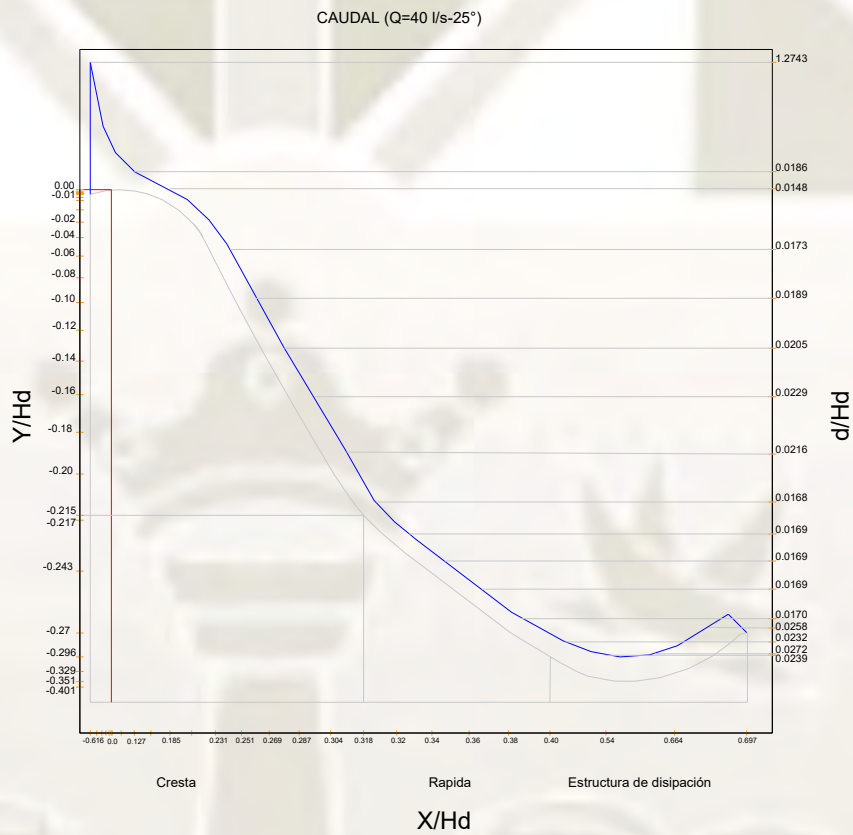
Los diferentes resultados experimentales a lo largo de la estructura de disipación, clasificados por el ángulo del cucharón como el caudal estudiado.

Tabla 36. Calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=40 l/S) | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) | (cm-h2o) | | |
| CRESTA AGUAS LENTA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.1274 | 0.1274 | 0.1274 | 6.8208 | 6.8208 | 6.8208 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.1271 | 0.1271 | 0.1271 | 2.6864 | 2.6864 | 2.6864 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.1276 | 0.1276 | 0.1276 | 1.8784 | 1.8784 | 1.8784 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.1278 | 0.1278 | 0.1278 | 2.5632 | 2.5632 | 2.5632 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.1274 | 0.1274 | 0.1274 | 2.4976 | 2.4976 | 2.4976 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.1272 | 0.1272 | 0.1272 | 2.0528 | 2.0528 | 2.0528 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0486 | 0.0486 | 0.0486 | 0.2672 | 0.2672 | 0.2672 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0438 | 0.0438 | 0.0438 | 0.0608 | 0.0608 | 0.0608 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0186 | 0.0186 | 0.0186 | 0.0912 | 0.0912 | 0.0912 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0141 | 0.0141 | 0.0141 | 0.112 | 0.112 | 0.112 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0148 | 0.0148 | 0.0148 | 0.264 | 0.264 | 0.264 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0159 | 0.0159 | 0.0159 | 0.3008 | 0.3008 | 0.3008 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0173 | 0.0173 | 0.0173 | -0.4752 | -0.4752 | -0.4752 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0189 | 0.0189 | 0.0189 | -1.1312 | -1.1312 | -1.1312 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0205 | 0.0205 | 0.0205 | -0.9184 | -0.9184 | -0.9184 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0229 | 0.0229 | 0.0229 | 0.3392 | 0.3392 | 0.3392 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0216 | 0.0216 | 0.0216 | 0.1984 | 0.1984 | 0.1984 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0168 | 0.0168 | 0.0168 | -0.6272 | -0.6272 | -0.6272 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0169 | 0.0152 | 0.0143 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0169 | 0.0154 | 0.0143 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0169 | 0.0156 | 0.0144 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0170 | 0.0157 | 0.0144 | 5.767 | 6.767 | 8.767 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0232 | 0.0209 | 0.0197 | 4.267 | 4.367 | 5.367 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0239 | 0.0215 | 0.0203 | 4.267 | 4.437 | 5.567 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0272 | 0.0245 | 0.0231 | 7.312 | 8.312 | 9.412 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0258 | 0.0225 | 0.0213 | 11.435 | 11.485 | 14.635 |

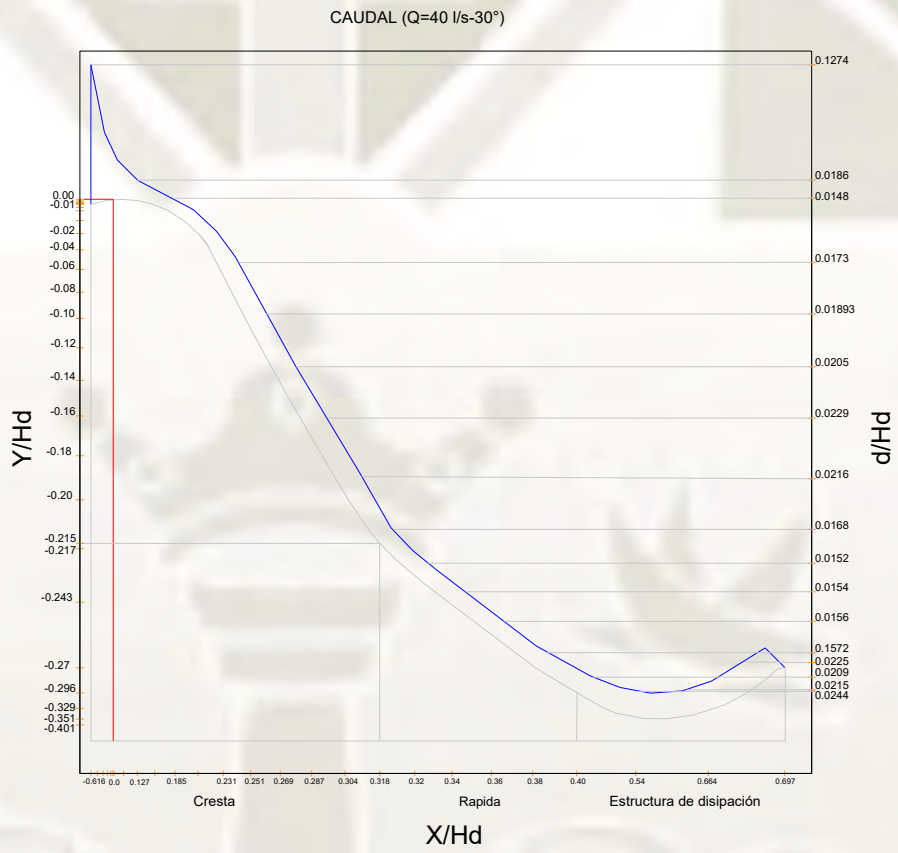
Fuente: Elaboración Propia.

Grafico 9. Sección transversal del dissipador de energía $H/H_d = 0.465$ a 25°



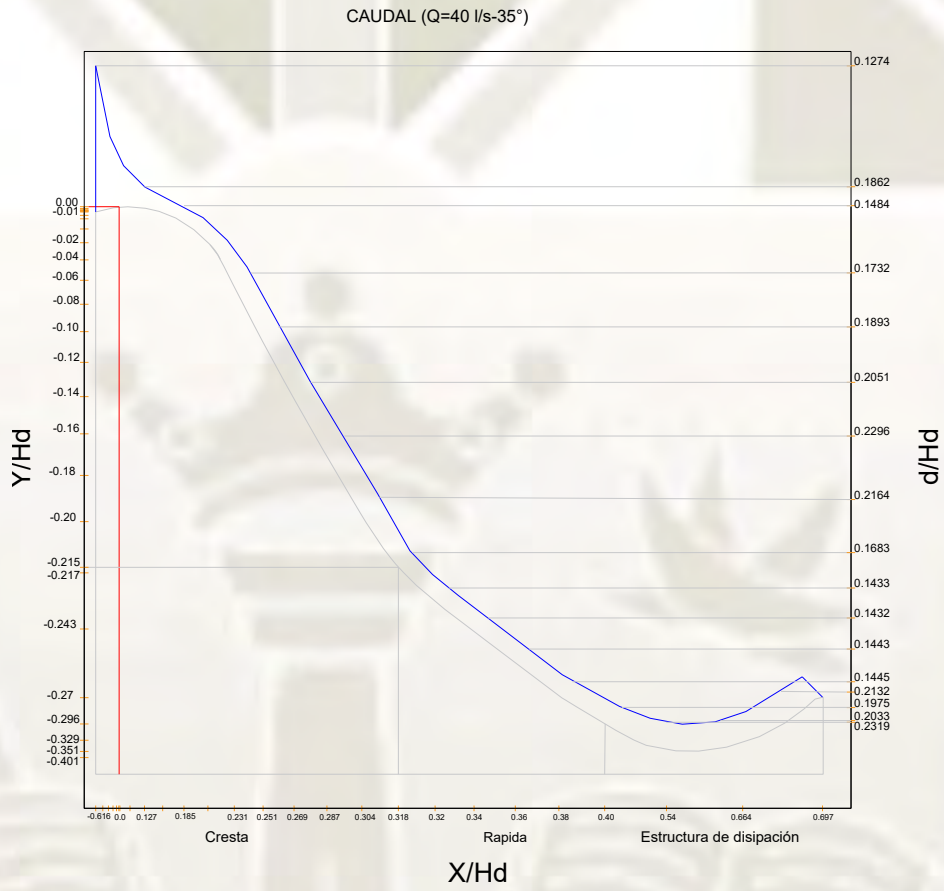
Fuente: Elaboración propia

Grafico 10. Sección transversal del dissipador de energía $H/H_d = 0.465$ a 30°



Fuente: Elaboración propia

Grafico 11. Sección transversal del dissipador de energía $H/H_d = 0.465$ a 35°



Fuente: Elaboración propia

Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.7949$

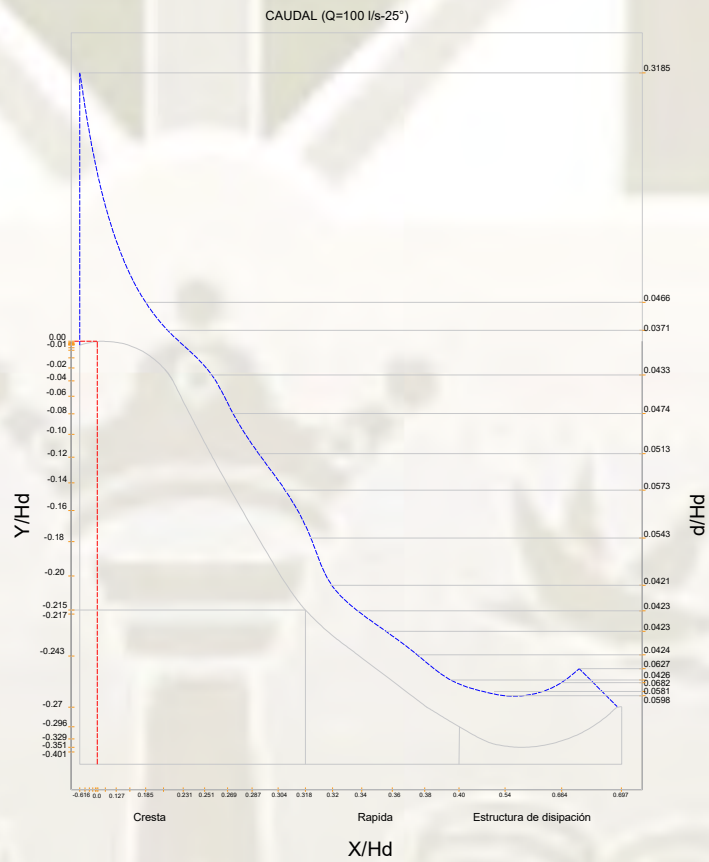
Caudal de operación máximo puesto en la estructura de disipación.

Tabla 37. calado/presiones en la estructura de disipación.

| N° | CAUDAL (Q=100 l/S) | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| | COORDENAS (1/25) | | CALADO | | | PRESION | | | |
| | X/H_d | Y/H_d | $\Phi_c=25^\circ$ d/H_d | $\Phi_c=30^\circ$ d/H_d | $\Phi_c=35^\circ$ d/H_d | $\Phi_c=25^\circ$ (cm-h2o) | $\Phi_c=30^\circ$ (cm-h2o) | $\Phi_c=35^\circ$ (cm-h2o) | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.3185 | 0.3185 | 0.3185 | 4.263 | 4.263 | 4.263 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.3177 | 0.3177 | 0.3177 | 1.679 | 1.679 | 1.679 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.3179 | 0.3179 | 0.3179 | 1.174 | 1.174 | 1.174 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.3196 | 0.3196 | 0.3196 | 1.602 | 1.602 | 1.602 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.3176 | 0.3176 | 0.3176 | 1.561 | 1.561 | 1.561 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.3178 | 0.3178 | 0.3178 | 1.283 | 1.283 | 1.283 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1224 | 0.1224 | 0.1224 | 0.167 | 0.167 | 0.167 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.1096 | 0.1096 | 0.1096 | 0.038 | 0.038 | 0.038 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0466 | 0.0466 | 0.0466 | 0.057 | 0.057 | 0.057 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0351 | 0.0351 | 0.0351 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0371 | 0.0371 | 0.0371 | 0.165 | 0.165 | 0.165 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0398 | 0.0398 | 0.0398 | 0.188 | 0.188 | 0.188 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0433 | 0.0433 | 0.0433 | -0.297 | -0.297 | -0.297 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0474 | 0.0474 | 0.0474 | -0.707 | -0.707 | -0.707 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0513 | 0.0513 | 0.0513 | -0.574 | -0.574 | -0.574 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0573 | 0.0573 | 0.0573 | 0.212 | 0.212 | 0.212 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0543 | 0.0543 | 0.0543 | 0.124 | 0.124 | 0.124 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0421 | 0.0421 | 0.0421 | -0.392 | -0.392 | -0.392 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0423 | 0.0380 | 0.0359 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0423 | 0.3807 | 0.0359 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0424 | 0.0381 | 0.0360 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0426 | 0.0383 | 0.0362 | - | - | - |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0581 | 0.0522 | 0.0493 | 4.272 | 4.543 | 6.372 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0598 | 0.0538 | 0.0508 | 4.272 | 4.572 | 6.272 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0682 | 0.0613 | 0.0579 | 8.023 | 9.623 | 10.823 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0627 | 0.0564 | 0.0533 | 11.863 | 12.364 | 16.463 |

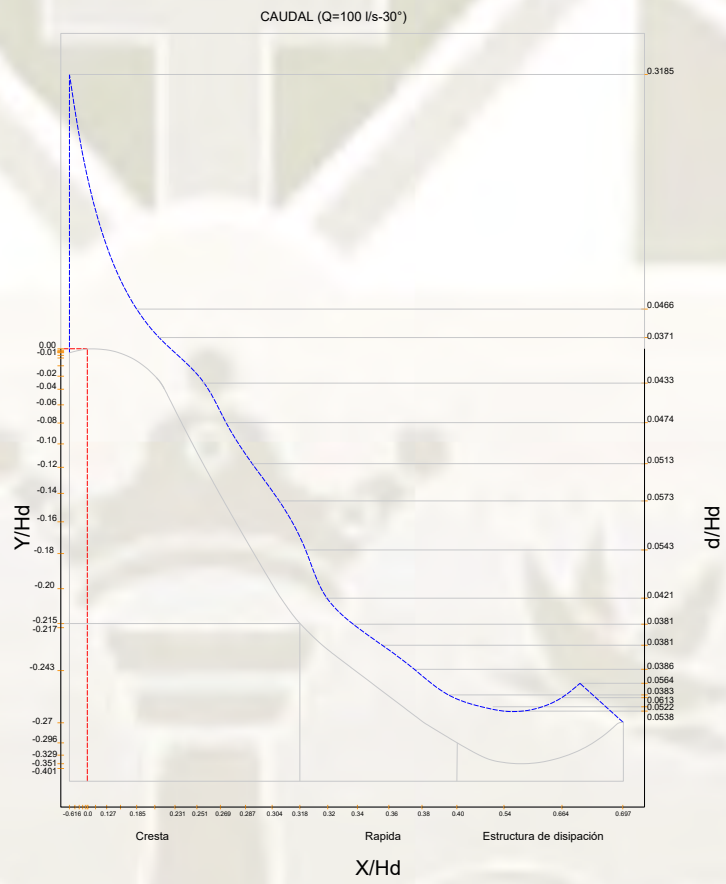
Fuente: Elaboración propia

Grafico 12. Sección transversal del dissipador de energía $H/H_d = 0.7949$ a 25°



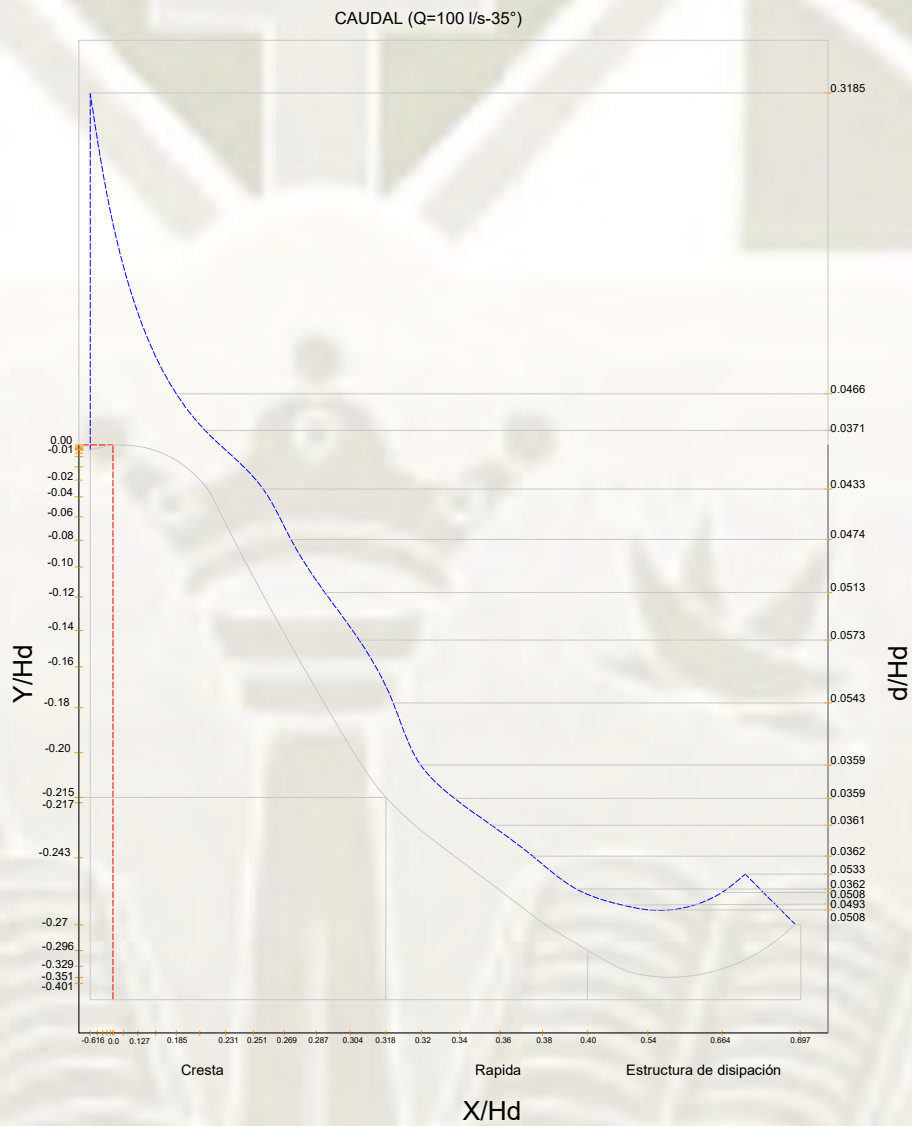
Fuente: Elaboración propia

Grafico 13. Sección transversal del dissipador de energía $H/H_d = 0.7949$ a 30°



Fuente: Elaboración propia

Grafico 14. Sección transversal del dissipador de energía $H/H_d = 0.7949$ a 35°



Fuente: Elaboración propia

7.3. Comparación y discusión chorro / Perdida de energía.

Para terminar esta parte se tomará la velocidad en diferentes etapas del recorrido a lo largo de la estructura de disipación. Para después tomar una variación de la pérdida de energía cuando termine el recorrido.

Paso-1: Determinación de los calados para cada caudal de operación en un cucharón de 25°

Tabla 38. Calados para cada caudal de operación estudiado

| N° | Relación d/H_d | Caudal-25° | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| | | 100 (l/s) d (m) | 90(l/s) d (m) | 80(l/s) d (m) | 70(l/s) d (m) | 60(l/s) d (m) | 50(l/s) d (m) | 40(l/s) d (m) | 30(l/s) d (m) | 20(l/s) d (m) | 10(l/s) d (m) | |
| CRESTAS AGUAS A | 7 | 0.3185 | 0.1860 | 0.1720 | 0.1490 | 0.1360 | 0.1250 | 0.1210 | 0.1120 | 0.0920 | 0.0740 | 0.0600 |
| | 6 | 0.3177 | 0.1855 | 0.1716 | 0.1486 | 0.1357 | 0.1247 | 0.1207 | 0.1117 | 0.0918 | 0.0738 | 0.0598 |
| | 5 | 0.3179 | 0.1856 | 0.1717 | 0.1487 | 0.1357 | 0.1248 | 0.1208 | 0.1118 | 0.0918 | 0.0739 | 0.0599 |
| | 4 | 0.3196 | 0.1866 | 0.1726 | 0.1495 | 0.1365 | 0.1254 | 0.1214 | 0.1124 | 0.0923 | 0.0743 | 0.0602 |
| | 3 | 0.3176 | 0.1855 | 0.1715 | 0.1486 | 0.1356 | 0.1246 | 0.1207 | 0.1117 | 0.0917 | 0.0738 | 0.0598 |
| | 2 | 0.3178 | 0.1856 | 0.1716 | 0.1487 | 0.1357 | 0.1247 | 0.1207 | 0.1118 | 0.0918 | 0.0738 | 0.0599 |
| | 1 | 0.1224 | 0.0715 | 0.0661 | 0.0573 | 0.0523 | 0.0480 | 0.0465 | 0.0430 | 0.0354 | 0.0284 | 0.0231 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.1096 | 0.0640 | 0.0592 | 0.0513 | 0.0468 | 0.0430 | 0.0416 | 0.0385 | 0.0317 | 0.0255 | 0.0206 |
| | 3 | 0.0466 | 0.0272 | 0.0252 | 0.0218 | 0.0199 | 0.0183 | 0.0177 | 0.0164 | 0.0135 | 0.0108 | 0.0088 |
| | 4 | 0.0351 | 0.0205 | 0.0190 | 0.0164 | 0.0150 | 0.0138 | 0.0133 | 0.0123 | 0.0101 | 0.0082 | 0.0066 |
| | 5 | 0.0371 | 0.0217 | 0.0200 | 0.0174 | 0.0158 | 0.0146 | 0.0141 | 0.0130 | 0.0107 | 0.0086 | 0.0070 |
| | 6 | 0.0398 | 0.0232 | 0.0215 | 0.0186 | 0.0170 | 0.0156 | 0.0151 | 0.0140 | 0.0115 | 0.0092 | 0.0075 |
| | 7 | 0.0433 | 0.0253 | 0.0234 | 0.0203 | 0.0185 | 0.0170 | 0.0164 | 0.0152 | 0.0125 | 0.0101 | 0.0082 |
| | 8 | 0.0474 | 0.0277 | 0.0256 | 0.0222 | 0.0202 | 0.0186 | 0.0180 | 0.0167 | 0.0137 | 0.0110 | 0.0089 |
| | 9 | 0.0513 | 0.0300 | 0.0277 | 0.0240 | 0.0219 | 0.0201 | 0.0195 | 0.0180 | 0.0148 | 0.0119 | 0.0097 |
| | 10 | 0.0573 | 0.0335 | 0.0309 | 0.0268 | 0.0245 | 0.0225 | 0.0218 | 0.0201 | 0.0166 | 0.0133 | 0.0108 |
| | 11 | 0.0543 | 0.0317 | 0.0293 | 0.0254 | 0.0232 | 0.0213 | 0.0206 | 0.0191 | 0.0157 | 0.0126 | 0.0102 |
| | 12 | 0.0421 | 0.0246 | 0.0227 | 0.0197 | 0.0180 | 0.0165 | 0.0160 | 0.0148 | 0.0122 | 0.0098 | 0.0079 |
| | RAPID A | 13 | 0.0423 | 0.0247 | 0.0228 | 0.0198 | 0.0181 | 0.0166 | 0.0161 | 0.0149 | 0.0122 | 0.0098 |
| 14 | | 0.0423 | 0.0247 | 0.0228 | 0.0198 | 0.0181 | 0.0166 | 0.0161 | 0.0149 | 0.0122 | 0.0098 | 0.0080 |
| 15 | | 0.0424 | 0.0248 | 0.0229 | 0.0198 | 0.0181 | 0.0166 | 0.0161 | 0.0149 | 0.0122 | 0.0099 | 0.0080 |
| 16 | | 0.0426 | 0.0249 | 0.0230 | 0.0199 | 0.0182 | 0.0167 | 0.0162 | 0.0150 | 0.0123 | 0.0099 | 0.0080 |
| CUCH ARON | 17 | 0.0581 | 0.0339 | 0.0314 | 0.0272 | 0.0248 | 0.0228 | 0.0221 | 0.0204 | 0.0168 | 0.0135 | 0.0109 |
| | 18 | 0.0598 | 0.0349 | 0.0323 | 0.0280 | 0.0255 | 0.0235 | 0.0227 | 0.0210 | 0.0173 | 0.0139 | 0.0113 |
| | 19 | 0.0682 | 0.0398 | 0.0368 | 0.0319 | 0.0291 | 0.0268 | 0.0259 | 0.0240 | 0.0197 | 0.0158 | 0.0128 |
| | 20 | 0.0627 | 0.0366 | 0.0339 | 0.0293 | 0.0268 | 0.0246 | 0.0238 | 0.0220 | 0.0181 | 0.0146 | 0.0118 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-2: Determinación de los calados para cada caudal de operación en un cucharón de 30°

Tabla 39. Calado para cada caudal estudiado

| N° | Relación d/H_d | Caudal-30° | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| | | 100 (l/s) d (m) | 90(l/s) d (m) | 80(l/s) d (m) | 70(l/s) d (m) | 60(l/s) d (m) | 50(l/s) d (m) | 40(l/s) d (m) | 30(l/s) d (m) | 20(l/s) d (m) | 10(l/s) d (m) | |
| CRESTAS AGUAS A ARRIBA | 7 | 0.3185 | 0.1720 | 0.1670 | 0.1440 | 0.1380 | 0.1230 | 0.1130 | 0.1020 | 0.0810 | 0.0760 | 0.0540 |
| | 6 | 0.3177 | 0.1716 | 0.1666 | 0.1436 | 0.1377 | 0.1227 | 0.1127 | 0.1017 | 0.0808 | 0.0758 | 0.0539 |
| | 5 | 0.3179 | 0.1717 | 0.1667 | 0.1437 | 0.1377 | 0.1228 | 0.1128 | 0.1018 | 0.0808 | 0.0759 | 0.0539 |
| | 4 | 0.3196 | 0.1726 | 0.1676 | 0.1445 | 0.1385 | 0.1234 | 0.1134 | 0.1024 | 0.0813 | 0.0763 | 0.0542 |
| | 3 | 0.3176 | 0.1715 | 0.1665 | 0.1436 | 0.1376 | 0.1227 | 0.1127 | 0.1017 | 0.0808 | 0.0758 | 0.0538 |
| | 2 | 0.3178 | 0.1716 | 0.1666 | 0.1437 | 0.1377 | 0.1227 | 0.1128 | 0.1018 | 0.0808 | 0.0758 | 0.0539 |
| | 1 | 0.1224 | 0.0661 | 0.0642 | 0.0553 | 0.0530 | 0.0473 | 0.0434 | 0.0392 | 0.0311 | 0.0292 | 0.0208 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.1096 | 0.0592 | 0.0575 | 0.0496 | 0.0475 | 0.0423 | 0.0389 | 0.0351 | 0.0279 | 0.0262 | 0.0186 |
| | 3 | 0.0466 | 0.0252 | 0.0244 | 0.0211 | 0.0202 | 0.0180 | 0.0165 | 0.0149 | 0.0119 | 0.0111 | 0.0079 |
| | 4 | 0.0351 | 0.0190 | 0.0184 | 0.0159 | 0.0152 | 0.0136 | 0.0125 | 0.0112 | 0.0089 | 0.0084 | 0.0060 |
| | 5 | 0.0371 | 0.0200 | 0.0195 | 0.0168 | 0.0161 | 0.0143 | 0.0132 | 0.0119 | 0.0094 | 0.0089 | 0.0063 |
| | 6 | 0.0398 | 0.0215 | 0.0209 | 0.0180 | 0.0172 | 0.0154 | 0.0141 | 0.0127 | 0.0101 | 0.0095 | 0.0067 |
| | 7 | 0.0433 | 0.0234 | 0.0227 | 0.0196 | 0.0188 | 0.0167 | 0.0154 | 0.0139 | 0.0110 | 0.0103 | 0.0073 |
| | 8 | 0.0474 | 0.0256 | 0.0249 | 0.0214 | 0.0205 | 0.0183 | 0.0168 | 0.0152 | 0.0121 | 0.0113 | 0.0080 |
| | 9 | 0.0513 | 0.0277 | 0.0269 | 0.0232 | 0.0222 | 0.0198 | 0.0182 | 0.0164 | 0.0130 | 0.0122 | 0.0087 |
| | 10 | 0.0573 | 0.0309 | 0.0300 | 0.0259 | 0.0248 | 0.0221 | 0.0203 | 0.0184 | 0.0146 | 0.0137 | 0.0097 |
| | 11 | 0.0543 | 0.0293 | 0.0285 | 0.0246 | 0.0235 | 0.0210 | 0.0193 | 0.0174 | 0.0138 | 0.0130 | 0.0092 |
| | 12 | 0.0421 | 0.0227 | 0.0221 | 0.0190 | 0.0182 | 0.0163 | 0.0149 | 0.0135 | 0.0107 | 0.0100 | 0.0071 |
| | RAPIDA | 13 | 0.038 | 0.0205 | 0.0199 | 0.0172 | 0.0165 | 0.0147 | 0.0135 | 0.0122 | 0.0097 | 0.0091 |
| 14 | | 0.3807 | 0.2056 | 0.1996 | 0.1721 | 0.1650 | 0.1470 | 0.1351 | 0.1219 | 0.0968 | 0.0908 | 0.0645 |
| 15 | | 0.0381 | 0.0206 | 0.0200 | 0.0172 | 0.0165 | 0.0147 | 0.0135 | 0.0122 | 0.0097 | 0.0091 | 0.0065 |
| 16 | | 0.0383 | 0.0207 | 0.0201 | 0.0173 | 0.0166 | 0.0148 | 0.0136 | 0.0123 | 0.0097 | 0.0091 | 0.0065 |
| CUCHARON | 17 | 0.0522 | 0.0282 | 0.0274 | 0.0236 | 0.0226 | 0.0202 | 0.0185 | 0.0167 | 0.0133 | 0.0125 | 0.0089 |
| | 18 | 0.0538 | 0.0291 | 0.0282 | 0.0243 | 0.0233 | 0.0208 | 0.0191 | 0.0172 | 0.0137 | 0.0128 | 0.0091 |
| | 19 | 0.0613 | 0.0331 | 0.0321 | 0.0277 | 0.0266 | 0.0237 | 0.0217 | 0.0196 | 0.0156 | 0.0146 | 0.0104 |
| | 20 | 0.0564 | 0.0305 | 0.0296 | 0.0255 | 0.0244 | 0.0218 | 0.0200 | 0.0181 | 0.0143 | 0.0135 | 0.0096 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-3: Determinación de los calados para cada caudal de operación en un cucharón de 35°

Tabla 40. Calado para cada caudal estudiado

| N° | Relación d/H_d | Caudal-35° | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| | | 100 (l/s) d (m) | 90(l/s) d (m) | 80(l/s) d (m) | 70(l/s) d (m) | 60(l/s) d (m) | 50(l/s) d (m) | 40(l/s) d (m) | 30(l/s) d (m) | 20(l/s) d (m) | 10(l/s) d (m) | |
| CRESTAS AGUAS A ARRIBA | 7 | 0.3185 | 0.1630 | 0.1420 | 0.1350 | 0.1310 | 0.1150 | 0.1060 | 0.0910 | 0.0720 | 0.0620 | 0.0410 |
| | 6 | 0.3177 | 0.1626 | 0.1416 | 0.1347 | 0.1307 | 0.1147 | 0.1057 | 0.0908 | 0.0718 | 0.0618 | 0.0409 |
| | 5 | 0.3179 | 0.1627 | 0.1417 | 0.1347 | 0.1308 | 0.1148 | 0.1058 | 0.0908 | 0.0719 | 0.0619 | 0.0409 |
| | 4 | 0.3196 | 0.1636 | 0.1425 | 0.1355 | 0.1315 | 0.1154 | 0.1064 | 0.0913 | 0.0722 | 0.0622 | 0.0411 |
| | 3 | 0.3176 | 0.1625 | 0.1416 | 0.1346 | 0.1306 | 0.1147 | 0.1057 | 0.0907 | 0.0718 | 0.0618 | 0.0409 |
| | 2 | 0.3178 | 0.1626 | 0.1417 | 0.1347 | 0.1307 | 0.1147 | 0.1058 | 0.0908 | 0.0718 | 0.0619 | 0.0409 |
| | 1 | 0.1224 | 0.0626 | 0.0546 | 0.0519 | 0.0503 | 0.0442 | 0.0407 | 0.0350 | 0.0277 | 0.0238 | 0.0158 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.1096 | 0.0561 | 0.0489 | 0.0465 | 0.0451 | 0.0396 | 0.0365 | 0.0313 | 0.0248 | 0.0213 | 0.0141 |
| | 3 | 0.0466 | 0.0238 | 0.0208 | 0.0198 | 0.0192 | 0.0168 | 0.0155 | 0.0133 | 0.0105 | 0.0091 | 0.0060 |
| | 4 | 0.0351 | 0.0180 | 0.0156 | 0.0149 | 0.0144 | 0.0127 | 0.0117 | 0.0100 | 0.0079 | 0.0068 | 0.0045 |
| | 5 | 0.0371 | 0.0190 | 0.0165 | 0.0157 | 0.0153 | 0.0134 | 0.0123 | 0.0106 | 0.0084 | 0.0072 | 0.0048 |
| | 6 | 0.0398 | 0.0204 | 0.0177 | 0.0169 | 0.0164 | 0.0144 | 0.0132 | 0.0114 | 0.0090 | 0.0077 | 0.0051 |
| | 7 | 0.0433 | 0.0222 | 0.0193 | 0.0184 | 0.0178 | 0.0156 | 0.0144 | 0.0124 | 0.0098 | 0.0084 | 0.0056 |
| | 8 | 0.0474 | 0.0243 | 0.0211 | 0.0201 | 0.0195 | 0.0171 | 0.0158 | 0.0135 | 0.0107 | 0.0092 | 0.0061 |
| | 9 | 0.0513 | 0.0263 | 0.0229 | 0.0217 | 0.0211 | 0.0185 | 0.0171 | 0.0147 | 0.0116 | 0.0100 | 0.0066 |
| | 10 | 0.0573 | 0.0293 | 0.0255 | 0.0243 | 0.0236 | 0.0207 | 0.0191 | 0.0164 | 0.0130 | 0.0112 | 0.0074 |
| | 11 | 0.0543 | 0.0278 | 0.0242 | 0.0230 | 0.0223 | 0.0196 | 0.0181 | 0.0155 | 0.0123 | 0.0106 | 0.0070 |
| | 12 | 0.0421 | 0.0215 | 0.0188 | 0.0178 | 0.0173 | 0.0152 | 0.0140 | 0.0120 | 0.0095 | 0.0082 | 0.0054 |
| | RAPIDA | 13 | 0.0359 | 0.0184 | 0.0160 | 0.0152 | 0.0148 | 0.0130 | 0.0119 | 0.0103 | 0.0081 | 0.0070 |
| 14 | | 0.0359 | 0.0184 | 0.0160 | 0.0152 | 0.0148 | 0.0130 | 0.0119 | 0.0103 | 0.0081 | 0.0070 | 0.0046 |
| 15 | | 0.036 | 0.0184 | 0.0161 | 0.0153 | 0.0148 | 0.0130 | 0.0120 | 0.0103 | 0.0081 | 0.0070 | 0.0046 |
| 16 | | 0.0362 | 0.0185 | 0.0161 | 0.0153 | 0.0149 | 0.0131 | 0.0120 | 0.0103 | 0.0082 | 0.0070 | 0.0047 |
| CUCHARON | 17 | 0.0493 | 0.0252 | 0.0220 | 0.0209 | 0.0203 | 0.0178 | 0.0164 | 0.0141 | 0.0111 | 0.0096 | 0.0063 |
| | 18 | 0.0508 | 0.0260 | 0.0226 | 0.0215 | 0.0209 | 0.0183 | 0.0169 | 0.0145 | 0.0115 | 0.0099 | 0.0065 |
| | 19 | 0.0579 | 0.0296 | 0.0258 | 0.0245 | 0.0238 | 0.0209 | 0.0193 | 0.0165 | 0.0131 | 0.0113 | 0.0075 |
| | 20 | 0.0533 | 0.0273 | 0.0238 | 0.0226 | 0.0219 | 0.0192 | 0.0177 | 0.0152 | 0.0120 | 0.0104 | 0.0069 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-4: Cuadro de disipación de energía con un caudal máximo de 100l/s.

Tabla 41. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.1 m ³ /s | Gravedad | 9.81 | m ² /s | E _{T2} : | 0.4457 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.074m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.1860 | 0.3544 | 0.2822 | 0.4182 | 0.3905 | 6.783 | 7.5915 | 94.1295 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1855 | 0.3557 | 0.2811 | 0.1647 | 0.3876 | 6.816 | 7.2038 | 93.8135 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1856 | 0.3569 | 0.2802 | 0.1152 | 0.3852 | 6.840 | 7.2249 | 93.8315 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1866 | 0.3582 | 0.2792 | 0.1572 | 0.3823 | 6.859 | 7.2412 | 93.8455 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1855 | 0.3584 | 0.2790 | 0.1531 | 0.3819 | 6.873 | 7.2550 | 93.8572 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1856 | 0.3589 | 0.2787 | 0.1259 | 0.3809 | 6.882 | 7.2634 | 93.8643 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0715 | 0.3069 | 0.3259 | 0.0164 | 0.5209 | 6.886 | 7.4069 | 93.9831 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0640 | 0.2943 | 0.3398 | 0.0037 | 0.5663 | 6.690 | 7.2561 | 93.8581 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0272 | 0.2684 | 0.3726 | 0.0056 | 0.6811 | 6.494 | 7.1747 | 93.7885 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0205 | 0.2561 | 0.3904 | 0.0069 | 0.7476 | 6.297 | 7.0450 | 93.6741 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0217 | 0.2476 | 0.4039 | 0.0162 | 0.8004 | 6.101 | 6.9016 | 93.5426 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0232 | 0.2391 | 0.4182 | 0.0184 | 0.8580 | 5.905 | 6.7630 | 93.4103 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0253 | 0.2309 | 0.4330 | -0.0291 | 0.9198 | 5.709 | 6.6286 | 93.2767 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0277 | 0.2229 | 0.4487 | -0.0694 | 0.9874 | 5.513 | 6.5000 | 93.1437 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0300 | 0.2148 | 0.4656 | -0.0563 | 1.0632 | 5.316 | 6.3796 | 93.0143 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0335 | 0.2072 | 0.4825 | 0.0208 | 1.1420 | 5.120 | 6.2622 | 92.8833 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0317 | 0.1973 | 0.5069 | 0.0122 | 1.2602 | 4.924 | 6.1842 | 92.7936 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0246 | 0.1868 | 0.5354 | -0.0385 | 1.4062 | 4.768 | 6.1740 | 92.7816 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0247 | 0.1860 | 0.5375 | | 1.4171 | 4.751 | 6.1685 | 92.7752 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0247 | 0.1742 | 0.5742 | | 1.6171 | 4.496 | 6.1134 | 92.7100 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0248 | 0.1620 | 0.6174 | | 1.8699 | 4.233 | 6.1033 | 92.6980 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0249 | 0.1488 | 0.6718 | | 2.2140 | 3.951 | 6.1648 | 92.7709 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0339 | 0.1392 | 0.7181 | 0.4191 | 2.5297 | 3.657 | 6.1862 | 92.7959 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0349 | 0.1068 | 0.9363 | 0.4191 | 4.3002 | 2.950 | 7.2504 | 93.8533 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0398 | 0.1321 | 0.7572 | 0.7871 | 2.8120 | 3.445 | 6.2566 | 92.8770 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0366 | 0.1555 | 0.6432 | 1.1638 | 2.0293 | 3.978 | 6.0076 | 92.5817 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| Nº | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.1 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.5278 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.074m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.1720 | 0.3480 | 0.2874 | 0.4182 | 0.4050 | 6.783 | 7.6060 | 94.1407 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1716 | 0.3494 | 0.2862 | 0.1647 | 0.4019 | 6.816 | 7.3827 | 93.9635 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1717 | 0.3505 | 0.2853 | 0.1152 | 0.3992 | 6.840 | 7.3541 | 93.9400 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1726 | 0.3518 | 0.2842 | 0.1572 | 0.3963 | 6.859 | 7.4124 | 93.9876 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1715 | 0.3520 | 0.2841 | 0.1531 | 0.3959 | 6.873 | 7.4221 | 93.9955 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1716 | 0.3525 | 0.2837 | 0.1259 | 0.3948 | 6.882 | 7.4032 | 93.9801 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0661 | 0.3044 | 0.3285 | 0.0164 | 0.5293 | 6.886 | 7.4317 | 94.0032 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0592 | 0.2921 | 0.3423 | 0.0037 | 0.5748 | 6.690 | 7.2683 | 93.8685 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0252 | 0.2674 | 0.3739 | 0.0056 | 0.6858 | 6.494 | 7.1850 | 93.7973 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0190 | 0.2555 | 0.3914 | 0.0069 | 0.7516 | 6.297 | 7.0559 | 93.6838 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0200 | 0.2468 | 0.4052 | 0.0162 | 0.8054 | 6.101 | 6.9228 | 93.5624 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0215 | 0.2383 | 0.4196 | 0.0184 | 0.8636 | 5.905 | 6.7870 | 93.4336 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0234 | 0.2301 | 0.4347 | -0.0291 | 0.9268 | 5.709 | 6.6065 | 93.2541 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0256 | 0.2219 | 0.4506 | -0.0694 | 0.9960 | 5.513 | 6.4392 | 93.0790 |
| CRESTA AGUAS RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0277 | 0.2137 | 0.4679 | -0.0563 | 1.0737 | 5.316 | 6.3338 | 92.9637 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0309 | 0.2061 | 0.4853 | 0.0208 | 1.1552 | 5.120 | 6.2962 | 92.9217 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0293 | 0.1962 | 0.5097 | 0.0122 | 1.2743 | 4.924 | 6.2105 | 92.8241 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0227 | 0.1859 | 0.5379 | -0.0385 | 1.4193 | 4.768 | 6.1487 | 92.7520 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0205 | 0.1841 | 0.5431 | | 1.4468 | 4.751 | 6.1982 | 92.8098 |
| CUCHARO N | 14 | 0.3564 | 0.0256 | 0.2568 | 0.3894 | | 0.7436 | 4.496 | 6.2399 | 91.4948 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0206 | 0.1600 | 0.6248 | | 1.9150 | 4.233 | 6.1484 | 92.7516 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0207 | 0.1469 | 0.6806 | | 2.2722 | 3.951 | 6.2230 | 92.8385 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0282 | 0.1366 | 0.7318 | 0.4457 | 2.6270 | 3.657 | 6.7292 | 93.3772 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0291 | 0.1042 | 0.9602 | 0.4485 | 4.5219 | 2.950 | 7.9206 | 94.3734 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0331 | 0.1290 | 0.7751 | 0.9440 | 2.9470 | 3.445 | 7.3357 | 93.9248 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0305 | 0.1527 | 0.6549 | 1.2129 | 2.1040 | 3.978 | 7.2953 | 93.8911 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°

| N° | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.1 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4708 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.074m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.1630 | 0.3439 | 0.2908 | 0.4182 | 0.4148 | 6.783 | 7.6158 | 94.1482 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1626 | 0.3453 | 0.2896 | 0.1647 | 0.4115 | 6.816 | 7.3924 | 93.9713 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1627 | 0.3464 | 0.2887 | 0.1152 | 0.4088 | 6.840 | 7.3636 | 93.9478 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1636 | 0.3477 | 0.2876 | 0.1572 | 0.4057 | 6.859 | 7.4218 | 93.9952 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1625 | 0.3479 | 0.2875 | 0.1531 | 0.4054 | 6.873 | 7.4315 | 94.0031 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1626 | 0.3483 | 0.2871 | 0.1259 | 0.4042 | 6.882 | 7.4126 | 93.9877 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0626 | 0.3028 | 0.3302 | 0.0164 | 0.5349 | 6.886 | 7.4373 | 94.0078 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0561 | 0.2907 | 0.3440 | 0.0037 | 0.5804 | 6.690 | 7.2740 | 93.8732 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0238 | 0.2668 | 0.3748 | 0.0056 | 0.6891 | 6.494 | 7.1883 | 93.8002 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0180 | 0.2550 | 0.3921 | 0.0069 | 0.7543 | 6.297 | 7.0586 | 93.6862 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0190 | 0.2463 | 0.4060 | 0.0162 | 0.8084 | 6.101 | 6.9258 | 93.5652 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0204 | 0.2378 | 0.4205 | 0.0184 | 0.8672 | 5.905 | 6.7907 | 93.4371 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0222 | 0.2295 | 0.4357 | -0.0291 | 0.9312 | 5.709 | 6.6109 | 93.2587 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0243 | 0.2213 | 0.4518 | -0.0694 | 1.0013 | 5.513 | 6.4446 | 93.0847 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0263 | 0.2131 | 0.4693 | -0.0563 | 1.0801 | 5.316 | 6.3402 | 92.9709 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0293 | 0.2053 | 0.4870 | 0.0208 | 1.1634 | 5.120 | 6.3044 | 92.9310 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0278 | 0.1955 | 0.5115 | 0.0122 | 1.2833 | 4.924 | 6.2195 | 92.8344 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0215 | 0.1854 | 0.5395 | -0.0385 | 1.4278 | 4.768 | 6.1571 | 92.7619 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0184 | 0.1832 | 0.5460 | | 1.4620 | 4.751 | 6.2134 | 92.8274 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0184 | 0.1713 | 0.5838 | | 1.6719 | 4.496 | 6.1682 | 92.7748 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0184 | 0.1590 | 0.6288 | | 1.9393 | 4.233 | 6.1727 | 92.7801 |
| CUCHARO | 16 | 0.3008 | 0.0185 | 0.1459 | 0.6853 | | 2.3036 | 3.951 | 6.2545 | 92.8745 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0252 | 0.1353 | 0.7393 | 0.6251 | 2.6805 | 3.657 | 6.9622 | 93.5988 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0260 | 0.1027 | 0.9734 | 0.6153 | 4.6474 | 2.950 | 8.2130 | 94.5737 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0296 | 0.1274 | 0.7849 | 1.0617 | 3.0215 | 3.445 | 7.5279 | 94.0799 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0273 | 0.1512 | 0.6613 | 1.6150 | 2.1449 | 3.978 | 7.7383 | 94.2408 |

Fuente: Elaboración propia

Paso-5: Cuadro de disipación de energía para un caudal de 40 l/s.

Tabla 44. Variación de la disipación de energía cucharón de 25°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|---------|---------|
| | Caudal: | 0.04 m ³ /s | Gravedad | 9.81 | m ² /s | E _{T2} : | 0.3013 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.036m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.1120 | 0.3206 | 0.1248 | 0.6691 | 0.0764 | 6.783 | 7.5915 | 95.9979 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1117 | 0.3220 | 0.1242 | 0.2635 | 0.0757 | 6.816 | 7.2038 | 95.6283 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1118 | 0.3231 | 0.1238 | 0.1843 | 0.0752 | 6.840 | 7.2249 | 95.6429 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1124 | 0.3243 | 0.1233 | 0.2514 | 0.0746 | 6.859 | 7.2412 | 95.6546 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1117 | 0.3246 | 0.1232 | 0.2450 | 0.0745 | 6.873 | 7.2550 | 95.6634 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1118 | 0.3251 | 0.1230 | 0.2014 | 0.0742 | 6.882 | 7.2634 | 95.6691 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0430 | 0.2939 | 0.1361 | 0.0262 | 0.0909 | 6.886 | 7.4069 | 95.6816 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0385 | 0.2827 | 0.1415 | 0.0060 | 0.0982 | 6.690 | 7.2561 | 95.5615 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0164 | 0.2634 | 0.1519 | 0.0089 | 0.1131 | 6.494 | 7.1747 | 95.4396 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0123 | 0.2524 | 0.1585 | 0.0110 | 0.1232 | 6.297 | 7.0450 | 95.3075 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0130 | 0.2436 | 0.1642 | 0.0259 | 0.1323 | 6.101 | 6.9016 | 95.1666 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0140 | 0.2349 | 0.1703 | 0.0295 | 0.1422 | 5.905 | 6.7630 | 95.0177 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0152 | 0.2263 | 0.1768 | -0.0466 | 0.1532 | 5.709 | 6.6286 | 94.8603 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0167 | 0.2179 | 0.1836 | -0.1110 | 0.1654 | 5.513 | 6.5000 | 94.6937 |
| CRESTA AGUAS RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0180 | 0.2093 | 0.1911 | -0.0901 | 0.1791 | 5.316 | 6.3796 | 94.5176 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0201 | 0.2011 | 0.1989 | 0.0333 | 0.1940 | 5.120 | 6.2622 | 94.3305 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0191 | 0.1915 | 0.2088 | 0.0195 | 0.2139 | 4.924 | 6.1842 | 94.1360 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0148 | 0.1823 | 0.2194 | -0.0615 | 0.2362 | 4.768 | 6.1740 | 93.9790 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0149 | 0.1816 | 0.2203 | | 0.2381 | 4.751 | 6.1685 | 93.9614 |
| CUCHARO N | 14 | 0.3564 | 0.0149 | 0.1697 | 0.2357 | | 0.2726 | 4.496 | 6.1134 | 93.6821 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0149 | 0.1574 | 0.2541 | | 0.3166 | 4.233 | 6.1033 | 93.3783 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0150 | 0.1443 | 0.2772 | | 0.3768 | 3.951 | 6.1648 | 93.0380 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0204 | 0.1331 | 0.3006 | 0.4186 | 0.4431 | 3.657 | 6.1862 | 92.6509 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0210 | 0.1004 | 0.3982 | 0.4186 | 0.7778 | 2.950 | 7.2504 | 91.9183 |
| 19 | 0.2492 | 0.0240 | 0.1249 | 0.3204 | 0.7173 | 0.5035 | 3.445 | 6.2566 | 92.3688 | |
| 20 | 0.3036 | 0.0220 | 0.1488 | 0.2688 | 1.1218 | 0.3545 | 3.978 | 6.0076 | 93.0463 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Variación de la disipación de energía cucharón de 30°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.04 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.027m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.1020 | 0.3160 | 0.1266 | 0.6691 | 0.0786 | 6.783 | 7.5305 | 94.1407 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1017 | 0.3174 | 0.1260 | 0.2635 | 0.0779 | 6.816 | 7.1576 | 93.9635 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1018 | 0.3186 | 0.1256 | 0.1843 | 0.0773 | 6.840 | 7.1013 | 93.9400 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1024 | 0.3197 | 0.1251 | 0.2514 | 0.0768 | 6.859 | 7.1871 | 93.9876 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1017 | 0.3201 | 0.1250 | 0.2450 | 0.0766 | 6.873 | 7.1947 | 93.9955 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1018 | 0.3206 | 0.1248 | 0.2014 | 0.0764 | 6.882 | 7.1602 | 93.9801 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0392 | 0.2921 | 0.1369 | 0.0262 | 0.0920 | 6.886 | 7.0042 | 94.0032 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0351 | 0.2811 | 0.1423 | 0.0060 | 0.0993 | 6.690 | 6.7951 | 93.8685 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0149 | 0.2627 | 0.1522 | 0.0089 | 0.1137 | 6.494 | 6.6162 | 93.7973 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0112 | 0.2519 | 0.1588 | 0.0110 | 0.1237 | 6.297 | 6.4321 | 93.6838 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0119 | 0.2431 | 0.1646 | 0.0259 | 0.1328 | 6.101 | 6.2599 | 93.5624 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0127 | 0.2343 | 0.1707 | 0.0295 | 0.1430 | 5.905 | 6.0775 | 93.4336 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0139 | 0.2257 | 0.1772 | -0.0466 | 0.1540 | 5.709 | 5.8162 | 93.2541 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0152 | 0.2172 | 0.1842 | -0.1110 | 0.1664 | 5.513 | 5.5680 | 93.0790 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0164 | 0.2086 | 0.1918 | -0.0901 | 0.1804 | 5.316 | 5.4067 | 92.9637 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0184 | 0.2003 | 0.1997 | 0.0333 | 0.1955 | 5.120 | 5.3490 | 92.9217 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0174 | 0.1908 | 0.2097 | 0.0195 | 0.2157 | 4.924 | 5.1591 | 92.8241 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0135 | 0.1817 | 0.2202 | -0.0615 | 0.2377 | 4.768 | 4.9440 | 92.7520 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0122 | 0.1803 | 0.2218 | | 0.2413 | 4.751 | 4.9927 | 92.8098 |
| | 14 | 0.3564 | 0.01219 | 0.2186 | 0.1830 | | 0.1643 | 4.496 | 4.6605 | 91.4948 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0122 | 0.1562 | 0.2561 | | 0.3216 | 4.233 | 4.5550 | 92.7516 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0123 | 0.1431 | 0.2796 | | 0.3833 | 3.951 | 4.3342 | 92.8385 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0167 | 0.1314 | 0.3044 | 0.4284 | 0.4546 | 3.657 | 4.5396 | 93.3772 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0172 | 0.0987 | 0.4052 | 0.4353 | 0.8054 | 2.950 | 4.1909 | 94.3734 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0196 | 0.1228 | 0.3256 | 0.8154 | 0.5201 | 3.445 | 4.7801 | 93.9248 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0181 | 0.1470 | 0.2721 | 1.1267 | 0.3631 | 3.978 | 5.4681 | 93.8911 |

Fuente: Elaboración propia

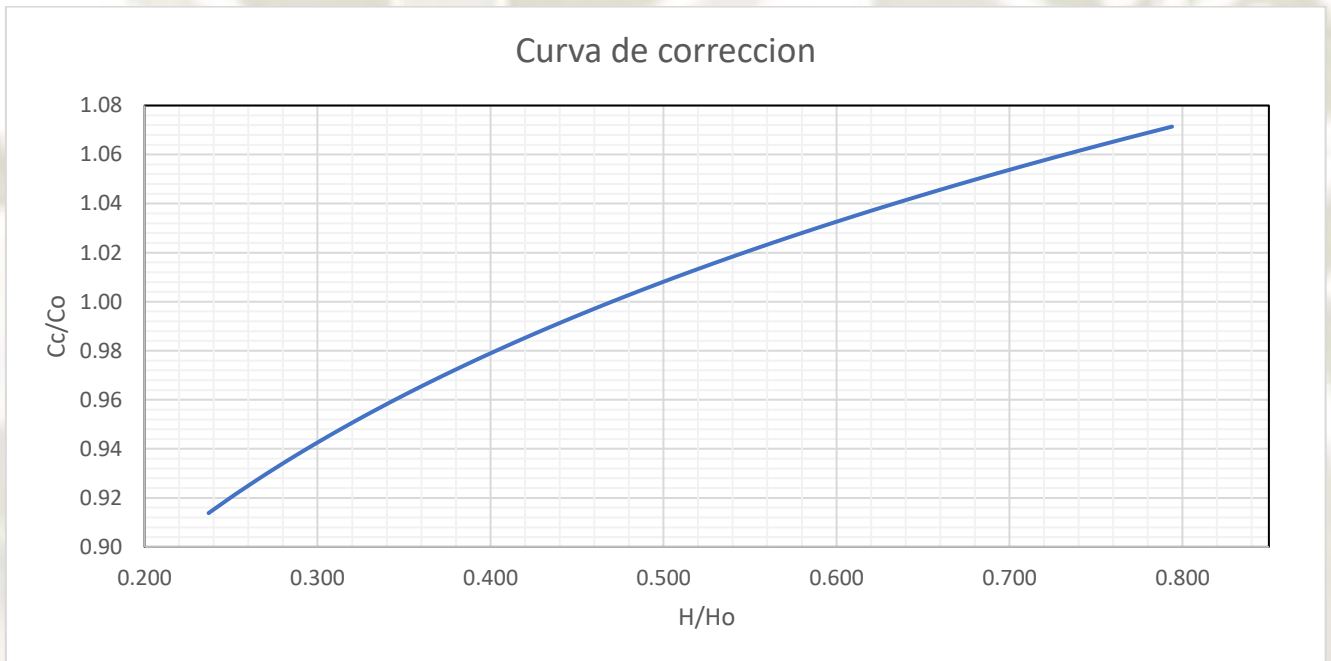
Tabla 46. Variación de la disipación cucharón de 35°

| N° | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.1 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.074m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.1630 | 0.3439 | 0.2908 | 0.4182 | 0.4148 | 6.783 | 7.6158 | 94.1482 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1626 | 0.3453 | 0.2896 | 0.1647 | 0.4115 | 6.816 | 7.3924 | 93.9713 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1627 | 0.3464 | 0.2887 | 0.1152 | 0.4088 | 6.840 | 7.3636 | 93.9478 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1636 | 0.3477 | 0.2876 | 0.1572 | 0.4057 | 6.859 | 7.4218 | 93.9952 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1625 | 0.3479 | 0.2875 | 0.1531 | 0.4054 | 6.873 | 7.4315 | 94.0031 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1626 | 0.3483 | 0.2871 | 0.1259 | 0.4042 | 6.882 | 7.4126 | 93.9877 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0626 | 0.3028 | 0.3302 | 0.0164 | 0.5349 | 6.886 | 7.4373 | 94.0078 |
| CRESTA AGUAS ABAJA | 2 | 0.5800 | 0.0561 | 0.2907 | 0.3440 | 0.0037 | 0.5804 | 6.690 | 7.2740 | 93.8732 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0238 | 0.2668 | 0.3748 | 0.0056 | 0.6891 | 6.494 | 7.1883 | 93.8002 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0180 | 0.2550 | 0.3921 | 0.0069 | 0.7543 | 6.297 | 7.0586 | 93.6862 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0190 | 0.2463 | 0.4060 | 0.0162 | 0.8084 | 6.101 | 6.9258 | 93.5652 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0204 | 0.2378 | 0.4205 | 0.0184 | 0.8672 | 5.905 | 6.7907 | 93.4371 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0222 | 0.2295 | 0.4357 | -0.0291 | 0.9312 | 5.709 | 6.6109 | 93.2587 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0243 | 0.2213 | 0.4518 | -0.0694 | 1.0013 | 5.513 | 6.4446 | 93.0847 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0263 | 0.2131 | 0.4693 | -0.0563 | 1.0801 | 5.316 | 6.3402 | 92.9709 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0293 | 0.2053 | 0.4870 | 0.0208 | 1.1634 | 5.120 | 6.3044 | 92.9310 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0278 | 0.1955 | 0.5115 | 0.0122 | 1.2833 | 4.924 | 6.2195 | 92.8344 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0215 | 0.1854 | 0.5395 | -0.0385 | 1.4278 | 4.768 | 6.1571 | 92.7619 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0184 | 0.1832 | 0.5460 | | 1.4620 | 4.751 | 6.2134 | 92.8274 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0184 | 0.1713 | 0.5838 | | 1.6719 | 4.496 | 6.1682 | 92.7748 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0184 | 0.1590 | 0.6288 | | 1.9393 | 4.233 | 6.1727 | 92.7801 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0185 | 0.1459 | 0.6853 | | 2.3036 | 3.951 | 6.2545 | 92.8745 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0252 | 0.1353 | 0.7393 | 0.6251 | 2.6805 | 3.657 | 6.9622 | 93.5988 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0260 | 0.1027 | 0.9734 | 0.6153 | 4.6474 | 2.950 | 8.2130 | 94.5737 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0296 | 0.1274 | 0.7849 | 1.0617 | 3.0215 | 3.445 | 7.5279 | 94.0799 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0273 | 0.1512 | 0.6613 | 1.6150 | 2.1449 | 3.978 | 7.7383 | 94.2408 |

Fuente: Elaboración propia

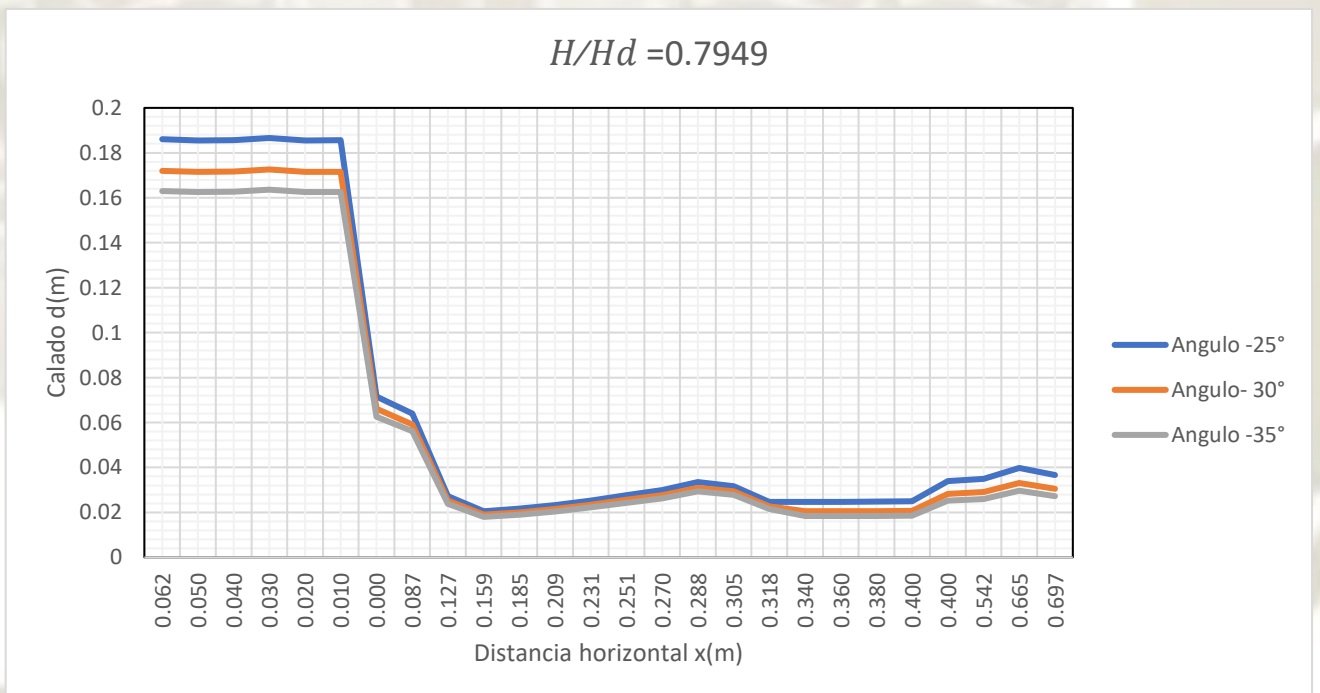
Paso 6: Graficas de control y comparación de resultados.

Grafico 15. Graficas de control



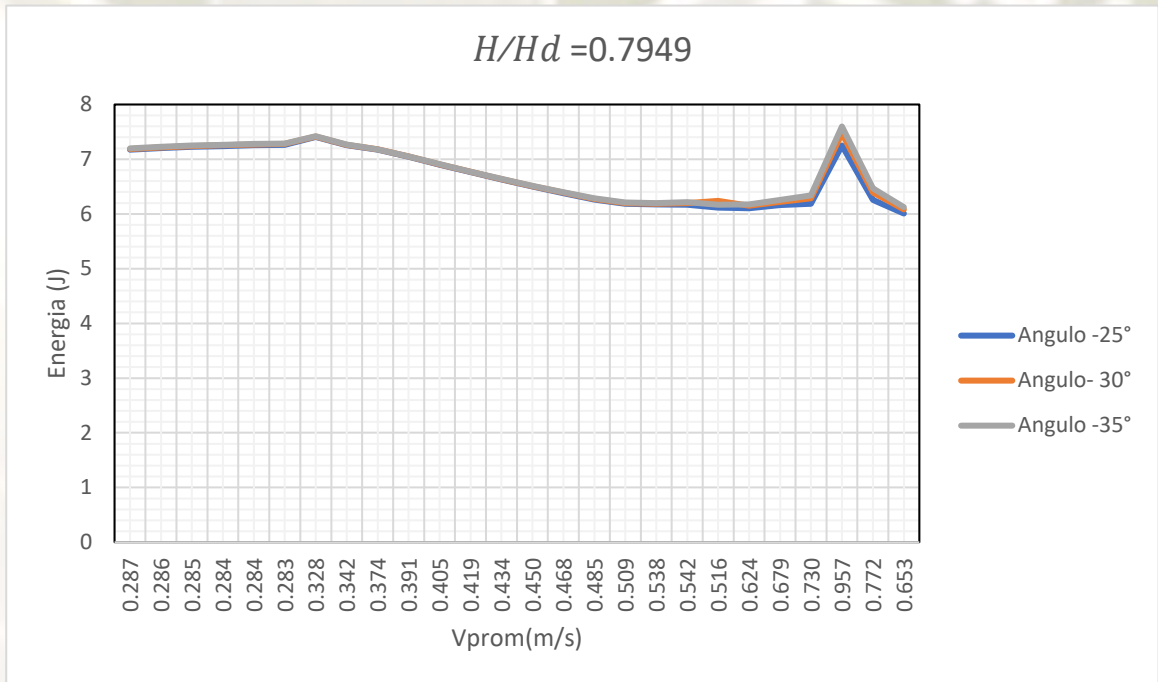
Fuente: Elaboración propia

Grafico 16. Tipos de cucharon con $H/H_d = 0.7949$ en el vertedero.



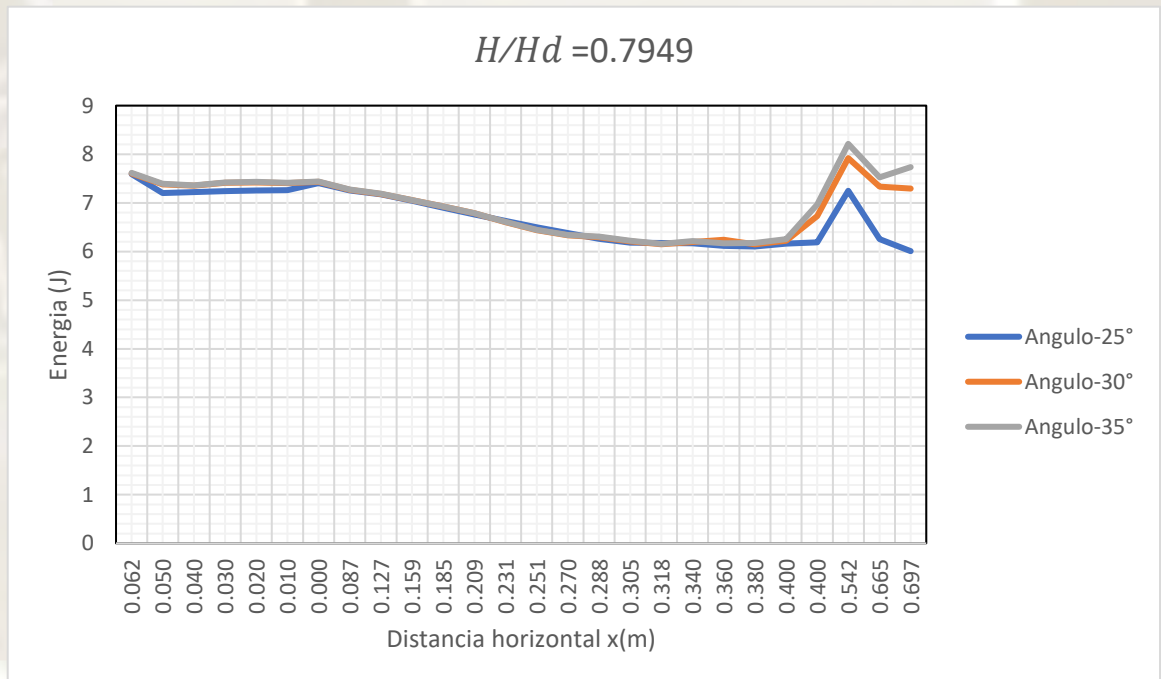
Fuente: Elaboración propia

Grafico 17. Velocidad vs energía



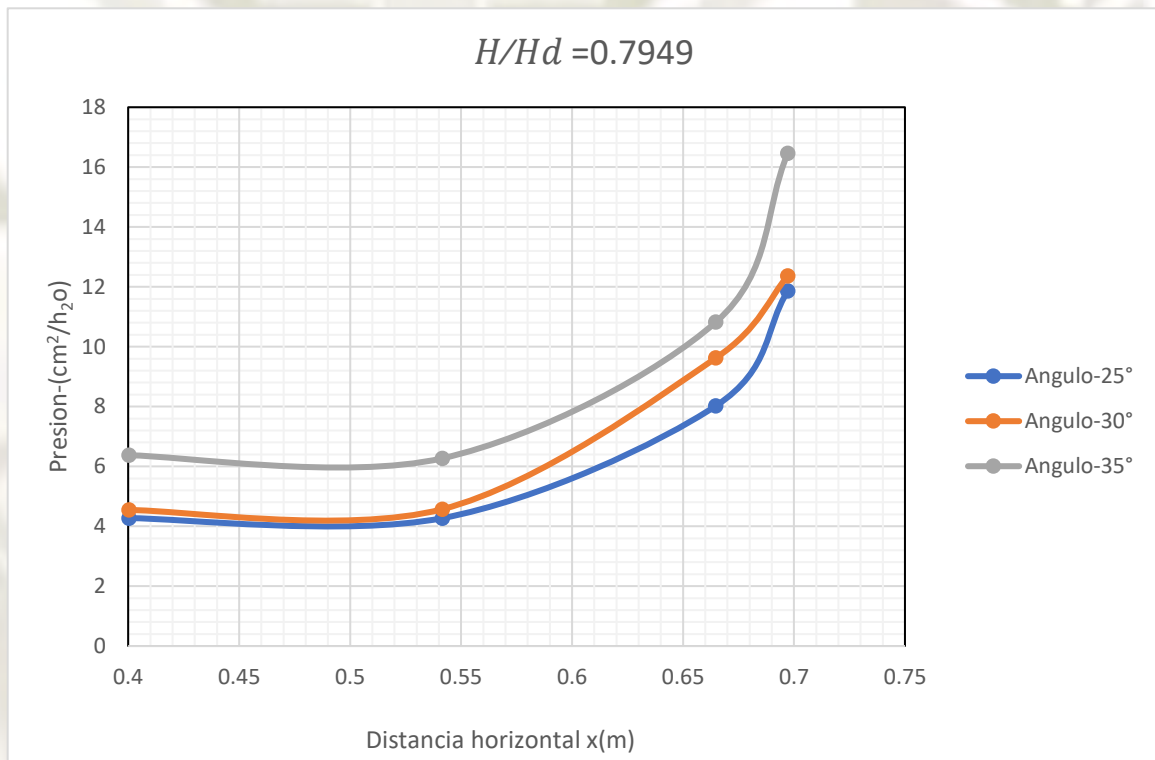
Fuente: Elaboración propia

Grafico 18. Variación de la energía a lo largo del vertedero.



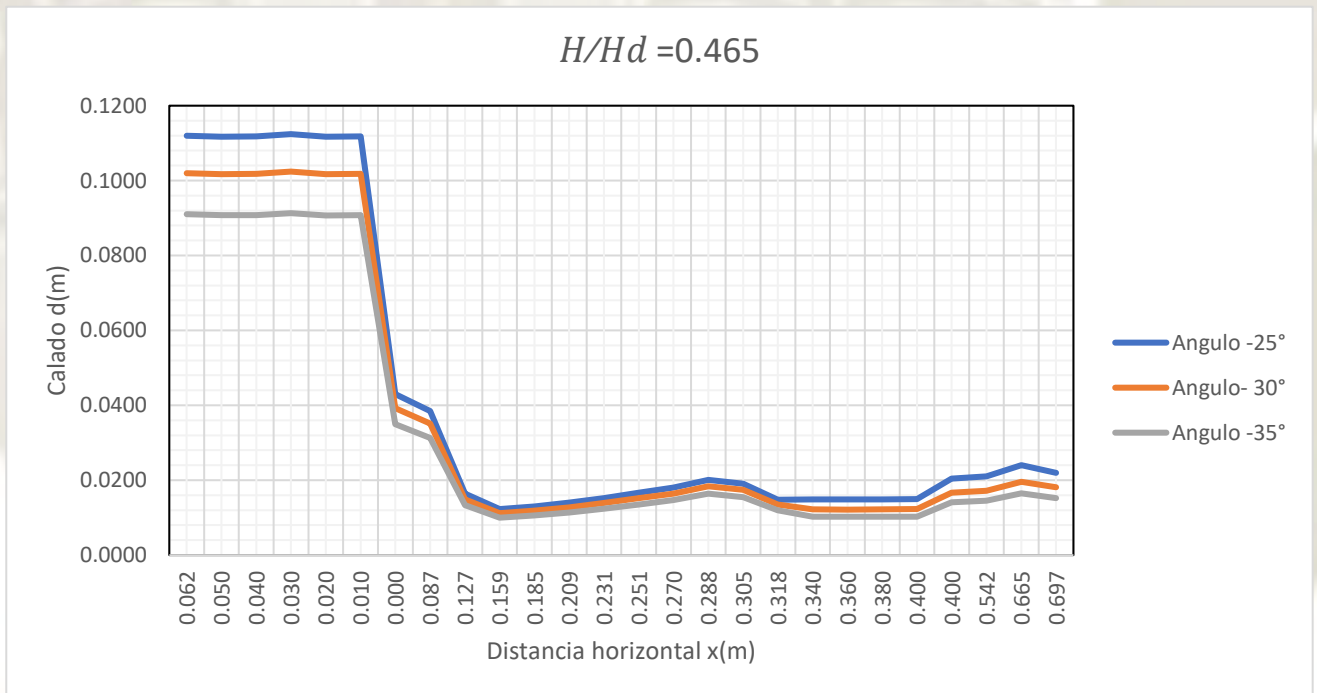
Fuente: Elaboración propia

Grafico 19. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflectora.



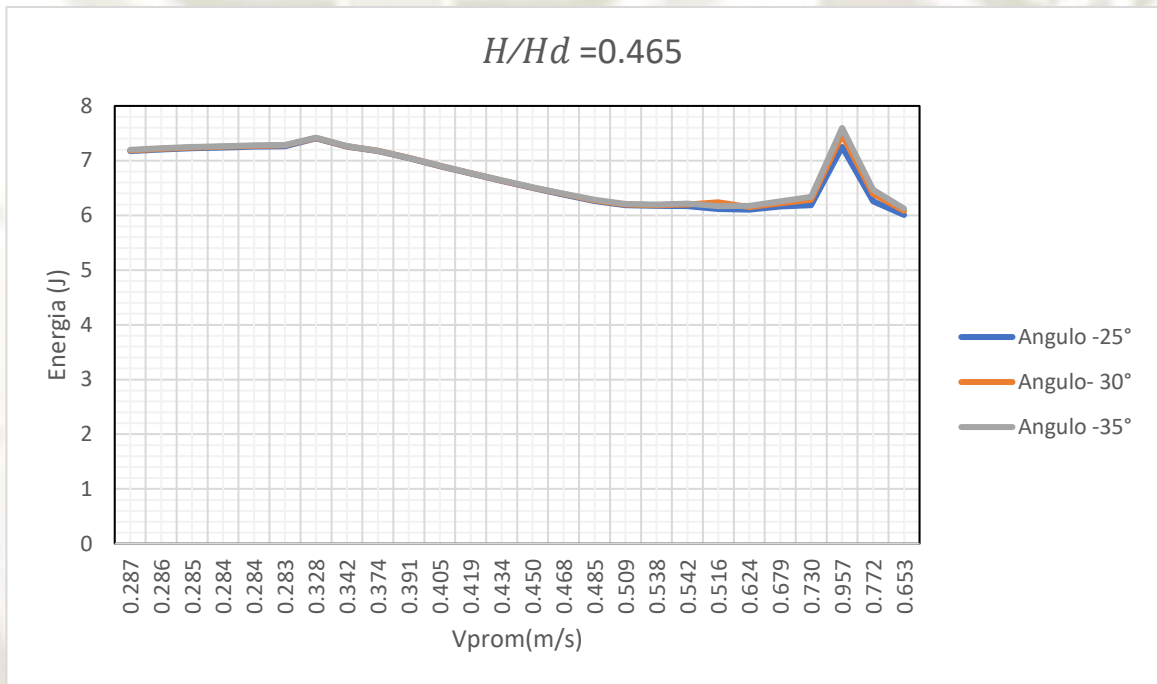
Fuente: Elaboración propia

Grafico 20. Tipos de cucharón con $H/H_d = 0.465$ en el vertedero.



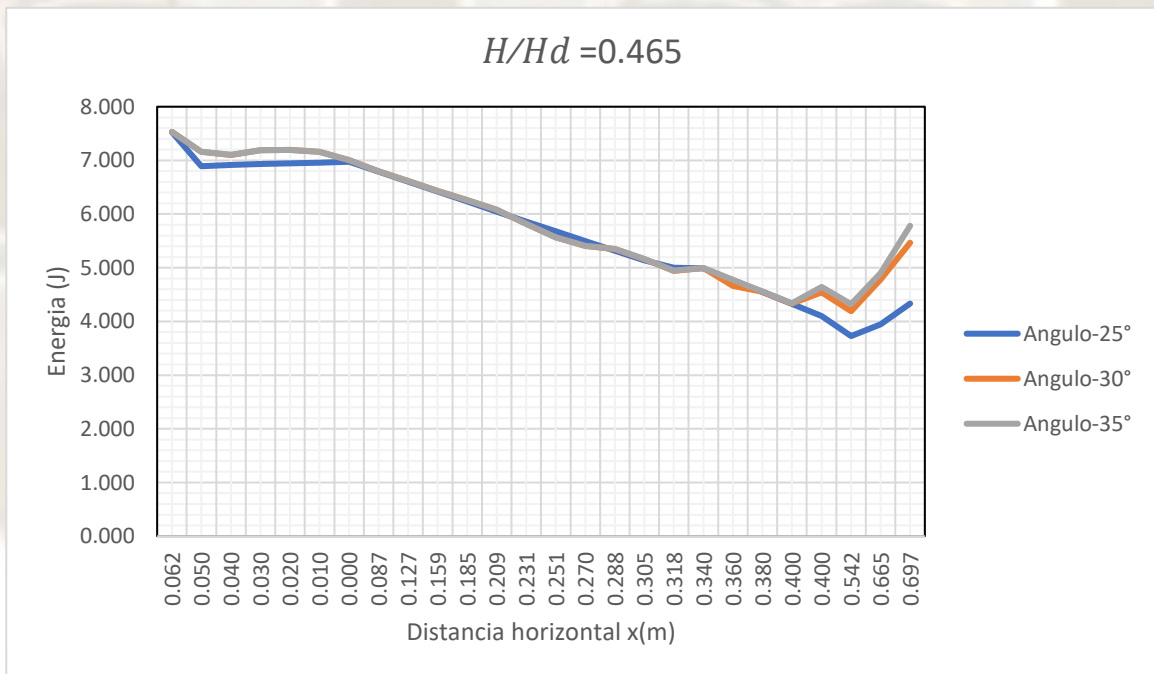
Fuente: Elaboración propia

Grafico 21. Energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



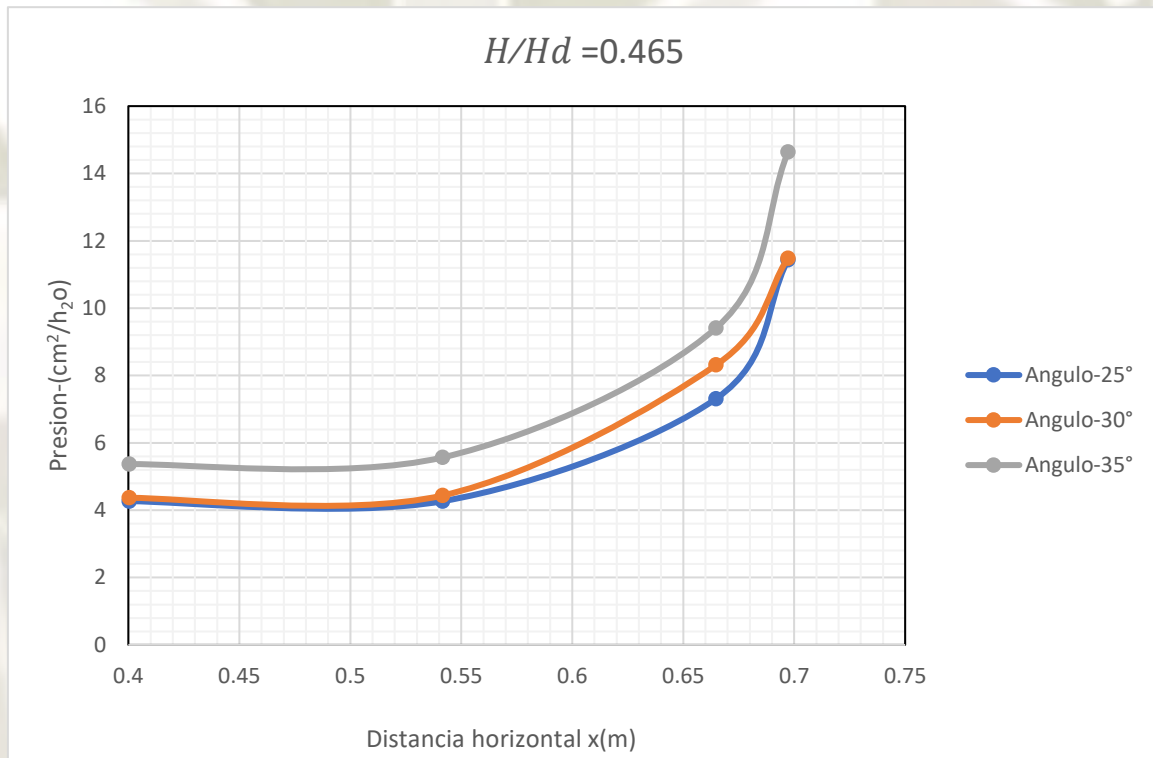
Fuente: Elaboración propia

Grafico 22. Variación de la energía a lo largo del vertedero.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 23. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflectora.



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones.

1. Las presiones en la cresta producto de su geometría convexa y la altitud geográfica tiene un comportamiento en el flujo provocando que se necesite menos volumen de agua para avanzar la misma distancia en el vertedero comparando los datos teóricos y experimentales.
2. Las presiones en la geometría convexa de la cresta son más altas en caudales más pequeños que para los últimos caudales de prueba.
3. La energía al final del cucharón presenta un incremento al final de la geometría cóncava producto de la fuerza hidrostática pero su mayor incremento se da cuando el ángulo del cucharón es más alto.
4. El calado a lo largo de la estructura de disipación se reduce, pero presenta ligeros incrementos al cambio de dirección en el cucharón antes de dejar la estructura y convertirse en chorro.
5. Las máximas presiones se desarrollan a nivel del cucharón pegado a la geometría cóncava, y son inversamente proporcionales al ángulo del cucharón es decir las mayores presiones están en el ángulo menor.
6. La disipación de energía presenta una variación entre el 90% y 95% por ciento esto produce la mayor dispersión de la energía cuando deja el cucharón producto de los factores geométricos de diseño como la energía del cucharón acumulada antes de dejar el cucharón.
7. Como experiencia en el comportamiento del flujo a lo largo de la estructura de disipación la presión atmosférica estuvo presente en donde la geometría del vertedero era variable es decir en la geometría cóncava y convexa.

Recomendaciones.

1. Para una mayor ampliación del experimento para futuras investigaciones se pueden agregar factores adicionales como el estrechamiento de paredes o un salto en esquí a diferentes niveles para seguir ampliando la base del conocimiento.
2. Para tener una lectura adecuada de las presiones retirar las burbujas de aire de las mangueras para tener mediciones adecuadas.
3. Revisar la conexión entre mangueras y bombas para evitar fugas en el experimento.
4. Esperar un tiempo para normalizar el flujo antes de pasar al siguiente caudal de medición.

Referencia.

Alvarez, T. (2014). Bases y Criterios para el Dimensionamiento Hidraulico de formas especiales de Saltos en Esqui en Presas. Quito.

Arreguín Cortés. (2010). Diseño hidráulico de vertederos. Mexico.

Avila, S. (2006). Perfil de flujo sobre un vertedero tipo cimacio y su comprobación. Mexico,,: vol XXI, num 1.

Gómez, T. (2015). Diseño de una obra de excedencias para su implementacion en el laboratorio. Mexico.

Khatsuria. (2005). Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. New York: Procs American Society of Civil Engineers.

Sotelo , A. (2004). Flujo a superficie libre sobre curvs verticales. Flujo a superficie libre sobre curvs verticales. Ingenieria Hidráulica en Mexico, vol XIX.

Standards, B. o. (2010). Criteria for hydraulic design of bucket type Energy. Dissipators.: Nueva Delh.

Perfil del flujo sobre un vertedor tipo cimacio y su comprobación

Gilberto Sotelo-Ávila Universidad Nacional Autónoma de México

Bases y criterios para el dimensionamiento hidráulico de formas especiales de saltos en esquí en presas

Jorge Augusto Toapaxi Alvarez

Proyecto de la estación depuradora de aguas residuales de ramonete, t.m. de lorca (murcia)

Consejería de agricultura y agua de la comunidad autónoma de la región de murcia

Monografía de Disipadores de Energía.

Rafael A. Pardo Gómez, Ing. Susel Lobaina Fernández, Ing. Dayron E. Martí Díaz. (La Habana, Cuba 2017).

A. J. Aisenbrey. Design of Small Canal Structures. Bureau of Reclamation, United States Department of the Interior.

Denver Colorado. 1978.

Ceballos, F.J. Visual Basic. Aplicaciones para Windows.

Ra-Ma. Madrid 1995.

Chow V.T., Hidráulica de Canales Abiertos,

University of Illinois, Ed McGraw Hill Interamericana S.A., Santa Fe Bogotá, Colombia 1994.

Hidráulica de Canales Abiertos”. Edit. McGraw-Hill.

Dr. Hubert Chanson (2002).

Manual de Diseño Hidráulico de Canales y Obras de Arte.

García, E. R. Lima 1987.

“Saltos de Agua y Presas de Embalse”, Tomo I, Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid

Gómez Navarro J.L. Y Aracil J.J. España. 1964.

United States Department of the Interior Bureau of Reclamation.

Diseño de Presas Pequeñas. 1976.

Anexos.

Tabla 47. Tirante antes y después de la estructura de disipación.

| N.º | Tirante aguas arriba | | | Tirante aguas abajo | | | |
|-----|----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Q(l/s) | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ |
| | | Y_1 (cm) | Y_1 (cm) | Y_1 (cm) | Y_2 (cm) | Y_2 (cm) | Y_2 (cm) |
| 1 | 10 | 26.00 | 26.30 | 26.80 | 1.57 | 1.54 | 1.80 |
| 2 | 20 | 29.30 | 29.40 | 29.40 | 2.60 | 2.10 | 2.30 |
| 3 | 30 | 30.70 | 30.70 | 30.70 | 3.20 | 2.50 | 2.60 |
| 4 | 40 | 33.20 | 32.50 | 33.50 | 3.60 | 2.70 | 3.30 |
| 5 | 50 | 34.50 | 34.30 | 34.50 | 3.80 | 3.90 | 3.90 |
| 6 | 60 | 35.60 | 35.60 | 35.60 | 4.20 | 4.20 | 4.40 |
| 7 | 70 | 37.20 | 37.20 | 37.40 | 5.57 | 4.30 | 5.40 |
| 8 | 80 | 38.40 | 38.30 | 38.50 | 5.66 | 5.20 | 5.70 |
| 9 | 90 | 40.30 | 39.30 | 40.70 | 6.30 | 5.80 | 6.70 |
| 10 | 100 | 41.60 | 40.40 | 41.50 | 7.40 | 6.80 | 7.40 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Calado y presiones en la estructura de disipación “cresta”.

| | Puntos | Datos Experimentales | | Datos Experimentales | | Sección Crítica Teórica | |
|---------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| | | Q (0 a 40 l/s) | | Q (40 a 100 l/s) | | Ecuaciones Adimensionales | |
| | | Calado (do- “cm”) | Presión (cm-h ₂ O) | Calado (do- “cm”) | Presión (cm-h ₂ O) | Calado (do- “cm”) | Presión (cm-h ₂ O) |
| Cresta aguas Arriba | 7 | 1.870 | 7.2471 | 3.188 | 4.263 | 3.064 | 3.921 |
| | 6 | 1.860 | 2.8543 | 3.185 | 1.679 | 3.044 | 1.739 |
| | 5 | 1.902 | 1.9958 | 3.177 | 1.174 | 3.017 | 1.448 |
| | 4 | 1.864 | 2.7234 | 3.179 | 1.602 | 2.976 | 1.174 |
| | 3 | 1.885 | 2.6537 | 3.196 | 1.561 | 2.936 | 0.925 |
| | 2 | 1.874 | 2.1811 | 3.176 | 1.283 | 2.935 | 0.452 |
| | 1 | 1.862 | 0.2839 | 3.178 | 0.167 | 2.896 | 0.137 |
| Cresta aguas Abajo | 2 | 0.296 | 0.0646 | 1.224 | 0.038 | 1.216 | 0.049 |
| | 3 | 0.276 | 0.0969 | 1.096 | 0.057 | 1.045 | 0.060 |
| | 4 | 0.211 | 0.1190 | 0.466 | 0.070 | 0.462 | 0.066 |
| | 5 | 0.162 | 0.2805 | 0.351 | 0.165 | 0.342 | 0.143 |
| | 6 | 0.156 | 0.3196 | 0.371 | 0.188 | 0.351 | 0.169 |
| | 7 | 0.136 | -0.5049 | 0.398 | -0.297 | 0.394 | -0.30 |
| | 8 | 0.130 | -1.2019 | 0.433 | -0.707 | 0.393 | 0.602 |
| | 9 | 0.106 | -0.9758 | 0.474 | -0.574 | 0.434 | -0.37 |
| | 10 | 0.115 | 0.3604 | 0.513 | 0.212 | 0.475 | 0.278 |
| | 11 | 0.108 | 0.2108 | 0.573 | 0.124 | 0.533 | 0.090 |
| | 12 | 0.104 | -0.6664 | 0.540 | -0.392 | 0.50 | -0.30 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Presiones en estructura de disipación:

| Q | $\Phi_c=25^\circ(\text{cm-h}_2\text{o})$ | | | | | $\Phi_c=30^\circ(\text{cm-h}_2\text{o})$ | | | | | $\Phi_c=35^\circ(\text{cm-h}_2\text{o})$ | | | | |
|-----|--|------------|------------|------------|-------------|--|------------|------------|------------|-------------|--|------------|------------|------------|-------------|
| | S-1 0% | S-2 25% | S-3 50% | S-4 75% | S-5 100% | S-1 0% | S-2 25% | S-3 50% | S-4 75% | S-5 100% | S-1 0% | S-2 25% | S-3 50% | S-4 75% | S-5 100% |
| 10 | 5.282 | 4.282 | 4.282 | 7.278 | 10.567 | 6.282 | 4.382 | 4.342 | 8.278 | 11.567 | 8.282 | 5.182 | 5.282 | 9.278 | 14.567 |
| 20 | 5.583 | 4.283 | 4.283 | 7.345 | 11.364 | 6.583 | 4.383 | 4.383 | 8.345 | 11.464 | 8.583 | 5.283 | 5.383 | 9.345 | 14.364 |
| 30 | 5.681 | 4.281 | 4.281 | 7.343 | 11.532 | 6.681 | 4.381 | 4.381 | 8.343 | 11.462 | 8.681 | 5.281 | 5.481 | 9.343 | 14.532 |
| 40 | 5.767 | 4.267 | 4.267 | 7.312 | 11.435 | 6.767 | 4.367 | 4.437 | 8.312 | 11.485 | 8.767 | 5.367 | 5.567 | 9.412 | 14.635 |
| 50 | 5.875 | 4.275 | 4.275 | 7.341 | 11.543 | 6.875 | 4.375 | 4.445 | 8.341 | 11.513 | 9.175 | 5.475 | 5.675 | 9.441 | 14.743 |
| 60 | 6.279 | 4.279 | 4.279 | 7.345 | 11.432 | 7.279 | 4.479 | 4.479 | 8.345 | 11.532 | 9.279 | 5.579 | 5.679 | 9.545 | 14.932 |
| 70 | 6.485 | 4.285 | 4.285 | 7.647 | 11.412 | 7.485 | 4.485 | 4.485 | 8.647 | 11.542 | 9.485 | 5.785 | 5.785 | 9.647 | 15.412 |
| 80 | 6.684 | 4.284 | 4.284 | 7.846 | 11.657 | 7.684 | 4.484 | 4.514 | 8.846 | 11.557 | 9.684 | 5.884 | 5.884 | 9.846 | 15.857 |
| 90 | 6.974 | 4.274 | 4.274 | 7.892 | 11.757 | 7.974 | 4.534 | 4.534 | 9.392 | 11.557 | 9.974 | 6.274 | 5.974 | 10.492 | 15.757 |
| 100 | 7.272 | 4.272 | 4.272 | 8.023 | 11.863 | 8.272 | 4.543 | 4.572 | 9.623 | 12.364 | 10.272 | 6.372 | 6.272 | 10.823 | 16.463 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Calado y geometría del chorro.

| Q (0 a 100 l/s) | $\Phi_c=25^\circ$ | | | $\Phi_c=30^\circ$ | | | $\Phi_c=35^\circ$ | | |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Calado ("cm") | L_{vuelo} (cm) | B_{vuelo} (cm) | Calado ("cm") | L_{vuelo} (cm) | B_{vuelo} (cm) | Calado ("cm") | L_{vuelo} (cm) | B_{vuelo} (cm) |
| 10 | 5.282 | 4.282 | 4.282 | 6.282 | 4.382 | 4.342 | 8.282 | 5.182 | 5.282 |
| 20 | 5.583 | 4.283 | 4.283 | 6.583 | 4.383 | 4.383 | 8.583 | 5.283 | 5.383 |
| 30 | 5.681 | 4.281 | 4.281 | 6.681 | 4.381 | 4.381 | 8.681 | 5.281 | 5.481 |
| 40 | 5.767 | 4.267 | 4.267 | 6.767 | 4.367 | 4.437 | 8.767 | 5.367 | 5.567 |
| 50 | 5.875 | 4.275 | 4.275 | 6.875 | 4.375 | 4.445 | 9.175 | 5.475 | 5.675 |
| 60 | 6.279 | 4.279 | 4.279 | 7.279 | 4.479 | 4.479 | 9.279 | 5.579 | 5.679 |
| 70 | 6.485 | 4.285 | 4.285 | 7.485 | 4.485 | 4.485 | 9.485 | 5.785 | 5.785 |
| 80 | 6.684 | 4.284 | 4.284 | 7.684 | 4.484 | 4.514 | 9.684 | 5.884 | 5.884 |
| 90 | 6.974 | 4.274 | 4.274 | 7.974 | 4.534 | 4.534 | 9.974 | 6.274 | 5.974 |
| 100 | 7.272 | 4.272 | 4.272 | 8.272 | 4.543 | 4.572 | 10.272 | 6.372 | 6.272 |

Fuente: Elaboración propia

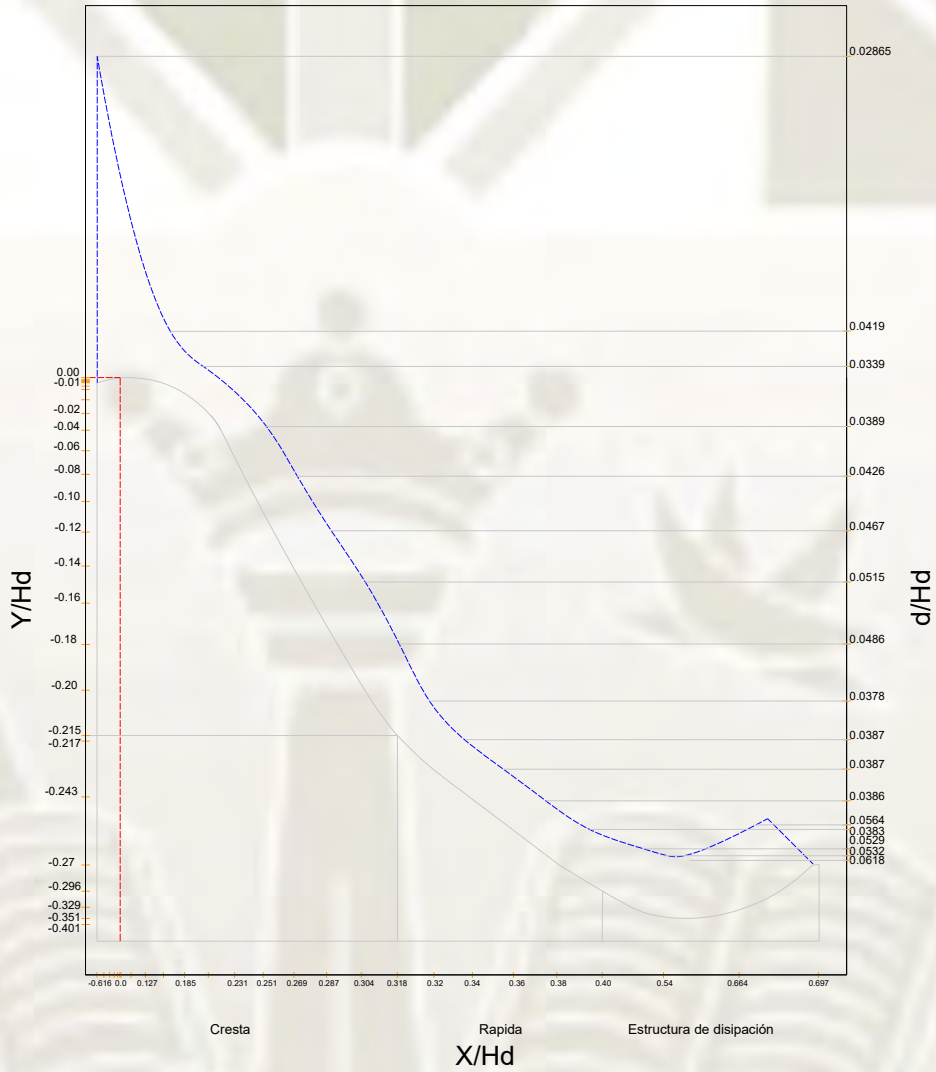
Tabla 51. calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=90 l/S) | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| | | | X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0287 | 0.0287 | 0.0287 | 4.6893 | 4.6893 | 4.6893 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0287 | 0.0287 | 0.0287 | 1.8469 | 1.8469 | 1.8469 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0286 | 0.0286 | 0.0286 | 1.2914 | 1.2914 | 1.2914 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0286 | 0.0286 | 0.0286 | 1.7622 | 1.7622 | 1.7622 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0288 | 0.0288 | 0.0288 | 1.7171 | 1.7171 | 1.7171 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0286 | 0.0286 | 0.0286 | 1.4113 | 1.4113 | 1.4113 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0286 | 0.0286 | 0.0286 | 0.1837 | 0.1837 | 0.1837 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0110 | 0.0110 | 0.0110 | 0.0418 | 0.0418 | 0.0418 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0991 | 0.0991 | 0.0991 | 0.0627 | 0.0627 | 0.0627 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0419 | 0.0419 | 0.0419 | 0.077 | 0.077 | 0.077 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0324 | 0.0324 | 0.0324 | 0.1815 | 0.1815 | 0.1815 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0339 | 0.0339 | 0.0339 | 0.2068 | 0.2068 | 0.2068 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0366 | 0.0366 | 0.0366 | -0.3267 | -0.3267 | -0.3267 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0389 | 0.0389 | 0.0389 | -0.7777 | -0.7777 | -0.7777 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0431 | 0.0431 | 0.0431 | -0.6314 | -0.6314 | -0.6314 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0462 | 0.0462 | 0.0462 | 0.2332 | 0.2332 | 0.2332 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0521 | 0.0521 | 0.0521 | 0.1364 | 0.1364 | 0.1364 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0492 | 0.0492 | 0.0492 | -0.4312 | -0.4312 | -0.4312 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0387 | 0.0342 | 0.0323 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0387 | 0.0343 | 0.0326 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0386 | 0.0344 | 0.0324 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0384 | 0.0346 | 0.0329 | - | - | - |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0529 | 0.0471 | 0.0445 | 4.274 | 4.534 | 6.274 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0532 | 0.0488 | 0.0455 | 4.274 | 4.534 | 5.974 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0618 | 0.0552 | 0.0527 | 7.892 | 9.392 | 10.492 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0563 | 0.0507 | 0.0477 | 11.757 | 11.557 | 15.757 |

Fuente: Elaboración propia

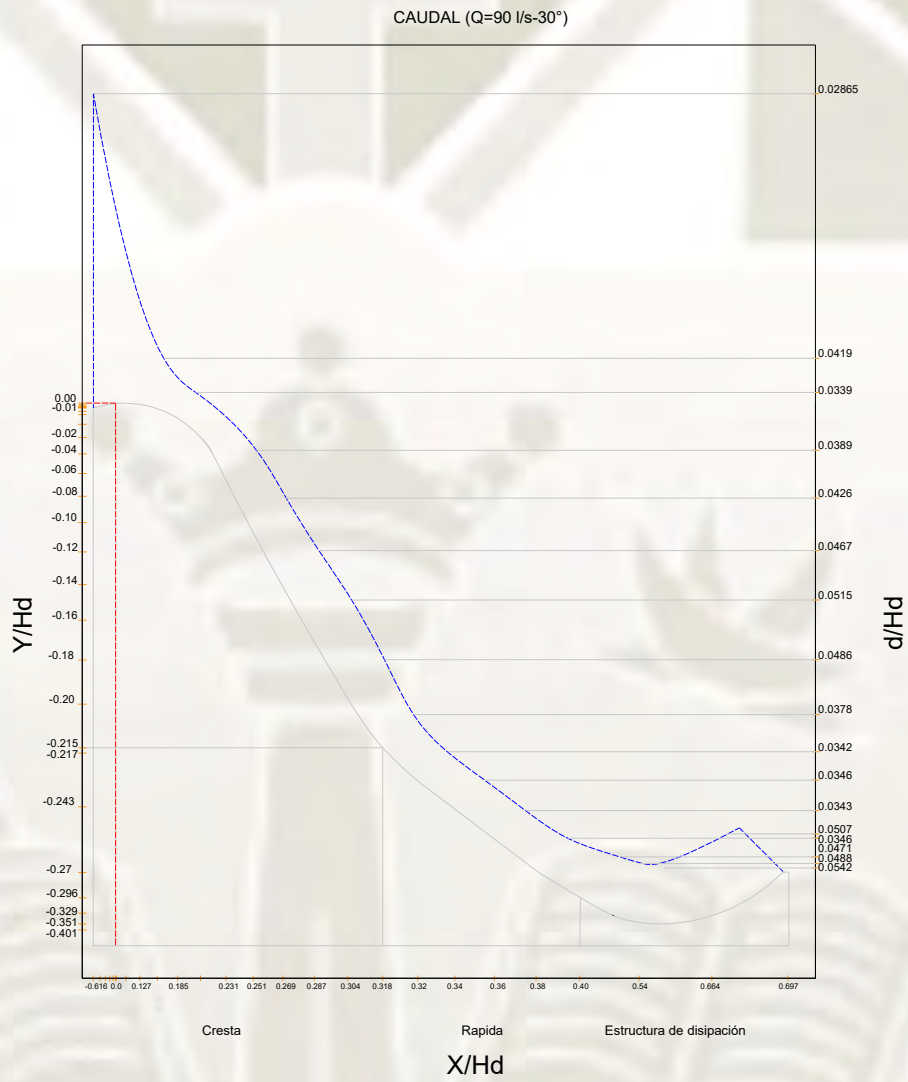
Grafico 24. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.732$ a 25°

CAUDAL (Q=90 l/s-25°)



Fuente: Elaboración propia

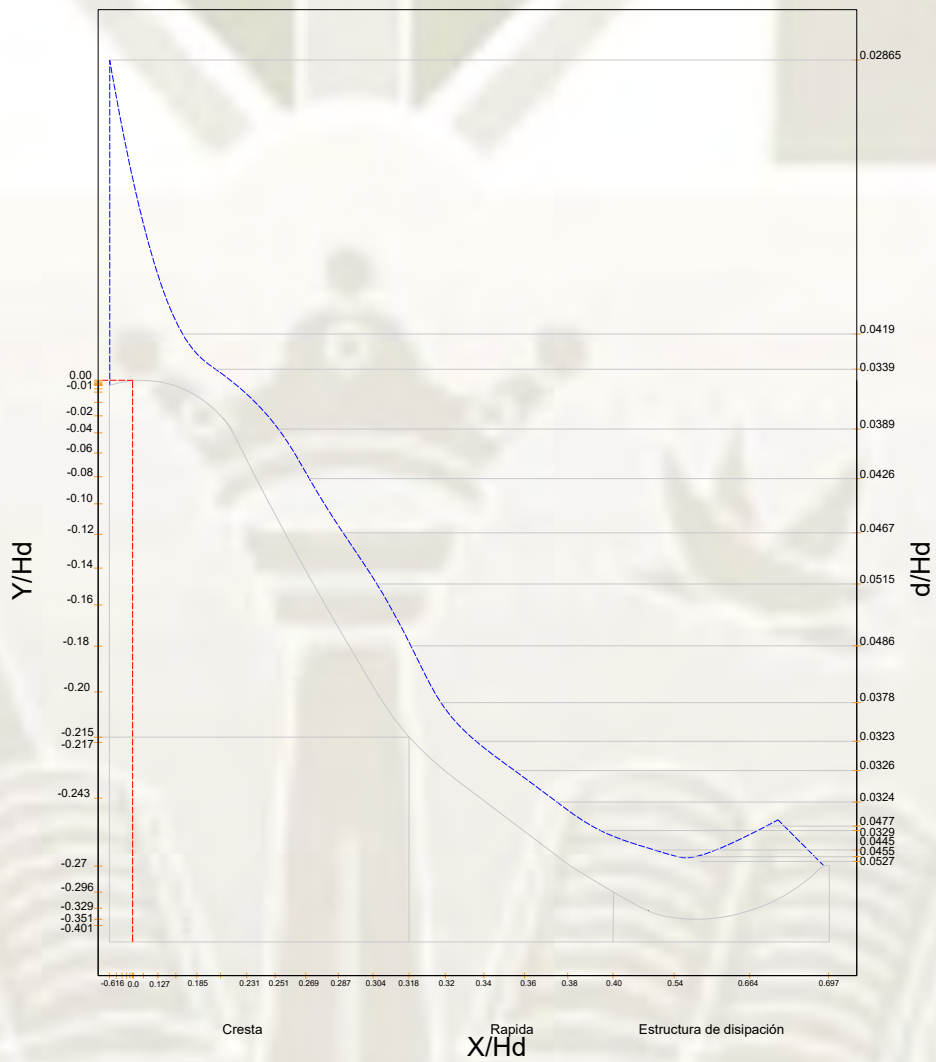
Grafico 25. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.732$ a 30°



Fuente: Elaboración propia

Grafico 26. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.732$ a 35°

CAUDAL ($Q=90 \text{ l/s}-35^\circ$)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Variación de la disipación cucharón de 25°

| N° | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.09 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.074 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.172 | 0.3480 | 0.2586 | 0.3281 | 6.783 | 0.4182 | 7.5291 | 94.0808 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1716 | 0.3494 | 0.2576 | 0.3255 | 6.816 | 0.1647 | 7.1417 | 93.7597 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1717 | 0.3505 | 0.2568 | 0.3234 | 6.840 | 0.1152 | 7.1631 | 93.7784 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1726 | 0.3518 | 0.2558 | 0.3210 | 6.859 | 0.1572 | 7.1799 | 93.7929 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1715 | 0.3520 | 0.2557 | 0.3207 | 6.873 | 0.1531 | 7.1938 | 93.8049 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1716 | 0.3525 | 0.2554 | 0.3198 | 6.882 | 0.1259 | 7.2023 | 93.8122 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0661 | 0.3044 | 0.2957 | 0.4288 | 6.886 | 0.0164 | 7.3148 | 93.9074 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0592 | 0.2921 | 0.3081 | 0.4656 | 6.690 | 0.0037 | 7.1554 | 93.7717 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0252 | 0.2674 | 0.3365 | 0.5555 | 6.494 | 0.0056 | 7.0491 | 93.6778 |
| | 4 | 0.5400 | 0.019 | 0.2555 | 0.3523 | 0.6088 | 6.297 | 0.0069 | 6.9062 | 93.5469 |
| | 5 | 0.5200 | 0.02 | 0.2468 | 0.3647 | 0.6524 | 6.101 | 0.0162 | 6.7536 | 93.4011 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0215 | 0.2383 | 0.3776 | 0.6995 | 5.905 | 0.0184 | 6.6045 | 93.2521 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0234 | 0.2301 | 0.3912 | 0.7507 | 5.709 | -0.0291 | 6.4595 | 93.1007 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0256 | 0.2219 | 0.4056 | 0.8067 | 5.513 | -0.0694 | 6.3193 | 92.9477 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0277 | 0.2137 | 0.4211 | 0.8697 | 5.316 | -0.0563 | 6.1861 | 92.7957 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0309 | 0.2061 | 0.4368 | 0.9357 | 5.120 | 0.0208 | 6.0559 | 92.6409 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0293 | 0.1962 | 0.4587 | 1.0322 | 4.924 | 0.0122 | 5.9562 | 92.5177 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0227 | 0.1859 | 0.4841 | 1.1497 | 4.768 | -0.0385 | 5.9175 | 92.4687 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0228 | 0.1852 | 0.4860 | 1.1587 | 4.751 | | 5.9100 | 92.4592 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0228 | 0.1733 | 0.5193 | 1.3230 | 4.496 | | 5.8193 | 92.3416 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0229 | 0.1611 | 0.5587 | 1.5310 | 4.233 | | 5.7644 | 92.2687 |
| | 16 | 0.3008 | 0.023 | 0.1480 | 0.6082 | 1.8144 | 3.951 | | 5.7653 | 92.2699 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0314 | 0.1381 | 0.6517 | 2.0831 | 3.657 | 0.4191 | 5.7396 | 92.2353 |
| CUCHAR ON | 18 | 0.1988 | 0.0323 | 0.1056 | 0.8522 | 3.5620 | 2.950 | 0.4191 | 6.5122 | 93.1565 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0368 | 0.1307 | 0.6886 | 2.3257 | 3.445 | 0.7871 | 5.7704 | 92.2767 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0339 | 0.1542 | 0.5835 | 1.6701 | 3.978 | 1.1638 | 5.6484 | 92.1100 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Variación de la disipación cucharón de 30°

| Nº | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.09 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.074 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.167 | 0.3457 | 0.2603 | 0.3324 | 6.783 | 0.4182 | 7.5334 | 92.9942 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1666 | 0.3471 | 0.2593 | 0.3298 | 6.816 | 0.1647 | 7.3107 | 92.7807 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1667 | 0.3482 | 0.2585 | 0.3276 | 6.840 | 0.1152 | 7.2825 | 92.7528 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1676 | 0.3495 | 0.2575 | 0.3252 | 6.859 | 0.1572 | 7.3413 | 92.8108 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1665 | 0.3497 | 0.2574 | 0.3249 | 6.873 | 0.1531 | 7.3511 | 92.8204 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1666 | 0.3502 | 0.2570 | 0.3240 | 6.882 | 0.1259 | 7.3323 | 92.8021 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0642 | 0.3035 | 0.2965 | 0.4312 | 6.886 | 0.0164 | 7.3336 | 92.8033 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0575 | 0.2913 | 0.3089 | 0.4681 | 6.690 | 0.0037 | 7.1616 | 92.6305 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0244 | 0.2671 | 0.3370 | 0.5570 | 6.494 | 0.0056 | 7.0562 | 92.5204 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0184 | 0.2552 | 0.3527 | 0.6101 | 6.297 | 0.0069 | 6.9144 | 92.3669 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0195 | 0.2466 | 0.3650 | 0.6536 | 6.101 | 0.0162 | 6.7710 | 92.2053 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0209 | 0.2381 | 0.3781 | 0.7011 | 5.905 | 0.0184 | 6.6245 | 92.0330 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0227 | 0.2297 | 0.3918 | 0.7528 | 5.709 | -0.0291 | 6.4325 | 91.7951 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0249 | 0.2216 | 0.4061 | 0.8091 | 5.513 | -0.0694 | 6.2523 | 91.5587 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0269 | 0.2134 | 0.4218 | 0.8727 | 5.316 | -0.0563 | 6.1327 | 91.3941 |
| | 10 | 0.4200 | 0.03 | 0.2057 | 0.4376 | 0.9394 | 5.120 | 0.0208 | 6.0804 | 91.3201 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0285 | 0.1958 | 0.4596 | 1.0361 | 4.924 | 0.0122 | 5.9722 | 91.1628 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0221 | 0.1856 | 0.4849 | 1.1531 | 4.768 | -0.0385 | 5.8824 | 91.0279 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0199 | 0.1839 | 0.4895 | 1.1754 | 4.751 | | 5.9268 | 91.0950 |
| | 14 | 0.3564 | 0.1996 | 0.2541 | 0.3542 | 0.6154 | 4.496 | | 5.117 | 89.6750 |
| | 15 | 0.3296 | 0.02 | 0.1598 | 0.5633 | 1.5565 | 4.233 | | 5.7899 | 90.8845 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0201 | 0.1467 | 0.6137 | 1.8474 | 3.951 | | 5.7982 | 90.8976 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0274 | 0.1363 | 0.6604 | 2.1393 | 3.657 | 0.4457 | 6.2415 | 91.5441 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0282 | 0.1037 | 0.8676 | 3.6918 | 2.950 | 0.4485 | 7.0906 | 92.5566 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0321 | 0.1286 | 0.7001 | 2.4041 | 3.445 | 0.9440 | 6.7928 | 92.2303 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0296 | 0.1523 | 0.5910 | 1.7135 | 3.978 | 1.2129 | 6.9047 | 92.3563 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Variación de la disipación cucharón de 30°

| Nº | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.09 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.068 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.167 | 0.3457 | 0.2603 | 0.3324 | 6.783 | 0.4182 | 7.5334 | 92.9942 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1666 | 0.3471 | 0.2593 | 0.3298 | 6.816 | 0.1647 | 7.3107 | 92.7807 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1667 | 0.3482 | 0.2585 | 0.3276 | 6.840 | 0.1152 | 7.2825 | 92.7528 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1676 | 0.3495 | 0.2575 | 0.3252 | 6.859 | 0.1572 | 7.3413 | 92.8108 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1665 | 0.3497 | 0.2574 | 0.3249 | 6.873 | 0.1531 | 7.3511 | 92.8204 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1666 | 0.3502 | 0.2570 | 0.3240 | 6.882 | 0.1259 | 7.3323 | 92.8021 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0642 | 0.3035 | 0.2965 | 0.4312 | 6.886 | 0.0164 | 7.3336 | 92.8033 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0575 | 0.2913 | 0.3089 | 0.4681 | 6.690 | 0.0037 | 7.1616 | 92.6305 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0244 | 0.2671 | 0.3370 | 0.5570 | 6.494 | 0.0056 | 7.0562 | 92.5204 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0184 | 0.2552 | 0.3527 | 0.6101 | 6.297 | 0.0069 | 6.9667 | 92.3669 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0195 | 0.2466 | 0.3650 | 0.6536 | 6.101 | 0.0162 | 6.7710 | 92.2053 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0209 | 0.2381 | 0.3781 | 0.7011 | 5.905 | 0.0184 | 6.6245 | 92.0330 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0227 | 0.2297 | 0.3918 | 0.7528 | 5.709 | -0.0291 | 6.4325 | 91.7951 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0249 | 0.2216 | 0.4061 | 0.8091 | 5.513 | -0.0694 | 6.2523 | 91.5587 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0269 | 0.2134 | 0.4218 | 0.8727 | 5.316 | -0.0563 | 6.1327 | 91.3941 |
| | 10 | 0.4200 | 0.03 | 0.2057 | 0.4376 | 0.9394 | 5.120 | 0.0208 | 6.1911 | 91.3201 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0285 | 0.1958 | 0.4596 | 1.0361 | 4.924 | 0.0122 | 5.9722 | 91.1628 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0221 | 0.1856 | 0.4849 | 1.1531 | 4.768 | -0.0385 | 5.8824 | 91.0279 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0199 | 0.1839 | 0.4895 | 1.1754 | 4.751 | | 5.8268 | 91.0950 |
| | 14 | 0.3564 | 0.1996 | 0.2541 | 0.3542 | 0.6154 | 4.496 | | 5.5621 | 89.6750 |
| | 15 | 0.3296 | 0.02 | 0.1598 | 0.5633 | 1.5565 | 4.233 | | 5.7899 | 90.8845 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0201 | 0.1467 | 0.6137 | 1.8474 | 3.951 | | 5.7982 | 90.8976 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0274 | 0.1363 | 0.6604 | 2.1393 | 3.657 | 0.4457 | 6.2415 | 91.5441 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0282 | 0.1037 | 0.8676 | 3.6918 | 2.950 | 0.4485 | 7.0906 | 92.5566 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0321 | 0.1286 | 0.7001 | 2.4041 | 3.445 | 0.9440 | 6.6277 | 92.2303 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0296 | 0.1523 | 0.5910 | 1.7135 | 3.978 | 1.2129 | 6.8715 | 92.3563 |

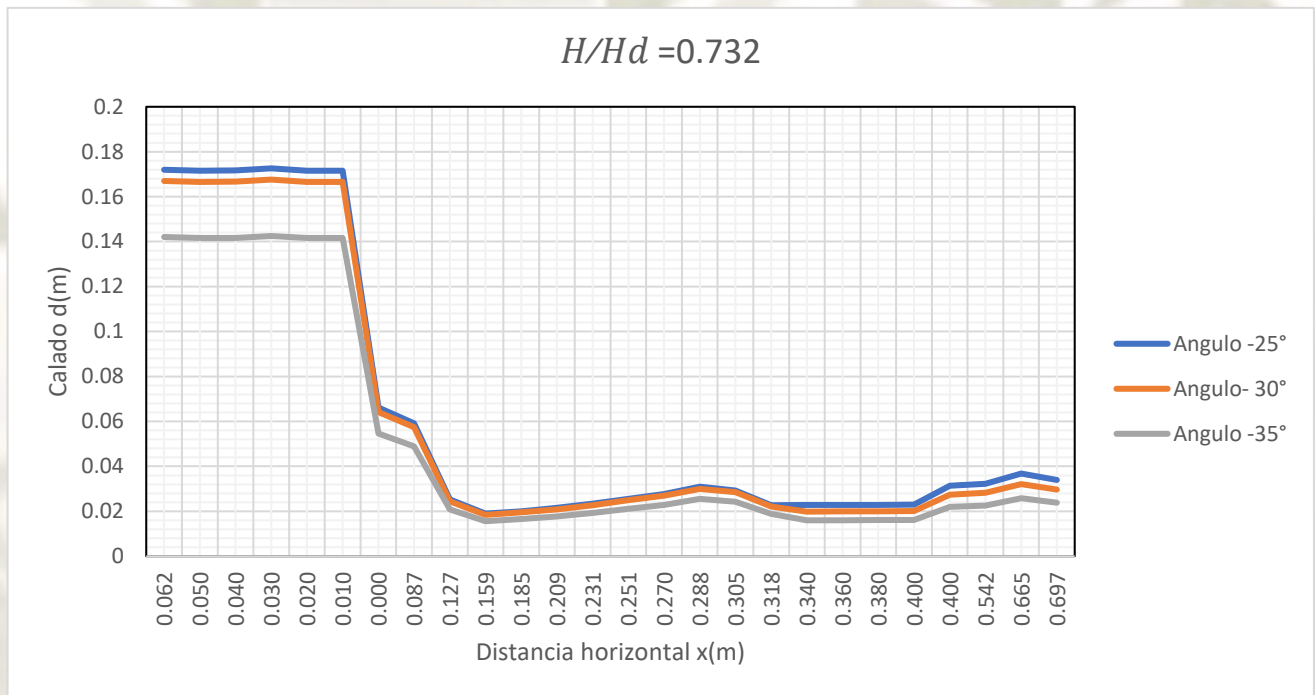
Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Variación de la disipación cucharón de 35°

| Nº | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.09 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.072 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.142 | 0.3343 | 0.2692 | 0.3555 | 6.783 | 0.4182 | 7.5565 | 93.7701 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1416 | 0.3357 | 0.2681 | 0.3526 | 6.816 | 0.1647 | 7.3335 | 93.5806 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1417 | 0.3368 | 0.2672 | 0.3503 | 6.840 | 0.1152 | 7.3051 | 93.5557 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1425 | 0.3381 | 0.2662 | 0.3476 | 6.859 | 0.1572 | 7.3637 | 93.6070 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1416 | 0.3383 | 0.2660 | 0.3471 | 6.873 | 0.1531 | 7.3733 | 93.6153 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1417 | 0.3388 | 0.2656 | 0.3461 | 6.882 | 0.1259 | 7.3545 | 93.5989 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0546 | 0.2992 | 0.3009 | 0.4440 | 6.886 | 0.0164 | 7.3463 | 93.5918 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0489 | 0.2874 | 0.3131 | 0.4810 | 6.690 | 0.0037 | 7.1745 | 93.4384 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0208 | 0.2654 | 0.3391 | 0.5639 | 6.494 | 0.0056 | 7.0631 | 93.3349 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0156 | 0.2539 | 0.3545 | 0.6163 | 6.297 | 0.0069 | 6.9205 | 93.1976 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0165 | 0.2452 | 0.3671 | 0.6609 | 6.101 | 0.0162 | 6.7783 | 93.0548 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0177 | 0.2366 | 0.3804 | 0.7098 | 5.905 | 0.0184 | 6.6332 | 92.9030 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0193 | 0.2282 | 0.3944 | 0.7631 | 5.709 | -0.0291 | 6.4427 | 92.6931 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0211 | 0.2199 | 0.4093 | 0.8219 | 5.513 | -0.0694 | 6.2651 | 92.4860 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0229 | 0.2115 | 0.4254 | 0.8878 | 5.316 | -0.0563 | 6.1479 | 92.3427 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0255 | 0.2036 | 0.4421 | 0.9585 | 5.120 | 0.0208 | 6.0995 | 92.2819 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0242 | 0.1939 | 0.4643 | 1.0572 | 4.924 | 0.0122 | 5.9933 | 92.1452 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0188 | 0.1841 | 0.4888 | 1.1720 | 4.768 | -0.0385 | 5.9014 | 92.0228 |
| | 13 | 0.3824 | 0.016 | 0.1821 | 0.4943 | 1.1985 | 4.751 | | 5.9499 | 92.0878 |
| | 14 | 0.3564 | 0.016 | 0.1702 | 0.5288 | 1.3717 | 4.496 | | 5.8680 | 91.9775 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0161 | 0.1580 | 0.5697 | 1.5918 | 4.233 | | 5.8252 | 91.9185 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0161 | 0.1448 | 0.6214 | 1.8943 | 3.951 | | 5.8451 | 91.9461 |
| | 17 | 0.2708 | 0.022 | 0.1338 | 0.6726 | 2.2190 | 3.657 | 0.6251 | 6.5006 | 92.7581 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0226 | 0.1012 | 0.8895 | 3.8809 | 2.950 | 0.6153 | 7.4464 | 93.6780 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0258 | 0.1257 | 0.7161 | 2.5155 | 3.445 | 1.0617 | 7.0219 | 93.2958 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0238 | 0.1496 | 0.6015 | 1.7747 | 3.978 | 1.6150 | 7.3681 | 93.6108 |

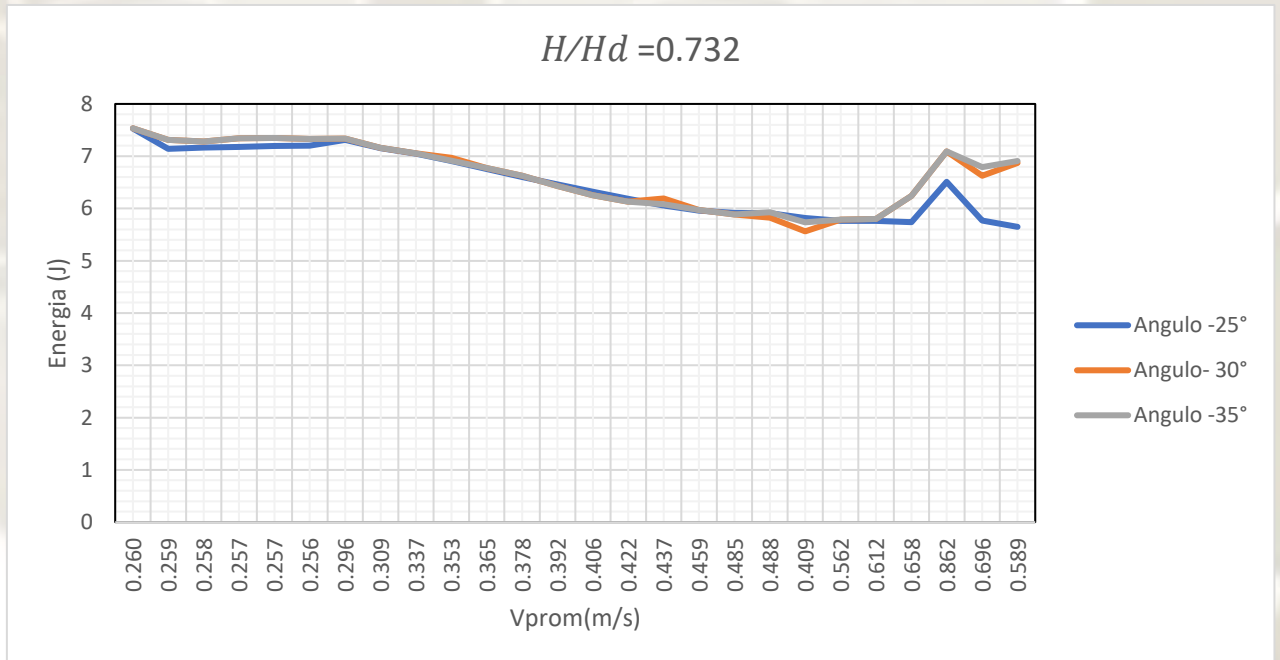
Fuente: Elaboración propia

Grafico 27. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_a = 0.732$ a 90 l/s.



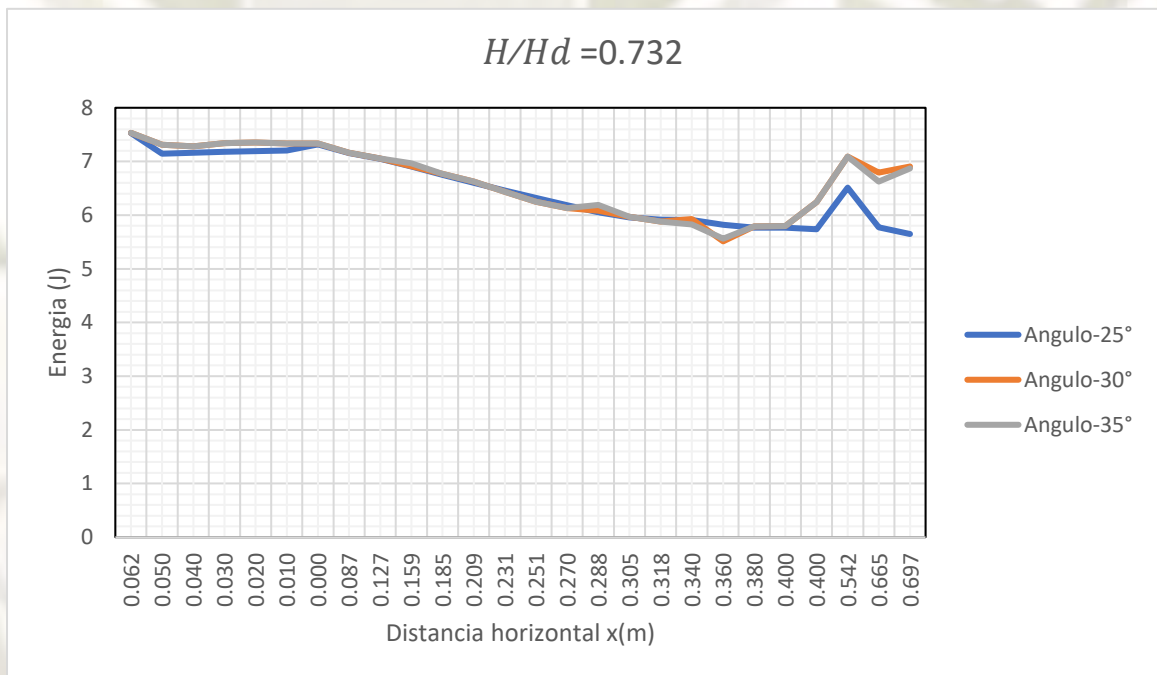
Fuente: Elaboración propia

Grafico 28. Energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



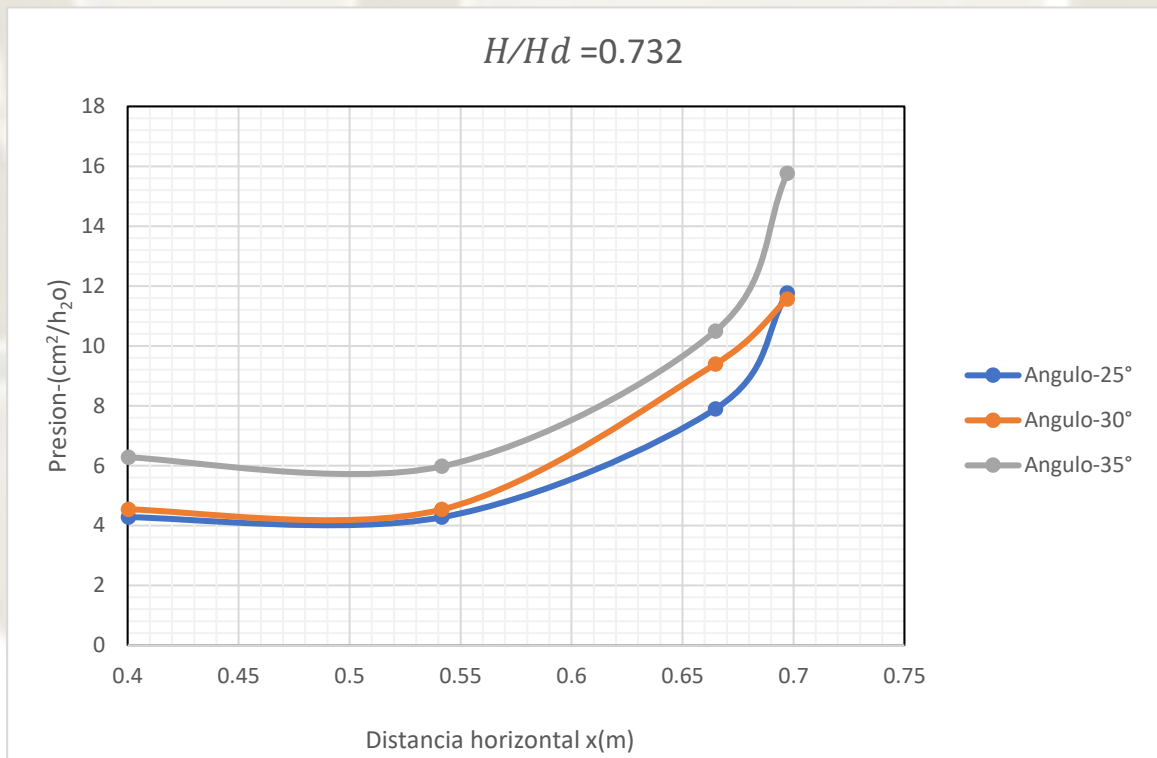
Fuente: Elaboración propia

Grafico 29. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 30. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflectora.



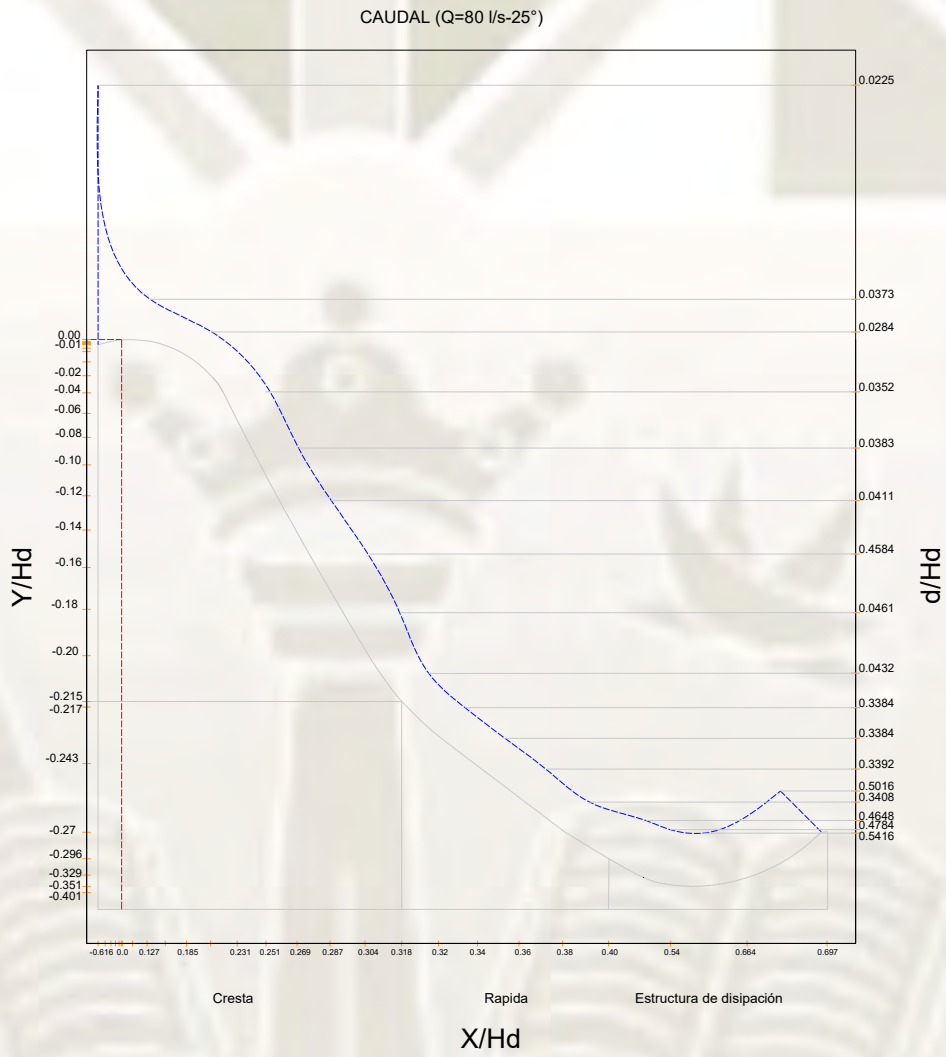
Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=80 l/S) | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| | | | X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0255 | 0.0255 | 0.0255 | 5.1156 | 5.1156 | 5.1156 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0255 | 0.0255 | 0.0255 | 2.0148 | 2.0148 | 2.0148 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0254 | 0.0254 | 0.0254 | 1.4088 | 1.4088 | 1.4088 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0254 | 0.0254 | 0.0254 | 1.9224 | 1.9224 | 1.9224 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0256 | 0.0256 | 0.0256 | 1.8732 | 1.8732 | 1.8732 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0254 | 0.0254 | 0.0254 | 1.5396 | 1.5396 | 1.5396 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0254 | 0.0254 | 0.0254 | 0.2004 | 0.2004 | 0.2004 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0981 | 0.0981 | 0.0981 | 0.0456 | 0.0456 | 0.0456 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0882 | 0.0882 | 0.0882 | 0.0684 | 0.0684 | 0.0684 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0373 | 0.0373 | 0.0373 | 0.084 | 0.084 | 0.084 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0284 | 0.0284 | 0.0284 | 0.198 | 0.198 | 0.198 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0302 | 0.0302 | 0.0302 | 0.2256 | 0.2256 | 0.2256 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0321 | 0.0321 | 0.0321 | -0.3564 | -0.3564 | -0.3564 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0352 | 0.0352 | 0.0352 | -0.8484 | -0.8484 | -0.8484 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0383 | 0.0383 | 0.0383 | -0.6888 | -0.6888 | -0.6888 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0411 | 0.0411 | 0.0411 | 0.2544 | 0.2544 | 0.2544 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0461 | 0.0461 | 0.0461 | 0.1488 | 0.1488 | 0.1488 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0432 | 0.0432 | 0.0432 | -0.4704 | -0.4704 | -0.4704 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.03384 | 0.030456 | 0.02876 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.03384 | 0.030456 | 0.02876 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.03392 | 0.030528 | 0.02883 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.03408 | 0.030672 | 0.02897 | 6.684 | 7.684 | 9.684 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.04648 | 0.041832 | 0.03951 | 4.284 | 4.484 | 5.884 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.04784 | 0.043056 | 0.04066 | 4.284 | 4.514 | 5.884 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.05456 | 0.049104 | 0.04638 | 7.846 | 8.846 | 9.846 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.05016 | 0.045144 | 0.04264 | 11.657 | 11.557 | 15.857 |

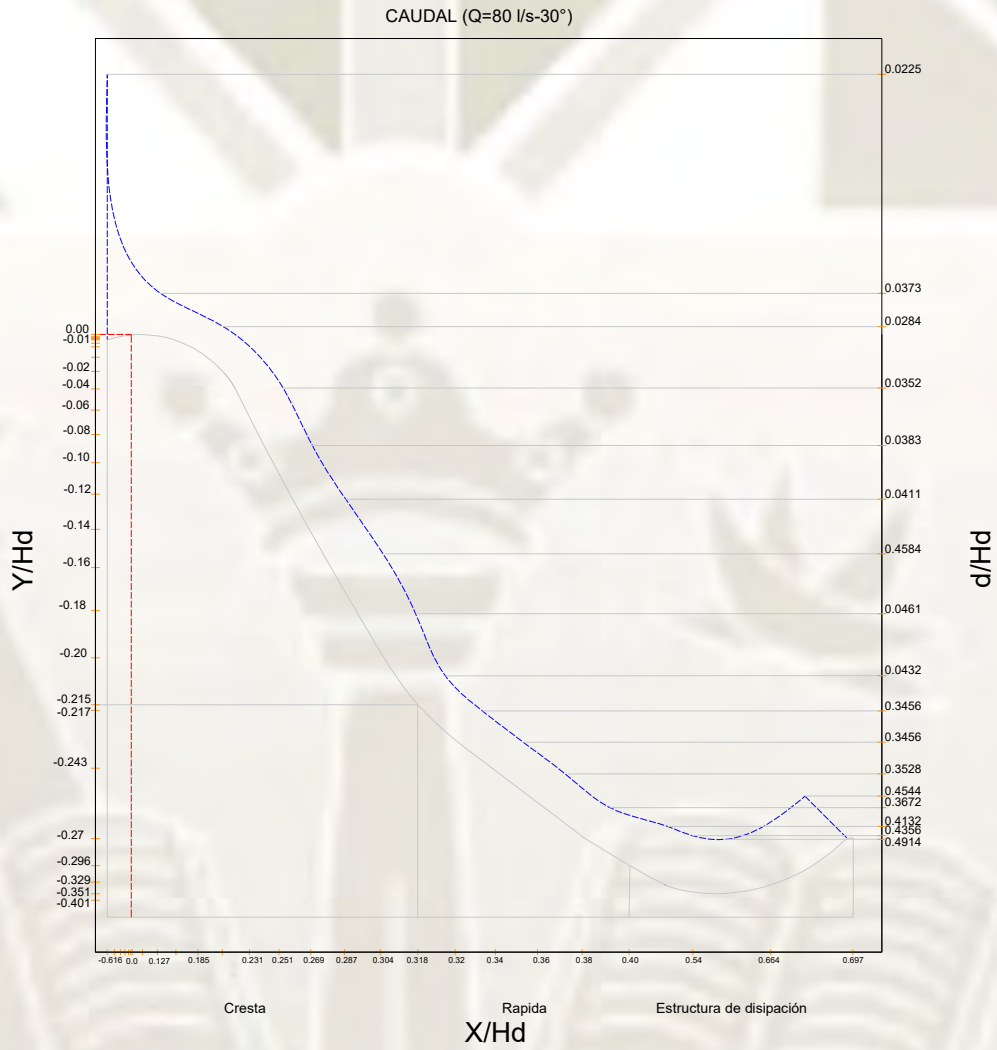
Fuente: Elaboración propia

Grafico 31. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.646$ a 80 l/s



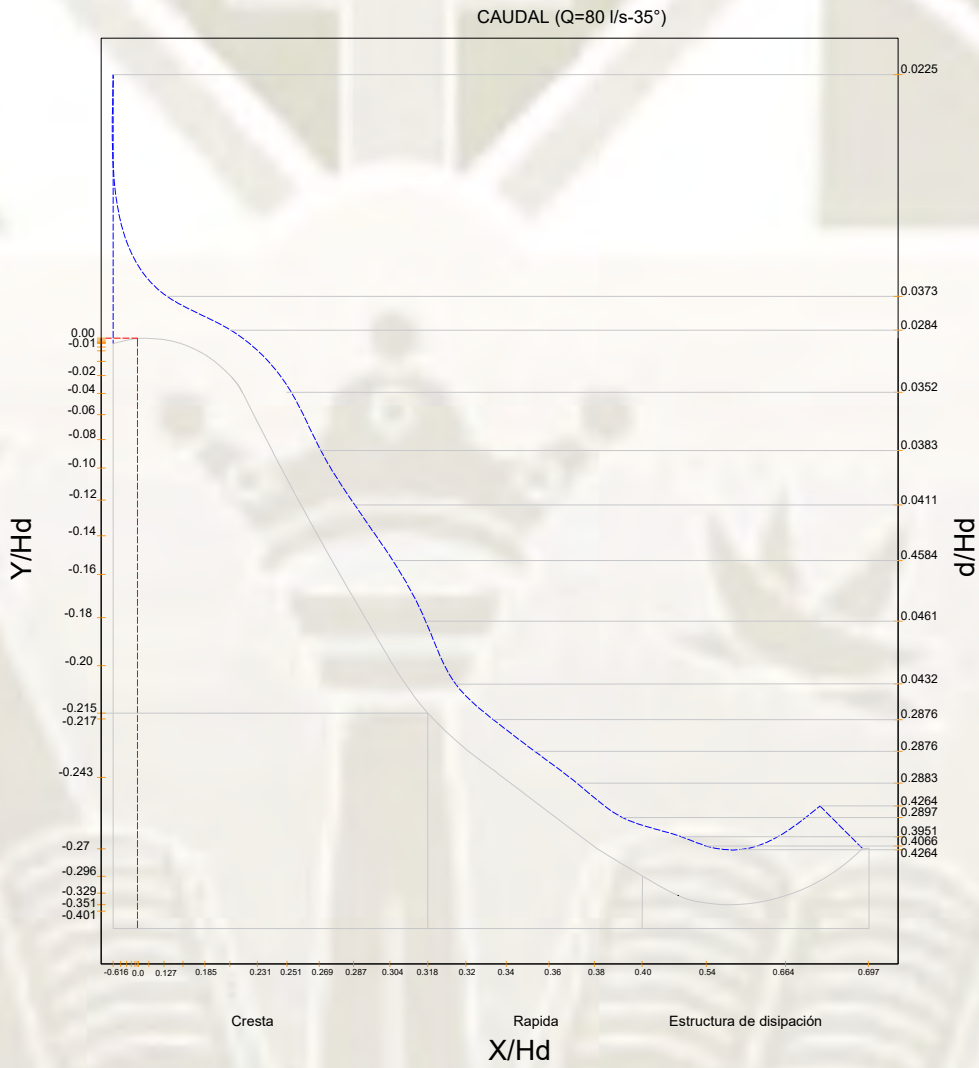
Fuente: Elaboración propia

Grafico 32. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.646$ a 80 l/s



Fuente: Elaboración propia

Grafico 33. Sección del canal para una relación $H/H_d=0.646$ a 80 l/s



Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| N° | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.08 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | 0.4457 | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.056 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.149 | 0.3375 | 0.2370 | 0.2756 | 6.783 | 0.4182 | 7.4766 | 89.8110 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1486 | 0.3389 | 0.2361 | 0.2734 | 6.816 | 0.1647 | 7.0895 | 89.2547 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1487 | 0.3400 | 0.2353 | 0.2716 | 6.840 | 0.1152 | 7.1113 | 89.2875 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1495 | 0.3413 | 0.2344 | 0.2696 | 6.859 | 0.1572 | 7.1285 | 89.3134 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1486 | 0.3415 | 0.2343 | 0.2692 | 6.873 | 0.1531 | 7.1422 | 89.3340 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1487 | 0.3420 | 0.2339 | 0.2684 | 6.882 | 0.1259 | 7.1509 | 89.3469 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0573 | 0.3004 | 0.2663 | 0.3479 | 6.886 | 0.0164 | 7.2339 | 89.4692 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0513 | 0.2885 | 0.2773 | 0.3772 | 6.690 | 0.0037 | 7.0670 | 89.2204 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0218 | 0.2659 | 0.3009 | 0.4441 | 6.494 | 0.0056 | 6.9377 | 89.0195 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0164 | 0.2543 | 0.3146 | 0.4855 | 6.297 | 0.0069 | 6.7829 | 88.7690 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0174 | 0.2456 | 0.3257 | 0.5205 | 6.101 | 0.0162 | 6.6217 | 88.4955 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0186 | 0.2370 | 0.3376 | 0.5589 | 5.905 | 0.0184 | 6.4639 | 88.2147 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0203 | 0.2286 | 0.3499 | 0.6005 | 5.709 | -0.0291 | 6.3093 | 87.9259 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0222 | 0.2204 | 0.3630 | 0.6464 | 5.513 | -0.0694 | 6.1590 | 87.6314 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.024 | 0.2120 | 0.3773 | 0.6982 | 5.316 | -0.0563 | 6.0146 | 87.3342 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0268 | 0.2042 | 0.3918 | 0.7529 | 5.120 | 0.0208 | 5.8731 | 87.0292 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0254 | 0.1944 | 0.4115 | 0.8306 | 4.924 | 0.0122 | 5.7546 | 86.7621 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0197 | 0.1845 | 0.4335 | 0.9219 | 4.768 | -0.0385 | 5.6898 | 86.6112 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0198 | 0.1838 | 0.4352 | 0.9292 | 4.751 | | 5.6805 | 86.5894 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0198 | 0.1719 | 0.4653 | 1.0621 | 4.496 | | 5.5583 | 86.2946 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0198 | 0.1597 | 0.5010 | 1.2312 | 4.233 | | 5.4646 | 86.0596 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0199 | 0.1466 | 0.5459 | 1.4615 | 3.951 | | 5.4123 | 85.9249 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0272 | 0.1362 | 0.5874 | 1.6926 | 3.657 | 0.4191 | 5.3491 | 85.7586 |
| | 18 | 0.1988 | 0.028 | 0.1036 | 0.7718 | 2.9221 | 2.950 | 0.4191 | 5.8724 | 87.0275 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0319 | 0.1285 | 0.6227 | 1.9022 | 3.445 | 0.7871 | 5.3469 | 85.7526 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0293 | 0.1521 | 0.5258 | 1.3563 | 3.978 | 1.1638 | 5.3346 | 85.7199 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Variación de la disipación de la energía en cucharón de

| N° | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.08 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.052 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.144 | 0.3352 | 0.2387 | 0.2794 | 6.783 | 0.4182 | 7.4804 | 87.9347 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1436 | 0.3366 | 0.2377 | 0.2771 | 6.816 | 0.1647 | 7.2580 | 87.5650 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1437 | 0.3377 | 0.2369 | 0.2752 | 6.840 | 0.1152 | 7.2301 | 87.5171 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1445 | 0.3390 | 0.2360 | 0.2732 | 6.859 | 0.1572 | 7.2893 | 87.6184 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1436 | 0.3392 | 0.2358 | 0.2728 | 6.873 | 0.1531 | 7.2990 | 87.6349 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1437 | 0.3397 | 0.2355 | 0.2720 | 6.882 | 0.1259 | 7.2804 | 87.6032 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0553 | 0.2995 | 0.2671 | 0.3500 | 6.886 | 0.0164 | 7.2524 | 87.5554 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0496 | 0.2877 | 0.2780 | 0.3792 | 6.690 | 0.0037 | 7.0727 | 87.2393 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0211 | 0.2656 | 0.3012 | 0.4451 | 6.494 | 0.0056 | 6.9443 | 87.0033 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0159 | 0.2540 | 0.3149 | 0.4864 | 6.297 | 0.0069 | 6.7907 | 86.7092 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0168 | 0.2453 | 0.3261 | 0.5216 | 6.101 | 0.0162 | 6.6390 | 86.4057 |
| | 6 | 0.5000 | 0.018 | 0.2367 | 0.3379 | 0.5602 | 5.905 | 0.0184 | 6.4836 | 86.0798 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0196 | 0.2283 | 0.3504 | 0.6022 | 5.709 | -0.0291 | 6.2819 | 85.6328 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0214 | 0.2200 | 0.3636 | 0.6486 | 5.513 | -0.0694 | 6.0918 | 85.1846 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0232 | 0.2117 | 0.3779 | 0.7006 | 5.316 | -0.0563 | 5.9607 | 84.8585 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0259 | 0.2038 | 0.3926 | 0.7560 | 5.120 | 0.0208 | 5.8970 | 84.6950 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0246 | 0.1940 | 0.4123 | 0.8337 | 4.924 | 0.0122 | 5.7699 | 84.3579 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.019 | 0.1842 | 0.4343 | 0.9251 | 4.768 | -0.0385 | 5.6545 | 84.0387 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0172 | 0.1826 | 0.4381 | 0.9413 | 4.751 | | 5.6927 | 84.1457 |
| | 14 | 0.3564 | 0.1721 | 0.2415 | 0.3312 | 0.5381 | 4.496 | | 5.0344 | 82.0728 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0172 | 0.1585 | 0.5048 | 1.2498 | 4.233 | | 5.4831 | 83.5399 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0173 | 0.1454 | 0.5503 | 1.4855 | 3.951 | | 5.4363 | 83.3981 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0236 | 0.1345 | 0.5946 | 1.7342 | 3.657 | 0.4457 | 5.8365 | 84.5363 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0243 | 0.1020 | 0.7846 | 3.0199 | 2.950 | 0.4485 | 6.4186 | 85.9388 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0277 | 0.1265 | 0.6322 | 1.9604 | 3.445 | 0.9440 | 6.3491 | 85.7848 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0255 | 0.1504 | 0.5319 | 1.3878 | 3.978 | 1.2129 | 6.5790 | 86.2817 |

30°

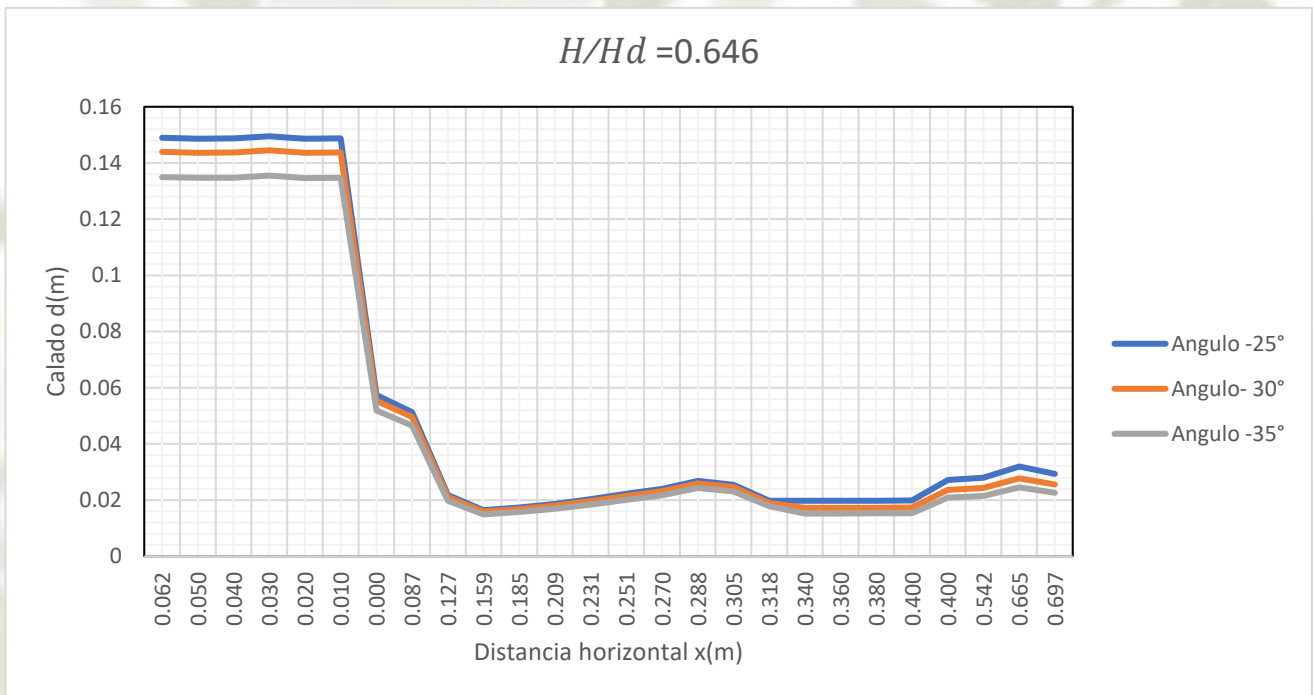
Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | | | |
|---------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.08 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.057 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.135 | 0.3311 | 0.2416 | 0.2864 | 6.783 | 0.4182 | 7.4874 | 90.0380 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1347 | 0.3325 | 0.2406 | 0.2839 | 6.816 | 0.1647 | 7.2648 | 89.7328 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1347 | 0.3336 | 0.2398 | 0.2821 | 6.840 | 0.1152 | 7.2369 | 89.6933 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1355 | 0.3349 | 0.2389 | 0.2800 | 6.859 | 0.1572 | 7.2960 | 89.7767 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1346 | 0.3351 | 0.2387 | 0.2795 | 6.873 | 0.1531 | 7.3057 | 89.7903 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1347 | 0.3356 | 0.2384 | 0.2787 | 6.882 | 0.1259 | 7.2871 | 89.7642 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0519 | 0.2979 | 0.2685 | 0.3537 | 6.886 | 0.0164 | 7.2561 | 89.7204 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0465 | 0.2863 | 0.2794 | 0.3830 | 6.690 | 0.0037 | 7.0765 | 89.4595 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0198 | 0.2650 | 0.3019 | 0.4471 | 6.494 | 0.0056 | 6.9463 | 89.2620 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0149 | 0.2536 | 0.3155 | 0.4882 | 6.297 | 0.0069 | 6.7924 | 89.0187 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0157 | 0.2448 | 0.3268 | 0.5238 | 6.101 | 0.0162 | 6.6412 | 88.7686 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0169 | 0.2362 | 0.3387 | 0.5626 | 5.905 | 0.0184 | 6.4860 | 88.5000 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0184 | 0.2278 | 0.3512 | 0.6051 | 5.709 | -0.0291 | 6.2848 | 88.1317 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0201 | 0.2194 | 0.3646 | 0.6521 | 5.513 | -0.0694 | 6.0954 | 87.7629 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0217 | 0.2110 | 0.3792 | 0.7051 | 5.316 | -0.0563 | 5.9652 | 87.4960 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0243 | 0.2030 | 0.3940 | 0.7614 | 5.120 | 0.0208 | 5.9024 | 87.3630 |
| | 11 | 0.4000 | 0.023 | 0.1933 | 0.4138 | 0.8401 | 4.924 | 0.0122 | 5.7762 | 87.0868 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0178 | 0.1837 | 0.4356 | 0.9307 | 4.768 | -0.0385 | 5.6600 | 86.8218 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0152 | 0.1817 | 0.4403 | 0.9508 | 4.751 | | 5.7022 | 86.9191 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0152 | 0.1698 | 0.4711 | 1.0885 | 4.496 | | 5.5848 | 86.6442 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0153 | 0.1576 | 0.5076 | 1.2636 | 4.233 | | 5.4969 | 86.4308 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0153 | 0.1445 | 0.5538 | 1.5043 | 3.951 | | 5.4552 | 86.3268 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0209 | 0.1333 | 0.6001 | 1.7665 | 3.657 | 0.6251 | 6.0481 | 87.6674 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0215 | 0.1007 | 0.7946 | 3.0971 | 2.950 | 0.6153 | 6.6626 | 88.8048 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0245 | 0.1251 | 0.6396 | 2.0065 | 3.445 | 1.0617 | 6.5129 | 88.5474 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0226 | 0.1491 | 0.5366 | 1.4126 | 3.978 | 1.6150 | 7.0059 | 89.3534 |

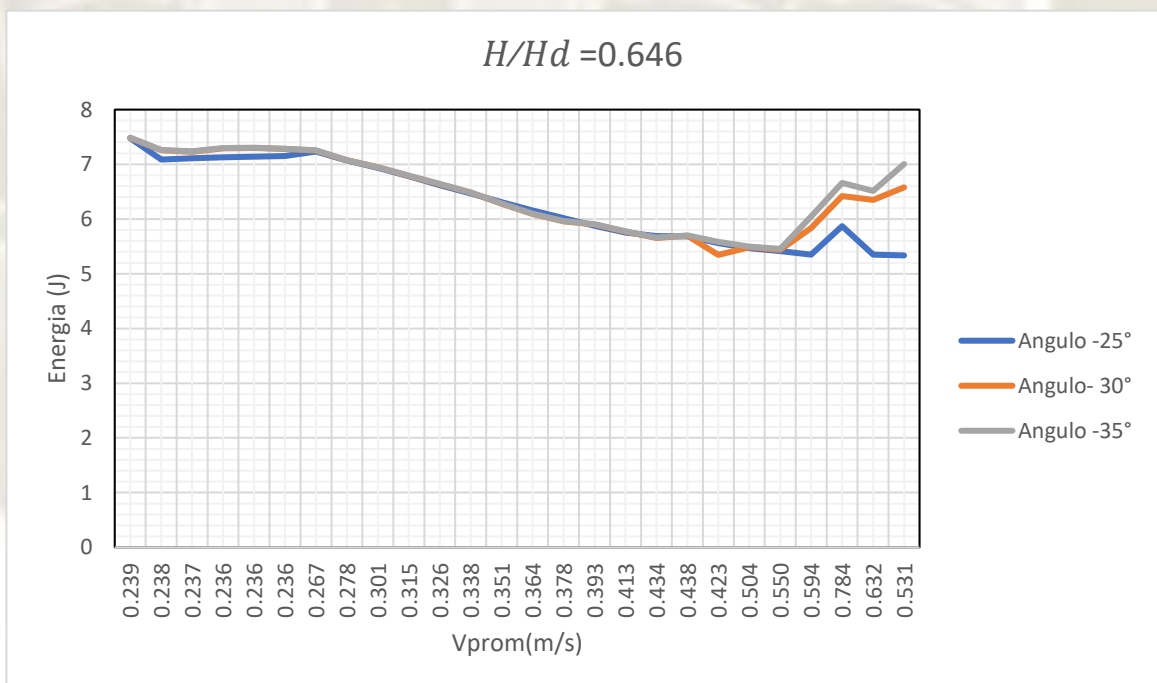
Fuente: Elaboración propia

Grafico 34. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_d = 0.646$ a 80 l/s



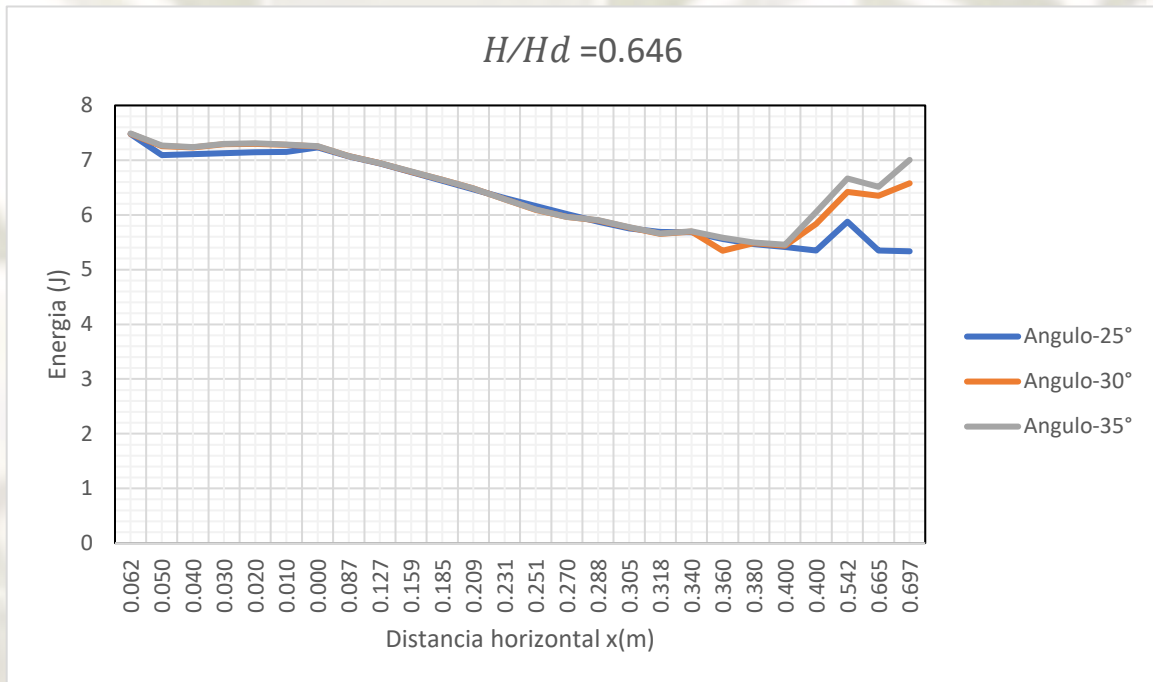
Fuente: Elaboración propia

Grafico 35. Energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



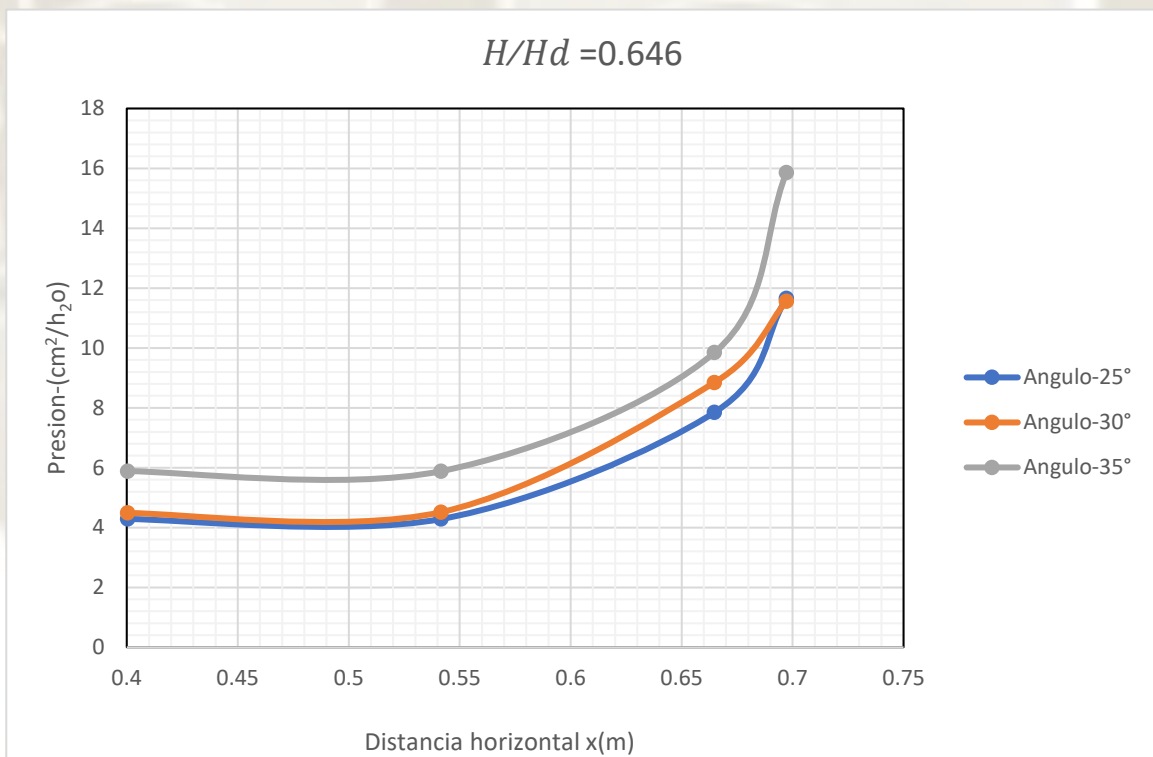
Fuente: Elaboración propia

Grafico 36. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 37. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflectora.



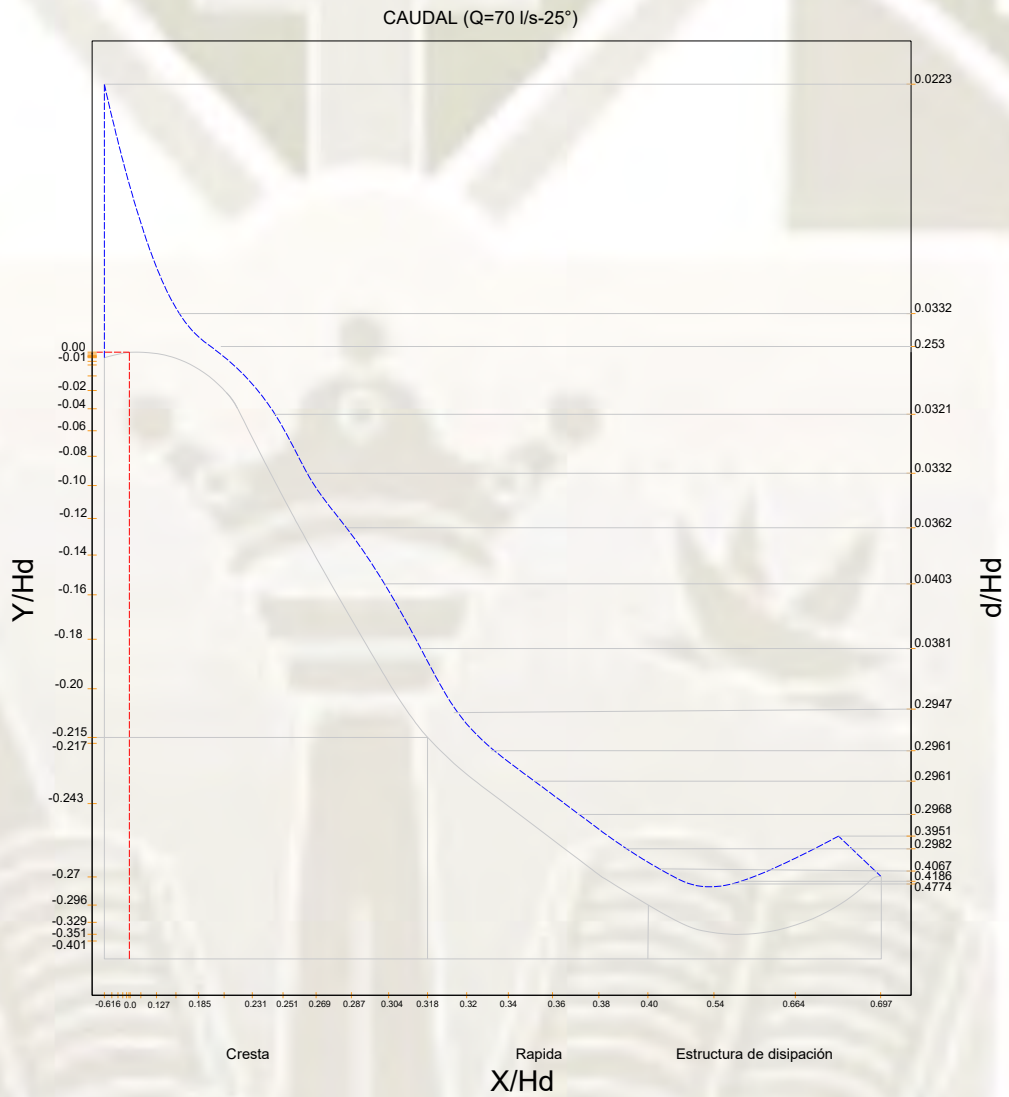
Fuente: Elaboración propia

Tabla 60. calado/presiones en la estructura de disipación.

| N° | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=70 l/s) | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) | (cm-h2o) | | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0223 | 0.0223 | 0.0223 | 5.5419 | 5.5419 | 5.5419 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0223 | 0.0223 | 0.0223 | 2.1827 | 2.1827 | 2.1827 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0222 | 0.0222 | 0.0222 | 1.5262 | 1.5262 | 1.5262 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0223 | 0.0223 | 0.0223 | 2.0826 | 2.0826 | 2.0826 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0224 | 0.0224 | 0.0224 | 2.0293 | 2.0293 | 2.0293 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0222 | 0.0222 | 0.0222 | 1.6679 | 1.6679 | 1.6679 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0222 | 0.0222 | 0.0222 | 0.2171 | 0.2171 | 0.2171 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0086 | 0.0086 | 0.0086 | 0.0494 | 0.0494 | 0.0494 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0771 | 0.0771 | 0.0771 | 0.0741 | 0.0741 | 0.0741 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0332 | 0.0332 | 0.0332 | 0.091 | 0.091 | 0.091 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0253 | 0.0253 | 0.0253 | 0.2145 | 0.2145 | 0.2145 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0261 | 0.0261 | 0.0261 | 0.2444 | 0.2444 | 0.2444 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0282 | 0.0282 | 0.0282 | -0.3861 | -0.3861 | -0.3861 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0321 | 0.0321 | 0.0321 | -0.9191 | -0.9191 | -0.9191 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0331 | 0.0331 | 0.0331 | -0.7462 | -0.7462 | -0.7462 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0362 | 0.0362 | 0.0362 | 0.2756 | 0.2756 | 0.2756 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0403 | 0.0403 | 0.0403 | 0.1612 | 0.1612 | 0.1612 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0381 | 0.0381 | 0.0381 | -0.5096 | -0.5096 | -0.5096 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.02961 | 0.026649 | 0.02517 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.02961 | 0.026649 | 0.02517 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.02968 | 0.026712 | 0.02523 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.02982 | 0.026838 | 0.02535 | 6.485 | 7.485 | 9.485 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.04067 | 0.036603 | 0.03457 | 4.285 | 4.485 | 5.785 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.04186 | 0.037674 | 0.03558 | 4.285 | 4.485 | 5.785 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.04774 | 0.042966 | 0.04058 | 7.647 | 8.647 | 9.647 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.04389 | 0.039501 | 0.03731 | 11.412 | 11.542 | 15.412 |

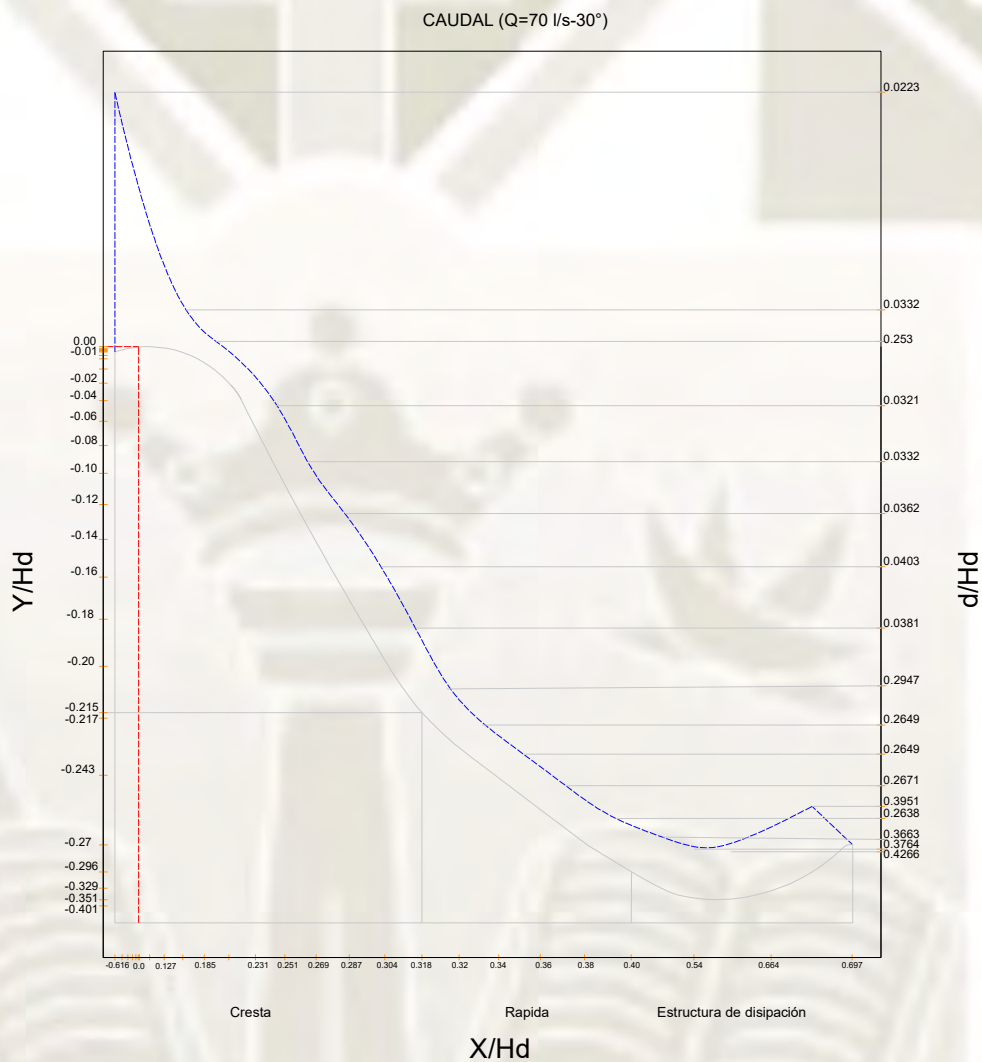
Fuente: Elaboración propia

Grafico 38. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.646$ a 70 l/s



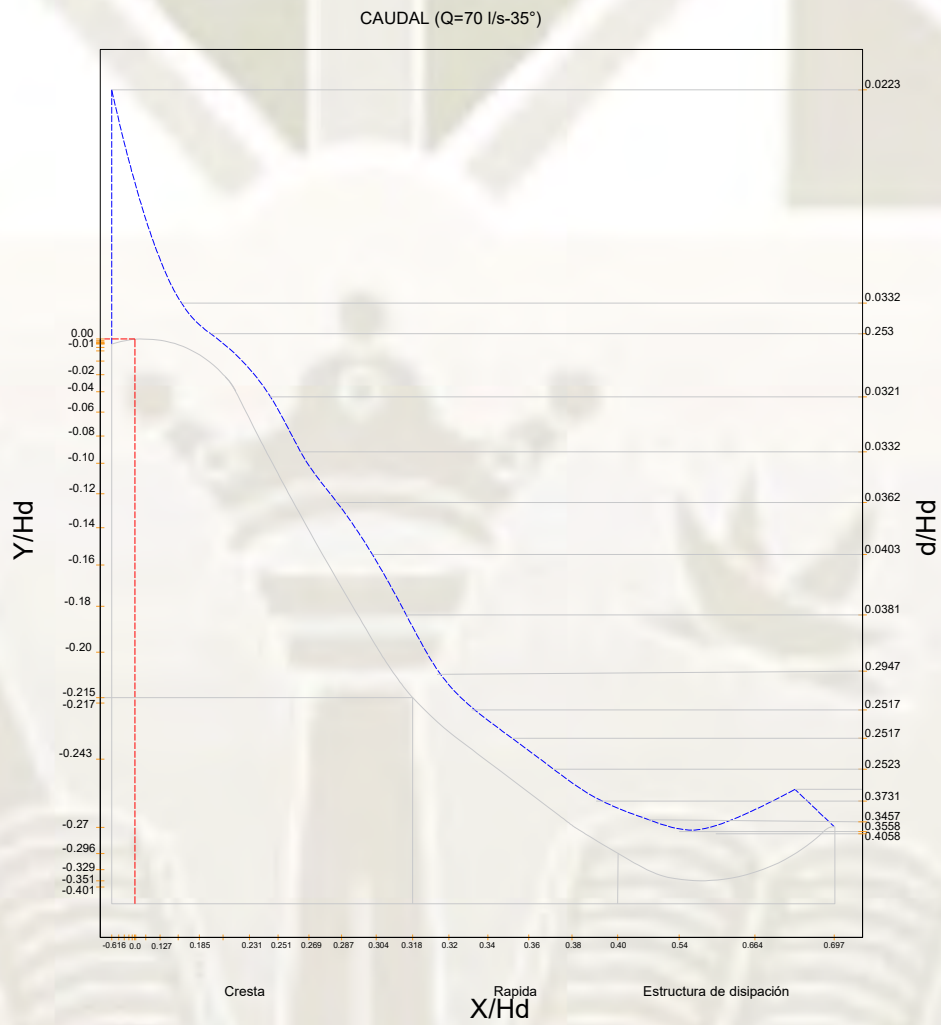
Fuente: Elaboración propia

Grafico 39. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.646$ a 70 l/s



Fuente: Elaboración propia

Grafico 40. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.646$ a 70 l/s



Fuente: Elaboración propia

Tabla 61. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|----------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|
| | Caudal: | 0.07 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.057 m | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.136 | 0.3315 | 0.2111 | 0.2187 | 6.783 | 0.4182 | 7.4197 | 89.3983 | | |
| | 6 | 0.5929 | 0.1357 | 0.3330 | 0.2102 | 0.2168 | 6.816 | 0.1647 | 7.0329 | 88.8154 | | |
| | 5 | 0.5953 | 0.1357 | 0.3341 | 0.2095 | 0.2154 | 6.840 | 0.1152 | 7.0551 | 88.8505 | | |
| | 4 | 0.5972 | 0.1365 | 0.3353 | 0.2088 | 0.2138 | 6.859 | 0.1572 | 7.0727 | 88.8782 | | |
| | 3 | 0.5987 | 0.1356 | 0.3356 | 0.2086 | 0.2134 | 6.873 | 0.1531 | 7.0865 | 88.8999 | | |
| | 2 | 0.5996 | 0.1357 | 0.3361 | 0.2083 | 0.2128 | 6.882 | 0.1259 | 7.0953 | 88.9137 | | |
| | 1 | 0.6000 | 0.0523 | 0.2981 | 0.2348 | 0.2705 | 6.886 | 0.0164 | 7.1565 | 89.0084 | | |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0468 | 0.2864 | 0.2444 | 0.2929 | 6.690 | 0.0037 | 6.9827 | 88.7349 | | |
| | 3 | 0.5600 | 0.0199 | 0.2650 | 0.2641 | 0.3422 | 6.494 | 0.0056 | 6.8358 | 88.4928 | | |
| | 4 | 0.5400 | 0.015 | 0.2536 | 0.2760 | 0.3736 | 6.297 | 0.0069 | 6.6710 | 88.2086 | | |
| | 5 | 0.5200 | 0.0158 | 0.2449 | 0.2859 | 0.4009 | 6.101 | 0.0162 | 6.5021 | 87.9022 | | |
| | 6 | 0.5000 | 0.017 | 0.2363 | 0.2963 | 0.4305 | 5.905 | 0.0184 | 6.3355 | 87.5842 | | |
| | 7 | 0.4800 | 0.0185 | 0.2278 | 0.3073 | 0.4631 | 5.709 | -0.0291 | 6.1719 | 87.2550 | | |
| | 8 | 0.4600 | 0.0202 | 0.2195 | 0.3190 | 0.4991 | 5.513 | -0.0694 | 6.0117 | 86.9153 | | |
| | 9 | 0.4400 | 0.0219 | 0.2111 | 0.3316 | 0.5394 | 5.316 | -0.0563 | 5.8558 | 86.5670 | | |
| | 10 | 0.4200 | 0.0245 | 0.2031 | 0.3446 | 0.5825 | 5.120 | 0.0208 | 5.7027 | 86.2063 | | |
| | 11 | 0.4000 | 0.0232 | 0.1934 | 0.3619 | 0.6426 | 4.924 | 0.0122 | 5.5666 | 85.8690 | | |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.018 | 0.1838 | 0.3810 | 0.7118 | 4.768 | -0.0385 | 5.4797 | 85.6449 | | |
| | 13 | 0.3824 | 0.0181 | 0.1830 | 0.3825 | 0.7175 | 4.751 | | 5.4688 | 85.6165 | | |
| | 14 | 0.3564 | 0.0181 | 0.1711 | 0.4090 | 0.8205 | 4.496 | | 5.3168 | 85.2053 | | |
| | 15 | 0.3296 | 0.0181 | 0.1589 | 0.4405 | 0.9519 | 4.233 | | 5.1853 | 84.8300 | | |
| | 16 | 0.3008 | 0.0182 | 0.1458 | 0.4802 | 1.1309 | 3.951 | | 5.0817 | 84.5209 | | |
| | 17 | 0.2708 | 0.0248 | 0.1351 | 0.5182 | 1.3170 | 3.657 | 0.4191 | 4.9736 | 84.1843 | | |
| | 18 | 0.1988 | 0.0255 | 0.1025 | 0.6829 | 2.2874 | 2.950 | 0.4191 | 5.2376 | 84.9816 | | |
| CUCHAR ON | 19 | 0.2492 | 0.0291 | 0.1272 | 0.5504 | 1.4859 | 3.445 | 0.7871 | 4.9305 | 84.0461 | | |
| | 20 | 0.3036 | 0.0268 | 0.1510 | 0.4636 | 1.0542 | 3.978 | 1.1638 | 5.0325 | 84.3695 | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| | | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | |
|------------------------|----|---------|------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|---------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | Caudal: | 0.07 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | | |
| | | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.053 m | Z ₁ | d | A | V ₁ | E _{pr} | E _c | E _p |
| | | (m) | (m) | (m ²) | (m/s) | (m/h ₂ O) | (v ² /2g) | (mgh) | | | | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.138 | 0.3325 | 0.2106 | 0.2175 | 6.783 | 0.4182 | 7.4184 | 82.2083 | | |
| | 6 | 0.5929 | 0.1377 | 0.3339 | 0.2097 | 0.2156 | 6.816 | 0.1647 | 7.1965 | 81.6595 | | |
| | 5 | 0.5953 | 0.1377 | 0.3350 | 0.2090 | 0.2142 | 6.840 | 0.1152 | 7.1691 | 81.5893 | | |
| | 4 | 0.5972 | 0.1385 | 0.3362 | 0.2082 | 0.2126 | 6.859 | 0.1572 | 7.2287 | 81.7412 | | |
| | 3 | 0.5987 | 0.1376 | 0.3365 | 0.2080 | 0.2123 | 6.873 | 0.1531 | 7.2385 | 81.7659 | | |
| | 2 | 0.5996 | 0.1377 | 0.3370 | 0.2077 | 0.2117 | 6.882 | 0.1259 | 7.2200 | 81.7192 | | |
| | 1 | 0.6000 | 0.053 | 0.2984 | 0.2346 | 0.2699 | 6.886 | 0.0164 | 7.1723 | 81.5976 | | |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0475 | 0.2868 | 0.2441 | 0.2923 | 6.690 | 0.0037 | 6.9858 | 81.1063 | | |
| | 3 | 0.5600 | 0.0202 | 0.2652 | 0.2640 | 0.3419 | 6.494 | 0.0056 | 6.8411 | 80.7066 | | |
| | 4 | 0.5400 | 0.0152 | 0.2537 | 0.2759 | 0.3733 | 6.297 | 0.0069 | 6.6776 | 80.2344 | | |
| | 5 | 0.5200 | 0.0161 | 0.2450 | 0.2857 | 0.4004 | 6.101 | 0.0162 | 6.5178 | 79.7497 | | |
| | 6 | 0.5000 | 0.0172 | 0.2364 | 0.2962 | 0.4302 | 5.905 | 0.0184 | 6.3537 | 79.2266 | | |
| | 7 | 0.4800 | 0.0188 | 0.2280 | 0.3071 | 0.4625 | 5.709 | -0.0291 | 6.1422 | 78.5114 | | |
| | 8 | 0.4600 | 0.0205 | 0.2196 | 0.3188 | 0.4984 | 5.513 | -0.0694 | 5.9417 | 77.7862 | | |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0222 | 0.2112 | 0.3314 | 0.5387 | 5.316 | -0.0563 | 5.7988 | 77.2388 | | |
| | 10 | 0.4200 | 0.0248 | 0.2033 | 0.3444 | 0.5817 | 5.120 | 0.0208 | 5.7227 | 76.9361 | | |
| | 11 | 0.4000 | 0.0235 | 0.1935 | 0.3617 | 0.6416 | 4.924 | 0.0122 | 5.5778 | 76.3371 | | |
| | 12 | 0.3841 | 0.0182 | 0.1838 | 0.3808 | 0.7111 | 4.768 | -0.0385 | 5.4405 | 75.7399 | | |
| | 13 | 0.3824 | 0.0165 | 0.1823 | 0.3840 | 0.7232 | 4.751 | | 5.4746 | 75.8909 | | |
| | 14 | 0.3564 | 0.165 | 0.2383 | 0.2938 | 0.4233 | 4.496 | | 4.9196 | 73.1711 | | |
| | 15 | 0.3296 | 0.0165 | 0.1582 | 0.4426 | 0.9607 | 4.233 | | 5.1941 | 74.5890 | | |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0166 | 0.1451 | 0.4826 | 1.1423 | 3.951 | | 5.0932 | 74.0855 | | |
| | 17 | 0.2708 | 0.0226 | 0.1341 | 0.5221 | 1.3368 | 3.657 | 0.4457 | 5.4391 | 75.7335 | | |
| | 18 | 0.1988 | 0.0233 | 0.1015 | 0.6897 | 2.3330 | 2.950 | 0.4485 | 5.7317 | 76.9724 | | |
| | 19 | 0.2492 | 0.0266 | 0.1260 | 0.5554 | 1.5129 | 3.445 | 0.9440 | 5.9016 | 77.6353 | | |
| | 20 | 0.3036 | 0.0244 | 0.1499 | 0.4670 | 1.0697 | 3.978 | 1.2129 | 6.2609 | 78.9188 | | |

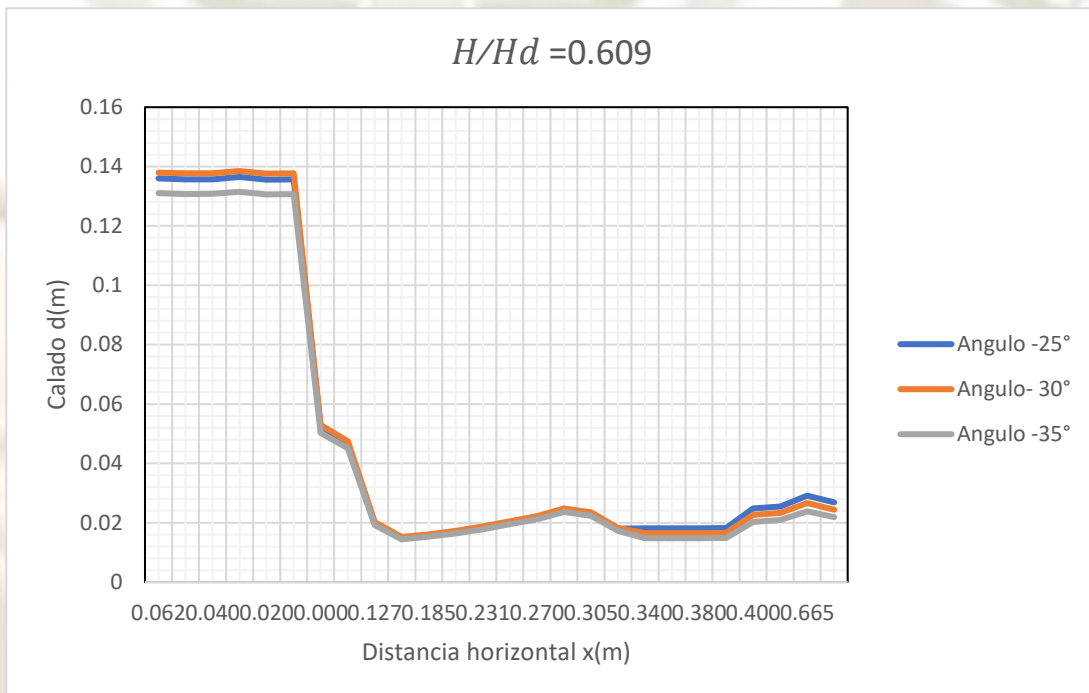
Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.07 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | 0.4457 | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.054 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.131 | 0.3293 | 0.2126 | 0.2217 | 6.783 | 0.4182 | 7.4227 | 88.7249 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1307 | 0.3307 | 0.2117 | 0.2198 | 6.816 | 0.1647 | 7.2007 | 88.3773 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1308 | 0.3318 | 0.2110 | 0.2183 | 6.840 | 0.1152 | 7.1732 | 88.3327 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1315 | 0.3330 | 0.2102 | 0.2167 | 6.859 | 0.1572 | 7.2328 | 88.4289 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1306 | 0.3333 | 0.2100 | 0.2164 | 6.873 | 0.1531 | 7.2426 | 88.4445 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1307 | 0.3338 | 0.2097 | 0.2158 | 6.882 | 0.1259 | 7.2241 | 88.4149 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0503 | 0.2972 | 0.2355 | 0.2721 | 6.886 | 0.0164 | 7.1745 | 88.3349 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0451 | 0.2857 | 0.2450 | 0.2945 | 6.690 | 0.0037 | 6.9880 | 88.0236 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0192 | 0.2647 | 0.2645 | 0.3430 | 6.494 | 0.0056 | 6.8422 | 87.7684 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0144 | 0.2534 | 0.2763 | 0.3744 | 6.297 | 0.0069 | 6.6787 | 87.4689 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0153 | 0.2446 | 0.2861 | 0.4016 | 6.101 | 0.0162 | 6.5190 | 87.1619 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0164 | 0.2360 | 0.2966 | 0.4315 | 5.905 | 0.0184 | 6.3550 | 86.8306 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0178 | 0.2275 | 0.3077 | 0.4644 | 5.709 | -0.0291 | 6.1441 | 86.3785 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0195 | 0.2191 | 0.3194 | 0.5005 | 5.513 | -0.0694 | 5.9438 | 85.9195 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0211 | 0.2107 | 0.3322 | 0.5413 | 5.316 | -0.0563 | 5.8014 | 85.5738 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0236 | 0.2027 | 0.3453 | 0.5848 | 5.120 | 0.0208 | 5.7258 | 85.3835 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0223 | 0.1930 | 0.3627 | 0.6453 | 4.924 | 0.0122 | 5.5815 | 85.0055 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0173 | 0.1834 | 0.3816 | 0.7143 | 4.768 | -0.0385 | 5.4437 | 84.6260 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0148 | 0.1815 | 0.3856 | 0.7294 | 4.751 | | 5.4808 | 84.7300 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0148 | 0.1696 | 0.4126 | 0.8352 | 4.496 | | 5.3315 | 84.3024 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0148 | 0.1574 | 0.4448 | 0.9702 | 4.233 | | 5.2036 | 83.9167 |
| CUCHARON | 16 | 0.3008 | 0.0149 | 0.1443 | 0.4852 | 1.1547 | 3.951 | | 5.1055 | 83.6076 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0203 | 0.1330 | 0.5262 | 1.3581 | 3.657 | 0.6251 | 5.6397 | 85.1603 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0209 | 0.1004 | 0.6972 | 2.3842 | 2.950 | 0.6153 | 5.9497 | 85.9335 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0238 | 0.1248 | 0.5611 | 1.5441 | 3.445 | 1.0617 | 6.0505 | 86.1678 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0219 | 0.1488 | 0.4706 | 1.0862 | 3.978 | 1.6150 | 6.6795 | 87.4704 |

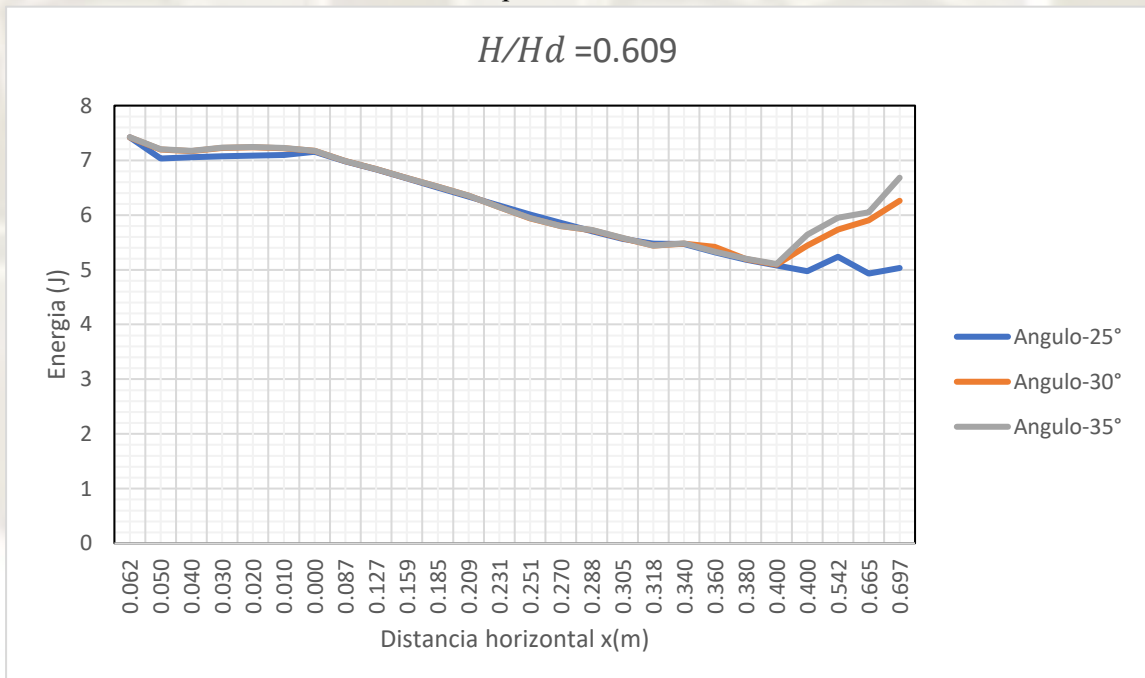
Fuente: Elaboración propia

Grafico 41. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_d = 0.609$ a 70 l/s.



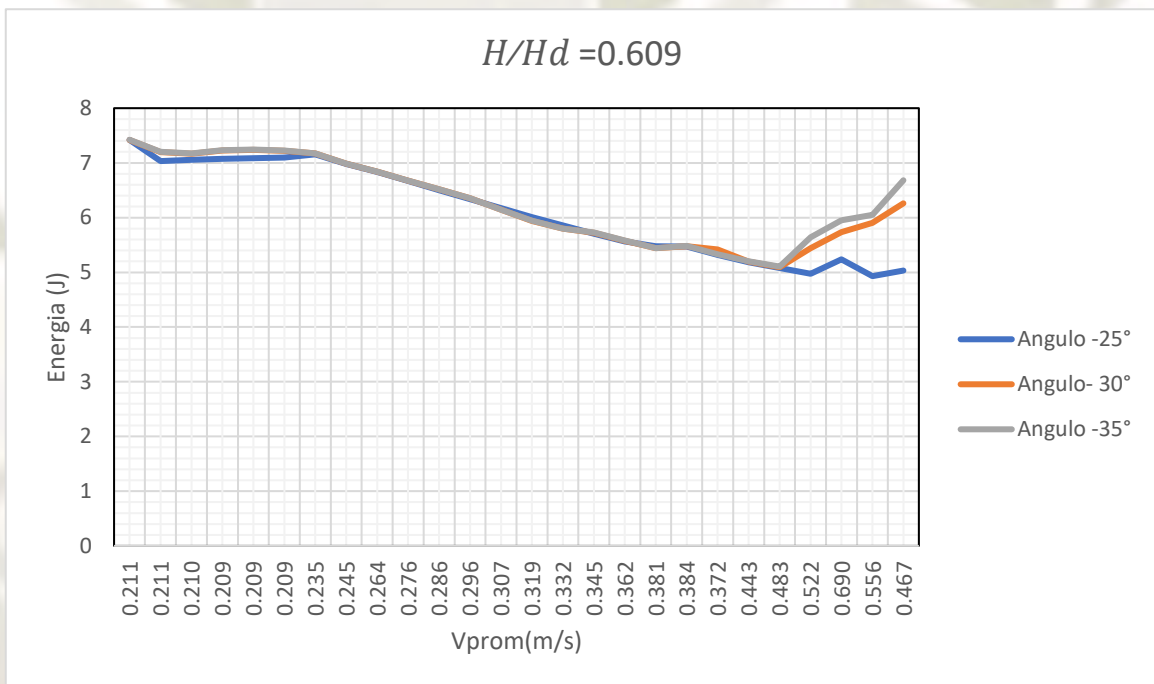
Fuente: Elaboración propia

Grafico 42. Variación de la energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



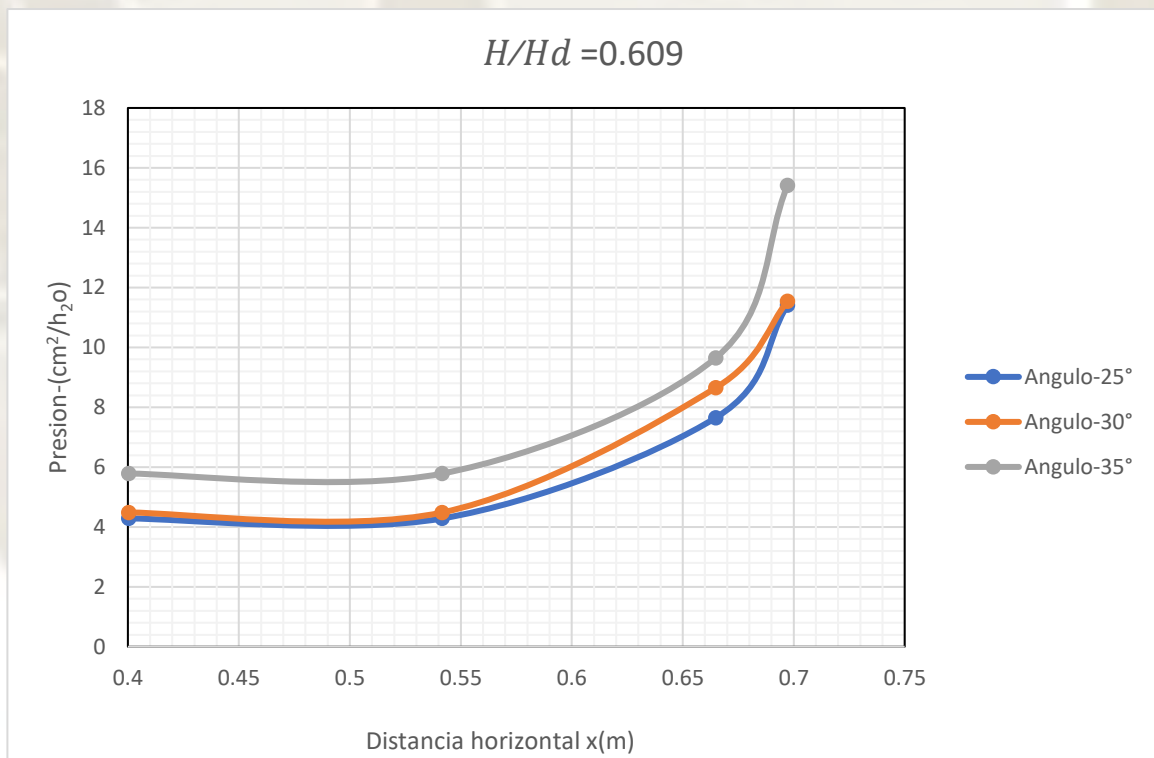
Fuente: Elaboración propia

Grafico 43. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 44. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflector.



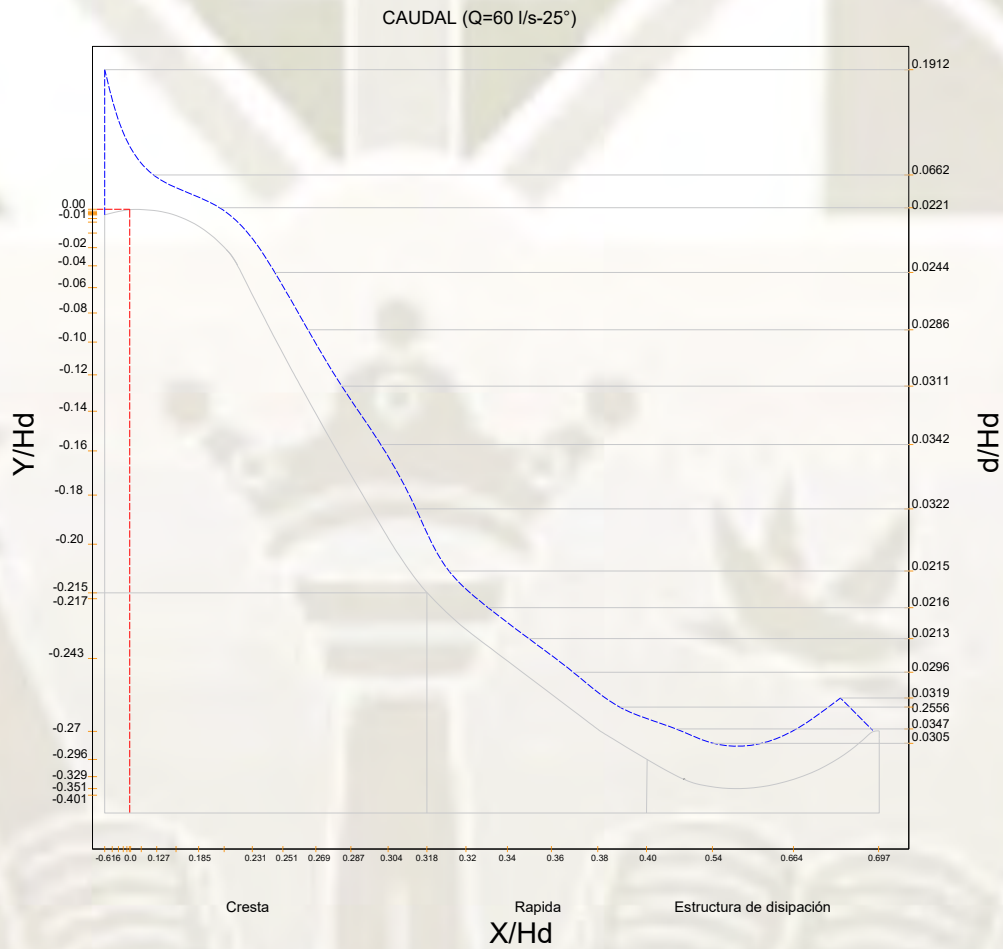
Fuente: Elaboración propia

Tabla 64. calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=60 l/S) | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) | (cm-h2o) | | |
| CRESTA AGUAS ABAJA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0191 | 0.0191 | 0.0191 | 5.9682 | 5.9682 | 5.9682 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0191 | 0.0191 | 0.0191 | 2.3506 | 2.3506 | 2.3506 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0191 | 0.0191 | 0.0191 | 1.6436 | 1.6436 | 1.6436 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0191 | 0.0191 | 0.0191 | 2.2428 | 2.2428 | 2.2428 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0192 | 0.0192 | 0.0192 | 2.1854 | 2.1854 | 2.1854 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0191 | 0.0191 | 0.0191 | 1.7962 | 1.7962 | 1.7962 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0191 | 0.0191 | 0.0191 | 0.2338 | 0.2338 | 0.2338 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0731 | 0.0731 | 0.0731 | 0.0532 | 0.0532 | 0.0532 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0662 | 0.0662 | 0.0662 | 0.0798 | 0.0798 | 0.0798 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0284 | 0.0284 | 0.0284 | 0.098 | 0.098 | 0.098 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0216 | 0.0216 | 0.0216 | 0.231 | 0.231 | 0.231 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0221 | 0.0221 | 0.0221 | 0.2632 | 0.2632 | 0.2632 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0244 | 0.0244 | 0.0244 | -0.4158 | -0.4158 | -0.4158 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0263 | 0.0263 | 0.0263 | -0.9898 | -0.9898 | -0.9898 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0286 | 0.0286 | 0.0286 | -0.8036 | -0.8036 | -0.8036 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0311 | 0.0311 | 0.0311 | 0.2968 | 0.2968 | 0.2968 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0342 | 0.0342 | 0.0342 | 0.1736 | 0.1736 | 0.1736 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0322 | 0.0322 | 0.0322 | -0.5488 | -0.5488 | -0.5488 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0253 | 0.0228 | 0.0215 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0253 | 0.0228 | 0.0215 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0254 | 0.0229 | 0.0216 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0255 | 0.0234 | 0.0213 | 6.279 | 7.279 | 9.279 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0348 | 0.0313 | 0.0296 | 4.279 | 4.479 | 5.579 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0358 | 0.0322 | 0.0305 | 4.279 | 4.479 | 5.679 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0409 | 0.0368 | 0.0347 | 7.345 | 8.345 | 9.545 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0376 | 0.0338 | 0.0319 | 11.432 | 11.532 | 14.932 |

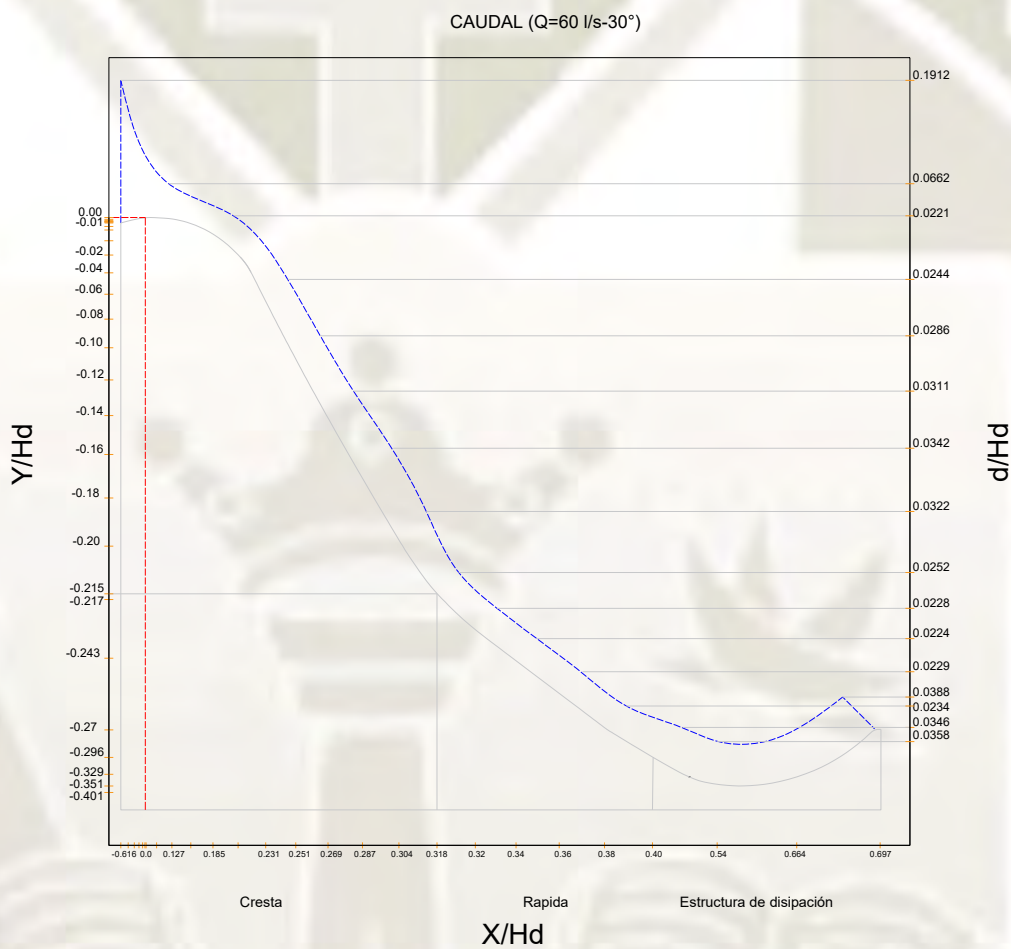
Fuente: Elaboración propia

Grafico 45. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.553$ a 60 l/s



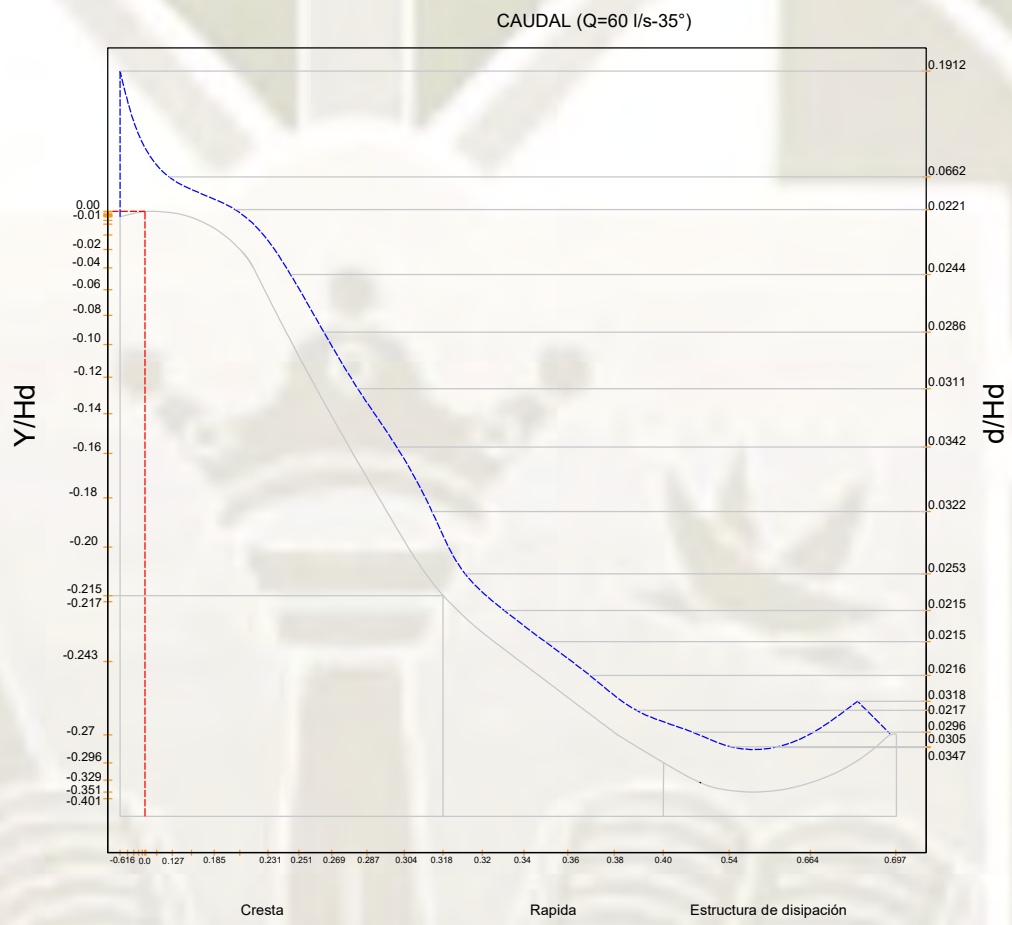
Fuente: Elaboración propia

Grafico 46. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.553$ a 60 l/s



Fuente: Elaboración propia

Grafico 47. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.553$ a 60 l/s



Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------|
| | Caudal: | 0.06 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.042 m | Z ₁ | d | A | V ₁ | E _{pr} | E _c | E _p | E _{T1} | ΔE % |
| | (m) | (m) | (m ²) | (m/s) | (m/h ₂ O) | (v ² /2g) | (mgh) | | | | | | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.125 | 0.3265 | 0.1838 | 0.1656 | 6.783 | 0.4182 | 7.3666 | 81.2197 | | | |
| | 6 | 0.5929 | 0.1247 | 0.3279 | 0.1830 | 0.1642 | 6.816 | 0.1647 | 6.9804 | 80.1805 | | | |
| | 5 | 0.5953 | 0.1248 | 0.3291 | 0.1823 | 0.1631 | 6.840 | 0.1152 | 7.0028 | 80.2439 | | | |
| | 4 | 0.5972 | 0.1254 | 0.3302 | 0.1817 | 0.1619 | 6.859 | 0.1572 | 7.0208 | 80.2948 | | | |
| | 3 | 0.5987 | 0.1246 | 0.3305 | 0.1815 | 0.1616 | 6.873 | 0.1531 | 7.0347 | 80.3335 | | | |
| | 2 | 0.5996 | 0.1247 | 0.3310 | 0.1813 | 0.1611 | 6.882 | 0.1259 | 7.0436 | 80.3585 | | | |
| | 1 | 0.6000 | 0.048 | 0.2961 | 0.2026 | 0.2014 | 6.886 | 0.0164 | 7.0874 | 80.4797 | | | |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.043 | 0.2847 | 0.2107 | 0.2178 | 6.690 | 0.0037 | 6.9076 | 79.9719 | | | |
| | 3 | 0.5600 | 0.0183 | 0.2643 | 0.2270 | 0.2528 | 6.494 | 0.0056 | 6.7464 | 79.4932 | | | |
| | 4 | 0.5400 | 0.0138 | 0.2531 | 0.2371 | 0.2757 | 6.297 | 0.0069 | 6.5731 | 78.9525 | | | |
| | 5 | 0.5200 | 0.0146 | 0.2443 | 0.2456 | 0.2958 | 6.101 | 0.0162 | 6.3970 | 78.3733 | | | |
| | 6 | 0.5000 | 0.0156 | 0.2356 | 0.2546 | 0.3180 | 5.905 | 0.0184 | 6.2230 | 77.7686 | | | |
| | 7 | 0.4800 | 0.017 | 0.2271 | 0.2642 | 0.3423 | 5.709 | -0.0291 | 6.0511 | 77.1368 | | | |
| | 8 | 0.4600 | 0.0186 | 0.2187 | 0.2743 | 0.3691 | 5.513 | -0.0694 | 5.8817 | 76.4785 | | | |
| CRESTA AGUAS RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0201 | 0.2103 | 0.2854 | 0.3994 | 5.316 | -0.0563 | 5.7158 | 75.7957 | | | |
| | 10 | 0.4200 | 0.0225 | 0.2022 | 0.2967 | 0.4318 | 5.120 | 0.0208 | 5.5520 | 75.0816 | | | |
| | 11 | 0.4000 | 0.0213 | 0.1925 | 0.3116 | 0.4764 | 4.924 | 0.0122 | 5.4004 | 74.3818 | | | |
| | 12 | 0.3841 | 0.0165 | 0.1831 | 0.3278 | 0.5269 | 4.768 | -0.0385 | 5.2947 | 73.8708 | | | |
| | 13 | 0.3824 | 0.0166 | 0.1823 | 0.3291 | 0.5311 | 4.751 | | 5.2824 | 73.8099 | | | |
| | 14 | 0.3564 | 0.0166 | 0.1705 | 0.3520 | 0.6077 | 4.496 | | 5.1040 | 72.8943 | | | |
| | 15 | 0.3296 | 0.0166 | 0.1582 | 0.3792 | 0.7054 | 4.233 | | 4.9388 | 71.9878 | | | |
| CUCHARON | 16 | 0.3008 | 0.0167 | 0.1451 | 0.4135 | 0.8387 | 3.951 | | 4.7896 | 71.1150 | | | |
| | 17 | 0.2708 | 0.0228 | 0.1342 | 0.4472 | 0.9808 | 3.657 | 0.4191 | 4.6374 | 70.1670 | | | |
| | 18 | 0.1988 | 0.0235 | 0.1016 | 0.5906 | 1.7109 | 2.950 | 0.4191 | 4.6611 | 70.3191 | | | |
| | 19 | 0.2492 | 0.0268 | 0.1261 | 0.4757 | 1.1099 | 3.445 | 0.7871 | 4.5546 | 69.6246 | | | |
| | 20 | 0.3036 | 0.0246 | 0.1500 | 0.4000 | 0.7849 | 3.978 | 1.1638 | 4.7632 | 70.9553 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| Nº | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Caudal: | 0.06 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.042 m | Z ₁ | d | A | V ₁ | E _{pr} | E _c | E _p | E _{T1} |
| | | (m) | (m) | (m ²) | (m/s) | (m/h ₂ O) | (v ² /2g) | (mgh) | | | | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.123 | 0.3256 | 0.1843 | 0.1666 | 6.783 | 0.4182 | 7.3676 | 81.2221 | | |
| | 6 | 0.5929 | 0.1227 | 0.3270 | 0.1835 | 0.1651 | 6.816 | 0.1647 | 7.1460 | 80.6399 | | |
| | 5 | 0.5953 | 0.1228 | 0.3282 | 0.1828 | 0.1640 | 6.840 | 0.1152 | 7.1188 | 80.5661 | | |
| | 4 | 0.5972 | 0.1234 | 0.3293 | 0.1822 | 0.1628 | 6.859 | 0.1572 | 7.1789 | 80.7286 | | |
| | 3 | 0.5987 | 0.1227 | 0.3297 | 0.1820 | 0.1625 | 6.873 | 0.1531 | 7.1887 | 80.7548 | | |
| | 2 | 0.5996 | 0.1227 | 0.3301 | 0.1818 | 0.1620 | 6.882 | 0.1259 | 7.1704 | 80.7057 | | |
| | 1 | 0.6000 | 0.0473 | 0.2958 | 0.2028 | 0.2018 | 6.886 | 0.0164 | 7.1042 | 80.5259 | | |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0423 | 0.2844 | 0.2110 | 0.2183 | 6.690 | 0.0037 | 6.9119 | 79.9841 | | |
| | 3 | 0.5600 | 0.018 | 0.2641 | 0.2271 | 0.2531 | 6.494 | 0.0056 | 6.7523 | 79.5110 | | |
| | 4 | 0.5400 | 0.0136 | 0.2530 | 0.2372 | 0.2759 | 6.297 | 0.0069 | 6.5801 | 78.9751 | | |
| | 5 | 0.5200 | 0.0143 | 0.2442 | 0.2457 | 0.2962 | 6.101 | 0.0162 | 6.4136 | 78.4290 | | |
| | 6 | 0.5000 | 0.0154 | 0.2355 | 0.2547 | 0.3183 | 5.905 | 0.0184 | 6.2417 | 77.8351 | | |
| | 7 | 0.4800 | 0.0167 | 0.2270 | 0.2643 | 0.3427 | 5.709 | -0.0291 | 6.0224 | 77.0278 | | |
| | 8 | 0.4600 | 0.0183 | 0.2186 | 0.2745 | 0.3696 | 5.513 | -0.0694 | 5.8128 | 76.1997 | | |
| CRESTA AGUAS RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0198 | 0.2101 | 0.2855 | 0.3999 | 5.316 | -0.0563 | 5.6600 | 75.5571 | | |
| | 10 | 0.4200 | 0.0221 | 0.2020 | 0.2970 | 0.4326 | 5.120 | 0.0208 | 5.5736 | 75.1781 | | |
| | 11 | 0.4000 | 0.021 | 0.1924 | 0.3119 | 0.4770 | 4.924 | 0.0122 | 5.4132 | 74.4426 | | |
| | 12 | 0.3841 | 0.0163 | 0.1830 | 0.3279 | 0.5274 | 4.768 | -0.0385 | 5.2568 | 73.6823 | | |
| | 13 | 0.3824 | 0.0147 | 0.1815 | 0.3306 | 0.5362 | 4.751 | | 5.2875 | 73.8352 | | |
| | 14 | 0.3564 | 0.147 | 0.2301 | 0.2608 | 0.3336 | 4.496 | | 4.8299 | 71.3563 | | |
| | 15 | 0.3296 | 0.0147 | 0.1573 | 0.3813 | 0.7132 | 4.233 | | 4.9466 | 72.0320 | | |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0148 | 0.1442 | 0.4160 | 0.8489 | 3.951 | | 4.7997 | 71.1759 | | |
| | 17 | 0.2708 | 0.0202 | 0.1330 | 0.4512 | 0.9984 | 3.657 | 0.4457 | 5.1007 | 72.8766 | | |
| | 18 | 0.1988 | 0.0208 | 0.1004 | 0.5979 | 1.7533 | 2.950 | 0.4485 | 5.1520 | 73.1469 | | |
| | 19 | 0.2492 | 0.0237 | 0.1247 | 0.4811 | 1.1353 | 3.445 | 0.9440 | 5.5239 | 74.9550 | | |
| | 20 | 0.3036 | 0.0218 | 0.1487 | 0.4035 | 0.7985 | 3.978 | 1.2129 | 5.9897 | 76.9026 | | |

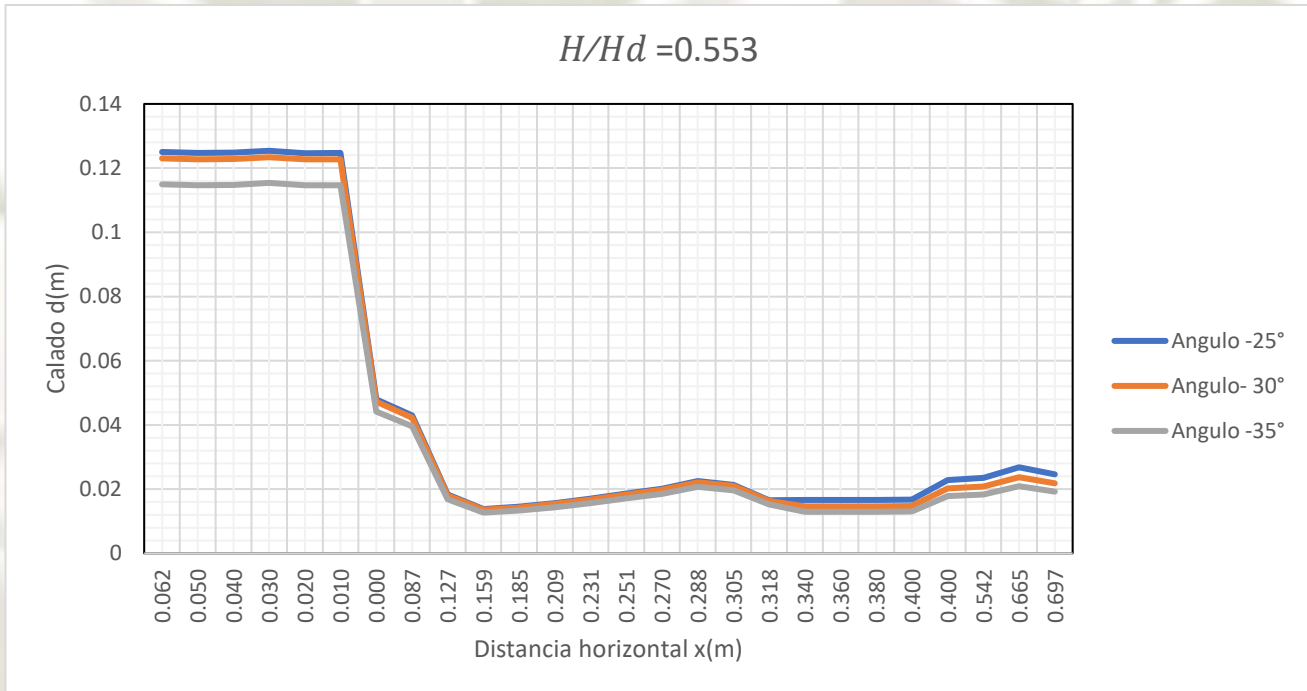
Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| N° | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.06 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | |
| Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.044 m | | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.115 | 0.3219 | 0.1864 | 0.1704 | 6.783 | 0.4182 | 7.3714 | 79.3081 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1147 | 0.3234 | 0.1855 | 0.1689 | 6.816 | 0.1647 | 7.1497 | 78.6667 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1148 | 0.3245 | 0.1849 | 0.1677 | 6.840 | 0.1152 | 7.1226 | 78.5852 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1154 | 0.3257 | 0.1842 | 0.1665 | 6.859 | 0.1572 | 7.1826 | 78.7642 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1147 | 0.3260 | 0.1840 | 0.1661 | 6.873 | 0.1531 | 7.1923 | 78.7930 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1147 | 0.3265 | 0.1838 | 0.1657 | 6.882 | 0.1259 | 7.1740 | 78.7389 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0442 | 0.2944 | 0.2038 | 0.2037 | 6.886 | 0.0164 | 7.1061 | 78.5357 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0396 | 0.2832 | 0.2119 | 0.2202 | 6.690 | 0.0037 | 6.9138 | 77.9385 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0168 | 0.2636 | 0.2276 | 0.2541 | 6.494 | 0.0056 | 6.7533 | 77.4144 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0127 | 0.2526 | 0.2375 | 0.2768 | 6.297 | 0.0069 | 6.5810 | 76.8232 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0134 | 0.2438 | 0.2461 | 0.2972 | 6.101 | 0.0162 | 6.4146 | 76.2216 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0144 | 0.2351 | 0.2552 | 0.3195 | 5.905 | 0.0184 | 6.2430 | 75.5681 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0156 | 0.2265 | 0.2649 | 0.3442 | 5.709 | -0.0291 | 6.0239 | 74.6796 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0171 | 0.2180 | 0.2752 | 0.3714 | 5.513 | -0.0694 | 5.8147 | 73.7685 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0185 | 0.2095 | 0.2863 | 0.4022 | 5.316 | -0.0563 | 5.6623 | 73.0625 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0207 | 0.2014 | 0.2979 | 0.4353 | 5.120 | 0.0208 | 5.5763 | 72.6473 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0196 | 0.1918 | 0.3129 | 0.4802 | 4.924 | 0.0122 | 5.4164 | 71.8396 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0152 | 0.1825 | 0.3288 | 0.5303 | 4.768 | -0.0385 | 5.2597 | 71.0007 |
| | 13 | 0.3824 | 0.013 | 0.1807 | 0.3320 | 0.5408 | 4.751 | | 5.2921 | 71.1785 |
| | 14 | 0.3564 | 0.013 | 0.1688 | 0.3554 | 0.6196 | 4.496 | | 5.1159 | 70.1855 |
| | 15 | 0.3296 | 0.013 | 0.1566 | 0.3832 | 0.7203 | 4.233 | | 4.9537 | 69.2094 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0131 | 0.1435 | 0.4183 | 0.8581 | 3.951 | | 4.8089 | 68.2824 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0178 | 0.1319 | 0.4549 | 1.0151 | 3.657 | 0.6251 | 5.2968 | 71.2036 |
| CUCHAR ON | 18 | 0.1988 | 0.0183 | 0.0992 | 0.6047 | 1.7939 | 2.950 | 0.6153 | 5.3594 | 71.5400 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0209 | 0.1234 | 0.4861 | 1.1589 | 3.445 | 1.0617 | 5.6653 | 73.0770 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0192 | 0.1475 | 0.4067 | 0.8114 | 3.978 | 1.6150 | 6.4047 | 76.1852 |

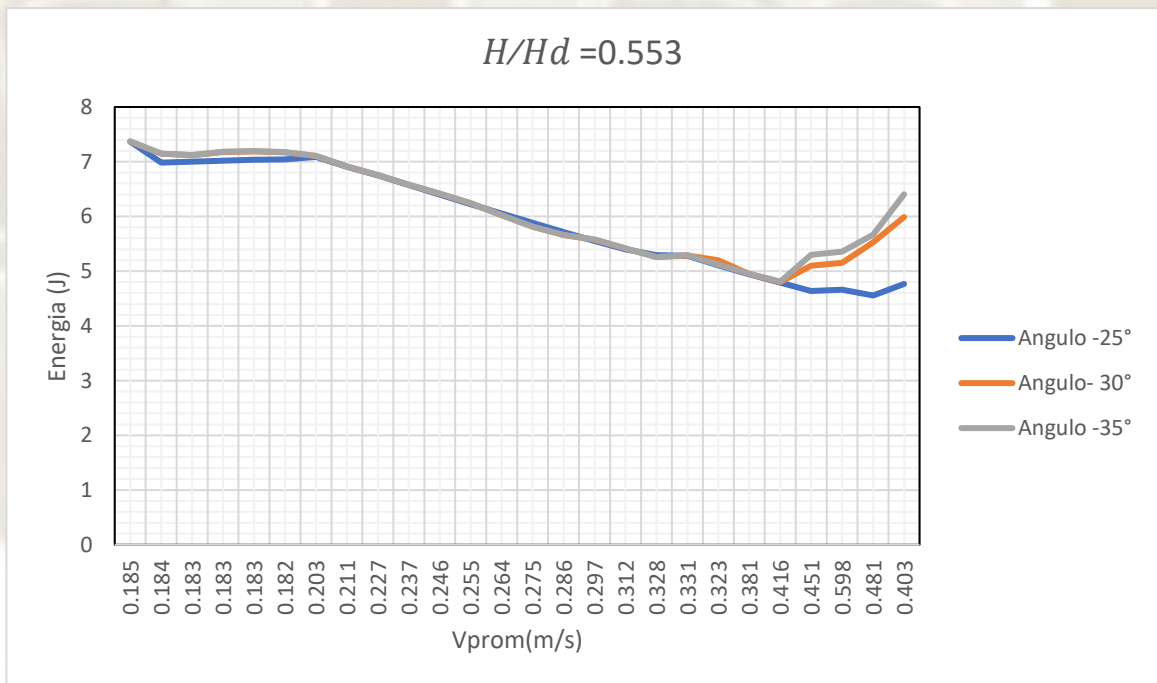
Fuente: Elaboración propia

Grafico 48. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_d = 0.553$ a 60 l/s.



Fuente: Elaboración propia

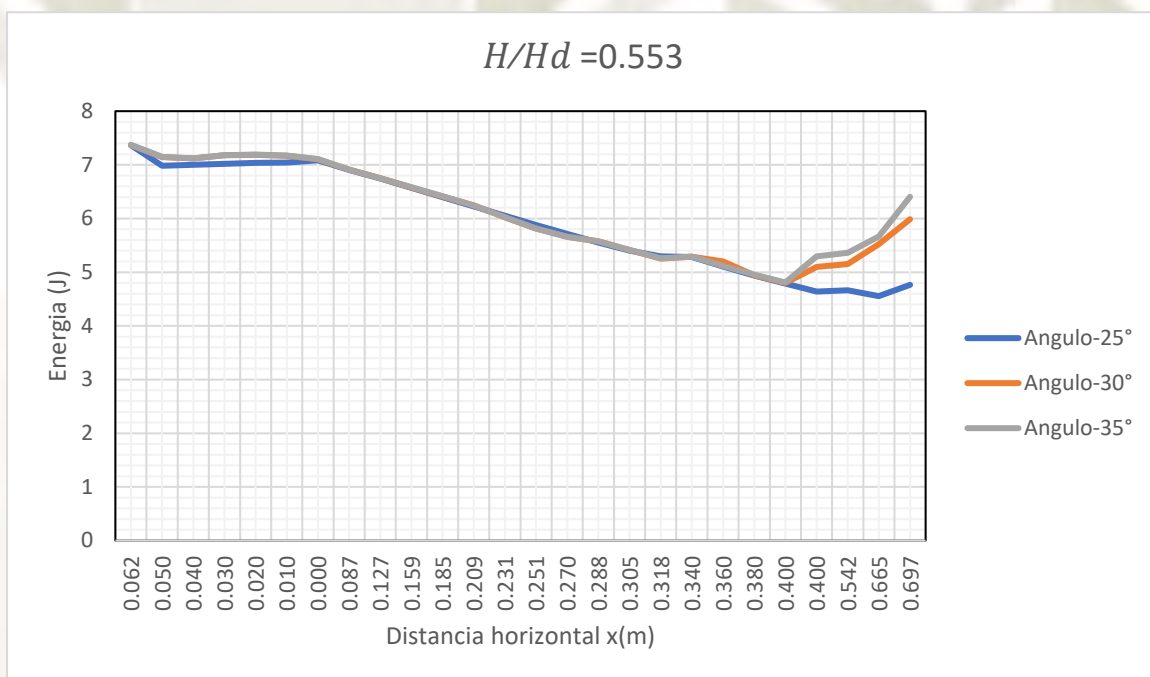
Grafico 49. Variación de la energía con respecto a la velocidad en la estructura de



disipación

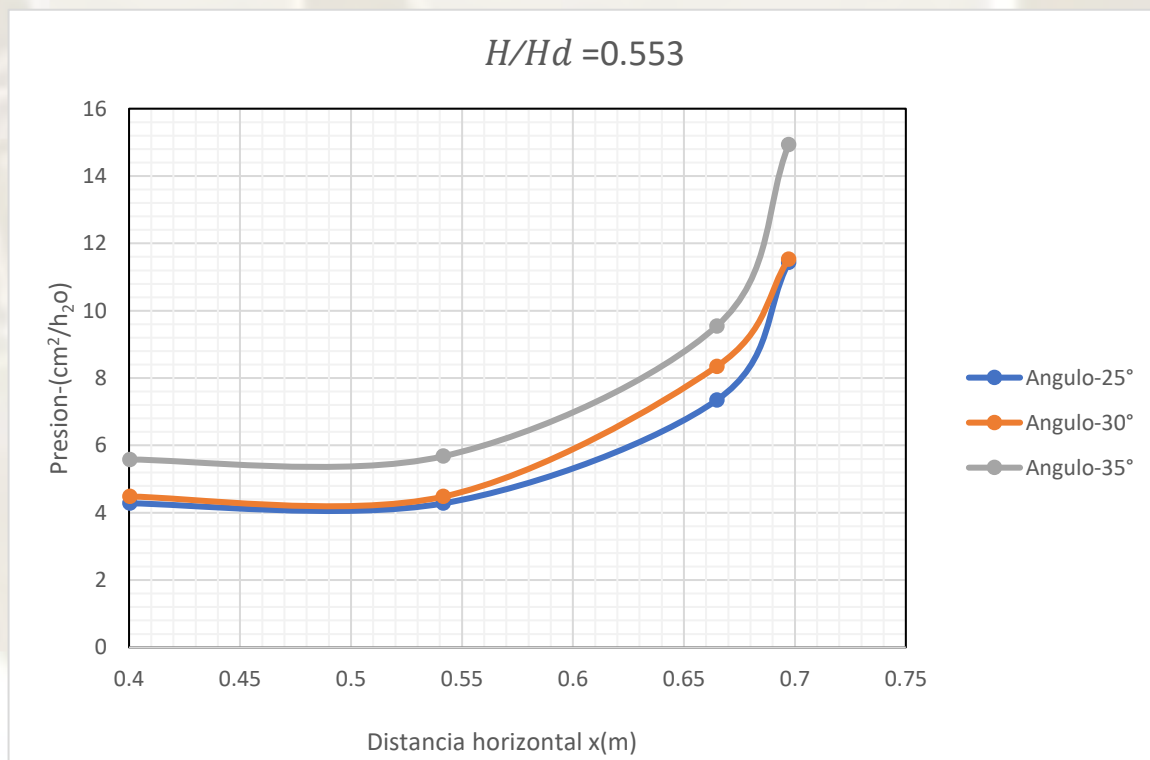
Fuente: Elaboración propia

Grafico 50. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 51. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflectora.



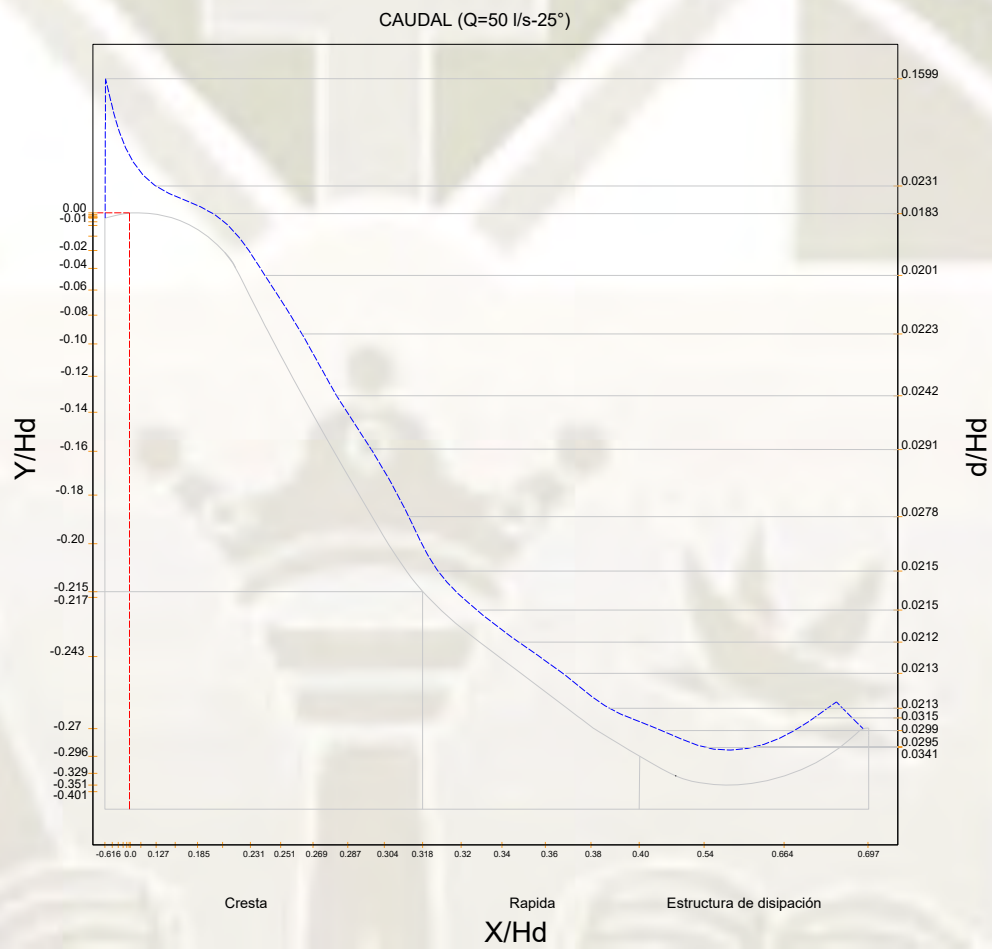
Fuente: Elaboración propia

Tabla 68. calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=50 l/s) | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) | (cm-h2o) | | |
| CRESTA AGUAS ANTINA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.1599 | 0.1599 | 0.15990.0201 | 6.3945 | 6.3945 | 6.3945 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.1592 | 0.1592 | 0.1592 | 2.5185 | 2.5185 | 2.5185 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.1596 | 0.1596 | 0.1596 | 1.761 | 1.761 | 1.761 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.1598 | 0.1598 | 0.1598 | 2.403 | 2.403 | 2.403 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.1601 | 0.1601 | 0.1601 | 2.3415 | 2.3415 | 2.3415 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.1598 | 0.1598 | 0.1598 | 1.9245 | 1.9245 | 1.9245 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1599 | 0.1599 | 0.1599 | 0.2505 | 0.2505 | 0.2505 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0612 | 0.0612 | 0.0612 | 0.057 | 0.057 | 0.057 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0554 | 0.0554 | 0.0554 | 0.0855 | 0.0855 | 0.0855 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0231 | 0.0231 | 0.0231 | 0.105 | 0.105 | 0.105 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0183 | 0.0183 | 0.0183 | 0.2475 | 0.2475 | 0.2475 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0195 | 0.0195 | 0.0195 | 0.282 | 0.282 | 0.282 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0201 | 0.0201 | 0.0201 | -0.4455 | -0.4455 | -0.4455 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0223 | 0.0223 | 0.0223 | -1.0605 | -1.0605 | -1.0605 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0242 | 0.0242 | 0.0242 | -0.861 | -0.861 | -0.861 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0263 | 0.0263 | 0.0263 | 0.318 | 0.318 | 0.318 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0291 | 0.0291 | 0.0291 | 0.186 | 0.186 | 0.186 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0278 | 0.0278 | 0.0278 | -0.588 | -0.588 | -0.588 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0215 | 0.0193 | 0.0179 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0215 | 0.0195 | 0.0178 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0212 | 0.0198 | 0.0182 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0213 | 0.0197 | 0.0181 | 5.875 | 6.875 | 9.175 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0295 | 0.0265 | 0.0246 | 4.275 | 4.375 | 5.475 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0299 | 0.0261 | 0.0254 | 4.275 | 4.445 | 5.675 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0341 | 0.0369 | 0.0289 | 7.341 | 8.341 | 9.441 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0315 | 0.0281 | 0.0266 | 11.543 | 11.513 | 14.743 |

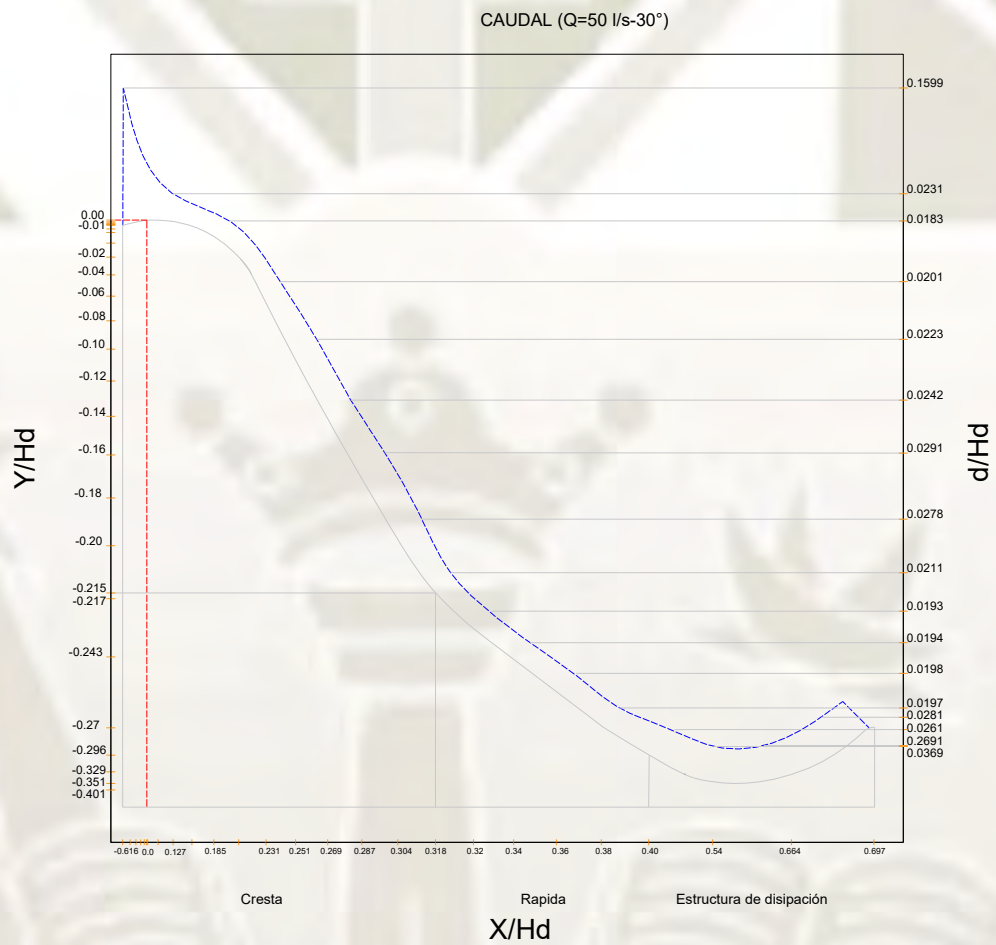
Fuente: Elaboración propia

Grafico 52. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.518$ a 50 l/s



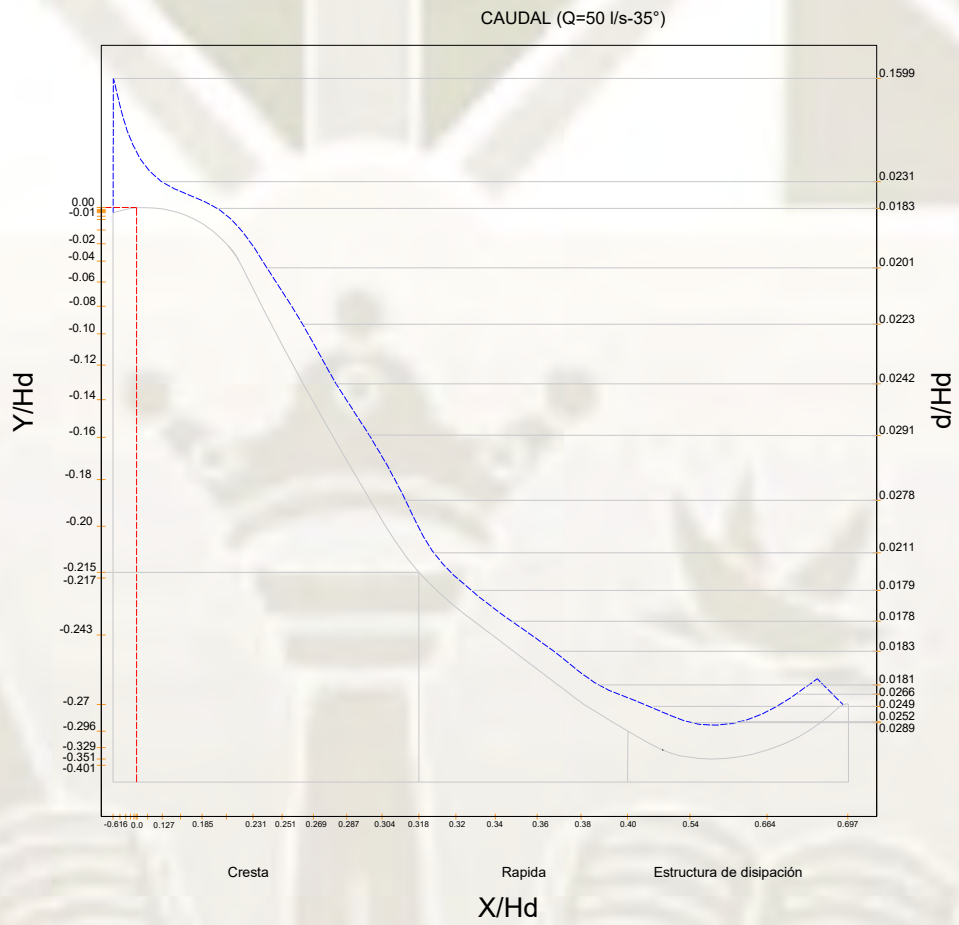
Fuente: Elaboración propia

Grafico 53. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.518$ a 50 l/s



Fuente: Elaboración propia

Grafico 54. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.518$ a 50 l/s



Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| N° | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.04 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | 0.4457 | | | | |
| Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0380 m | | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.136 | 0.3315 | 0.2111 | 0.2187 | 6.783 | 0.4182 | 7.4197 | 89.3983 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1357 | 0.3330 | 0.2102 | 0.2168 | 6.816 | 0.1647 | 7.0329 | 88.8154 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1357 | 0.3341 | 0.2095 | 0.2154 | 6.840 | 0.1152 | 7.0551 | 88.8505 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1365 | 0.3353 | 0.2088 | 0.2138 | 6.859 | 0.1572 | 7.0727 | 88.8782 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1356 | 0.3356 | 0.2086 | 0.2134 | 6.873 | 0.1531 | 7.0865 | 88.8999 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1357 | 0.3361 | 0.2083 | 0.2128 | 6.882 | 0.1259 | 7.0953 | 88.9137 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0523 | 0.2981 | 0.2348 | 0.2705 | 6.886 | 0.0164 | 7.1565 | 89.0084 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0468 | 0.2864 | 0.2444 | 0.2929 | 6.690 | 0.0037 | 6.9827 | 88.7349 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0199 | 0.2650 | 0.2641 | 0.3422 | 6.494 | 0.0056 | 6.8358 | 88.4928 |
| | 4 | 0.5400 | 0.015 | 0.2536 | 0.2760 | 0.3736 | 6.297 | 0.0069 | 6.6710 | 88.2086 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0158 | 0.2449 | 0.2859 | 0.4009 | 6.101 | 0.0162 | 6.5021 | 87.9022 |
| | 6 | 0.5000 | 0.017 | 0.2363 | 0.2963 | 0.4305 | 5.905 | 0.0184 | 6.3355 | 87.5842 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0185 | 0.2278 | 0.3073 | 0.4631 | 5.709 | -0.0291 | 6.1719 | 87.2550 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0202 | 0.2195 | 0.3190 | 0.4991 | 5.513 | -0.0694 | 6.0117 | 86.9153 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0219 | 0.2111 | 0.3316 | 0.5394 | 5.316 | -0.0563 | 5.8558 | 86.5670 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0245 | 0.2031 | 0.3446 | 0.5825 | 5.120 | 0.0208 | 5.7027 | 86.2063 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0232 | 0.1934 | 0.3619 | 0.6426 | 4.924 | 0.0122 | 5.5666 | 85.8690 |
| | 12 | 0.3841 | 0.018 | 0.1838 | 0.3810 | 0.7118 | 4.768 | -0.0385 | 5.4797 | 85.6449 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0181 | 0.1830 | 0.3825 | 0.7175 | 4.751 | | 5.4688 | 85.6165 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0181 | 0.1711 | 0.4090 | 0.8205 | 4.496 | | 5.3168 | 85.2053 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0181 | 0.1589 | 0.4405 | 0.9519 | 4.233 | | 5.1853 | 84.8300 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0182 | 0.1458 | 0.4802 | 1.1309 | 3.951 | | 5.0817 | 84.5209 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0248 | 0.1351 | 0.5182 | 1.3170 | 3.657 | 0.4191 | 4.9736 | 84.1843 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0255 | 0.1025 | 0.6829 | 2.2874 | 2.950 | 0.4191 | 5.2376 | 84.9816 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0291 | 0.1272 | 0.5504 | 1.4859 | 3.445 | 0.7871 | 4.9305 | 84.0461 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0268 | 0.1510 | 0.4636 | 1.0542 | 3.978 | 1.1638 | 5.0325 | 84.3695 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| Nº | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.05 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0390 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.113 | 0.3210 | 0.1557 | 0.1190 | 6.783 | 0.4182 | 7.3200 | 78.0806 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1127 | 0.3225 | 0.1551 | 0.1179 | 6.816 | 0.1647 | 7.0988 | 77.3976 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1128 | 0.3236 | 0.1545 | 0.1171 | 6.840 | 0.1152 | 7.0720 | 77.3119 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1134 | 0.3248 | 0.1540 | 0.1163 | 6.859 | 0.1572 | 7.1323 | 77.5039 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1127 | 0.3251 | 0.1538 | 0.1160 | 6.873 | 0.1531 | 7.1422 | 77.5350 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1128 | 0.3256 | 0.1536 | 0.1157 | 6.882 | 0.1259 | 7.1240 | 77.4776 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0434 | 0.2940 | 0.1700 | 0.1418 | 6.886 | 0.0164 | 7.0442 | 77.2225 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0389 | 0.2828 | 0.1768 | 0.1533 | 6.690 | 0.0037 | 6.8468 | 76.5658 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0165 | 0.2635 | 0.1898 | 0.1767 | 6.494 | 0.0056 | 6.6759 | 75.9656 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0125 | 0.2525 | 0.1980 | 0.1923 | 6.297 | 0.0069 | 6.4966 | 75.3025 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0132 | 0.2437 | 0.2052 | 0.2065 | 6.101 | 0.0162 | 6.3239 | 74.6281 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0141 | 0.2349 | 0.2128 | 0.2222 | 5.905 | 0.0184 | 6.1456 | 73.8919 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0154 | 0.2264 | 0.2209 | 0.2392 | 5.709 | -0.0291 | 5.9189 | 72.8920 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0168 | 0.2179 | 0.2295 | 0.2583 | 5.513 | -0.0694 | 5.7015 | 71.8584 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0182 | 0.2094 | 0.2388 | 0.2797 | 5.316 | -0.0563 | 5.5398 | 71.0366 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0203 | 0.2012 | 0.2485 | 0.3029 | 5.120 | 0.0208 | 5.4439 | 70.5265 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0193 | 0.1916 | 0.2609 | 0.3340 | 4.924 | 0.0122 | 5.2701 | 69.5548 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0149 | 0.1823 | 0.2742 | 0.3688 | 4.768 | -0.0385 | 5.0982 | 68.5282 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0135 | 0.1809 | 0.2764 | 0.3746 | 4.751 | | 5.1260 | 68.6985 |
| | 14 | 0.3564 | 0.1351 | 0.2246 | 0.2226 | 0.2431 | 4.496 | | 4.7393 | 66.1451 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0135 | 0.1568 | 0.3189 | 0.4988 | 4.233 | | 4.7322 | 66.0937 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0136 | 0.1437 | 0.3480 | 0.5940 | 3.951 | | 4.5448 | 64.6963 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0185 | 0.1322 | 0.3782 | 0.7015 | 3.657 | 0.4457 | 4.8038 | 66.5991 |
| CUCHAR ON | 18 | 0.1988 | 0.0191 | 0.0996 | 0.5021 | 1.2366 | 2.950 | 0.4485 | 4.6353 | 65.3856 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0217 | 0.1238 | 0.4039 | 0.8001 | 3.445 | 0.9440 | 5.1887 | 69.0773 |
| | 20 | 0.3036 | 0.02 | 0.1479 | 0.3381 | 0.5607 | 3.978 | 1.2129 | 5.7519 | 72.1050 |

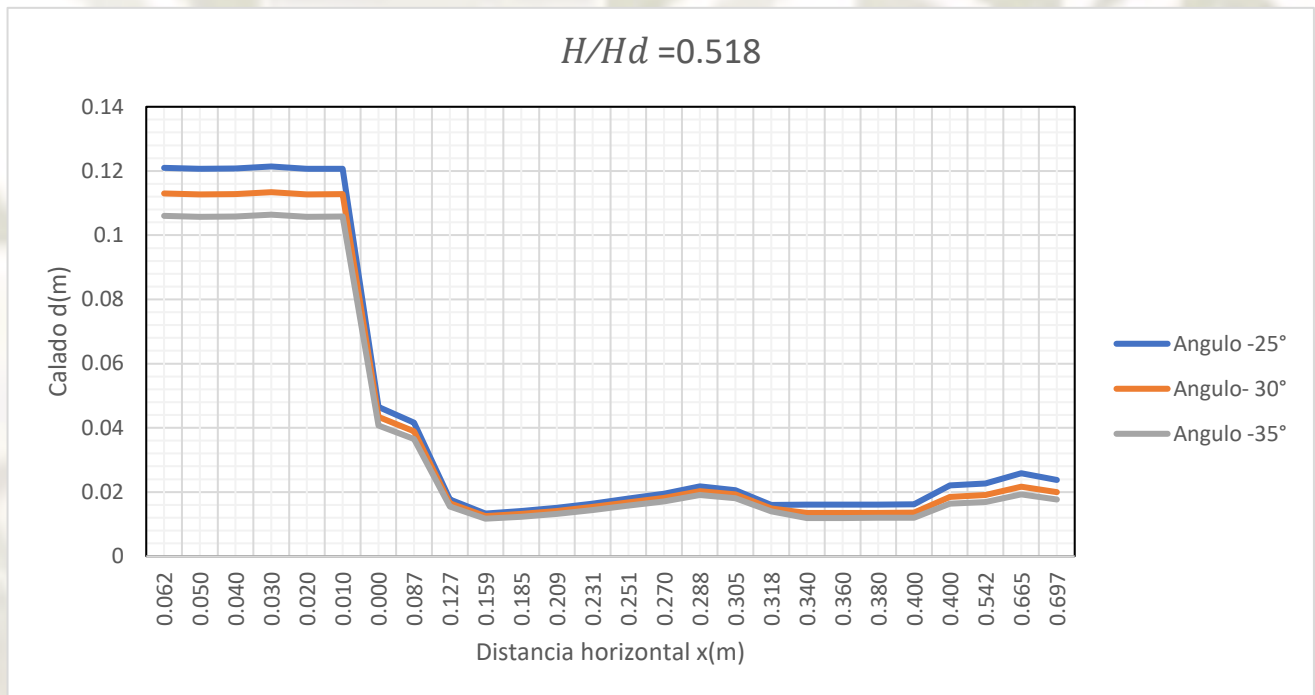
Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°

| Nº | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.05 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0390 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.113 | 0.3210 | 0.1557 | 0.1190 | 6.783 | 0.4182 | 7.3200 | 78.0806 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1127 | 0.3225 | 0.1551 | 0.1179 | 6.816 | 0.1647 | 7.0988 | 77.3976 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1128 | 0.3236 | 0.1545 | 0.1171 | 6.840 | 0.1152 | 7.0720 | 77.3119 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1134 | 0.3248 | 0.1540 | 0.1163 | 6.859 | 0.1572 | 7.1323 | 77.5039 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1127 | 0.3251 | 0.1538 | 0.1160 | 6.873 | 0.1531 | 7.1422 | 77.5350 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1128 | 0.3256 | 0.1536 | 0.1157 | 6.882 | 0.1259 | 7.1240 | 77.4776 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0434 | 0.2940 | 0.1700 | 0.1418 | 6.886 | 0.0164 | 7.0442 | 77.2225 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0389 | 0.2828 | 0.1768 | 0.1533 | 6.690 | 0.0037 | 6.8468 | 76.5658 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0165 | 0.2635 | 0.1898 | 0.1767 | 6.494 | 0.0056 | 6.6759 | 75.9656 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0125 | 0.2525 | 0.1980 | 0.1923 | 6.297 | 0.0069 | 6.4966 | 75.3025 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0132 | 0.2437 | 0.2052 | 0.2065 | 6.101 | 0.0162 | 6.3239 | 74.6281 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0141 | 0.2349 | 0.2128 | 0.2222 | 5.905 | 0.0184 | 6.1456 | 73.8919 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0154 | 0.2264 | 0.2209 | 0.2392 | 5.709 | -0.0291 | 5.9189 | 72.8920 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0168 | 0.2179 | 0.2295 | 0.2583 | 5.513 | -0.0694 | 5.7015 | 71.8584 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0182 | 0.2094 | 0.2388 | 0.2797 | 5.316 | -0.0563 | 5.5398 | 71.0366 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0203 | 0.2012 | 0.2485 | 0.3029 | 5.120 | 0.0208 | 5.4439 | 70.5265 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0193 | 0.1916 | 0.2609 | 0.3340 | 4.924 | 0.0122 | 5.2701 | 69.5548 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0149 | 0.1823 | 0.2742 | 0.3688 | 4.768 | -0.0385 | 5.0982 | 68.5282 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0135 | 0.1809 | 0.2764 | 0.3746 | 4.751 | | 5.1260 | 68.6985 |
| | 14 | 0.3564 | 0.1351 | 0.2246 | 0.2226 | 0.2431 | 4.496 | | 4.7393 | 66.1451 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0135 | 0.1568 | 0.3189 | 0.4988 | 4.233 | | 4.7322 | 66.0937 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.0136 | 0.1437 | 0.3480 | 0.5940 | 3.951 | | 4.5448 | 64.6963 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0185 | 0.1322 | 0.3782 | 0.7015 | 3.657 | 0.4457 | 4.8038 | 66.5991 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0191 | 0.0996 | 0.5021 | 1.2366 | 2.950 | 0.4485 | 4.6353 | 65.3856 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0217 | 0.1238 | 0.4039 | 0.8001 | 3.445 | 0.9440 | 5.1887 | 69.0773 |
| | 20 | 0.3036 | 0.02 | 0.1479 | 0.3381 | 0.5607 | 3.978 | 1.2129 | 5.7519 | 72.1050 |

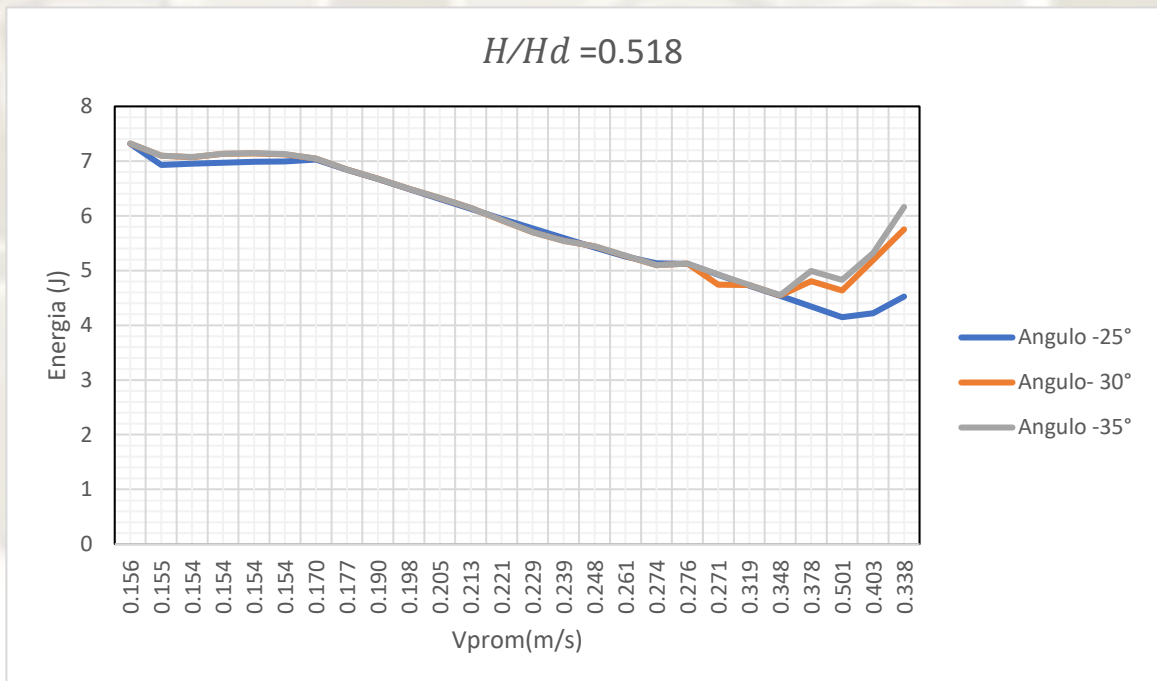
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 55. Grafica de los tres tipos de cucharon con $HH_d=0.518$ a 50 l/s



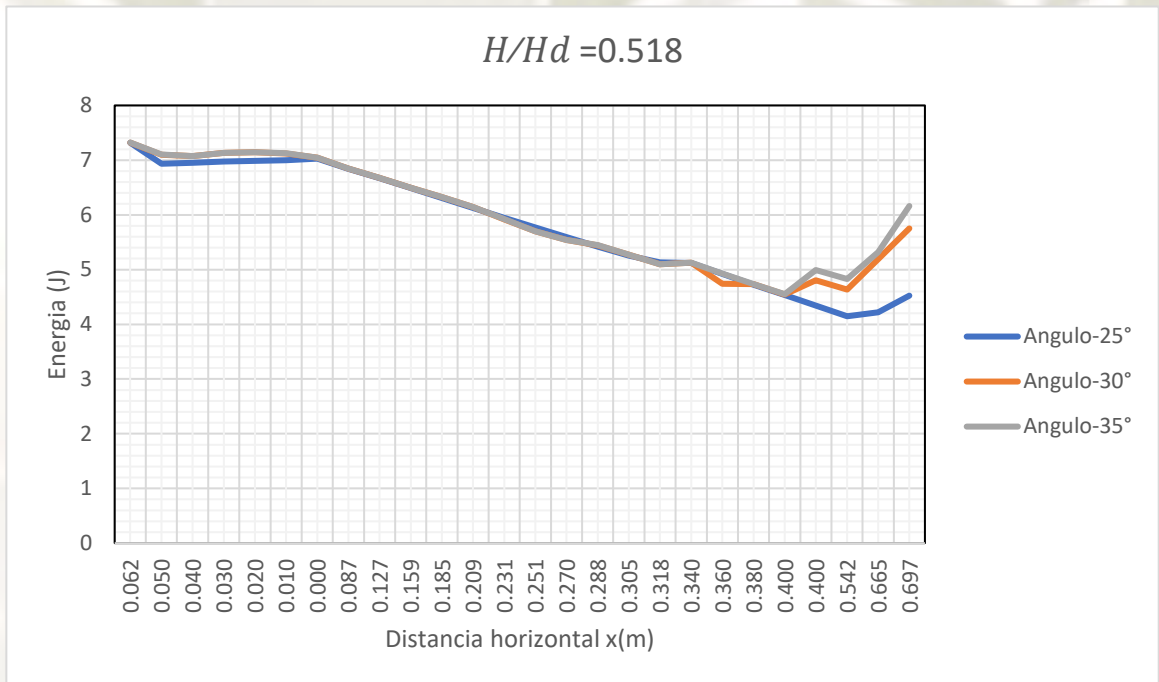
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 56. Energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



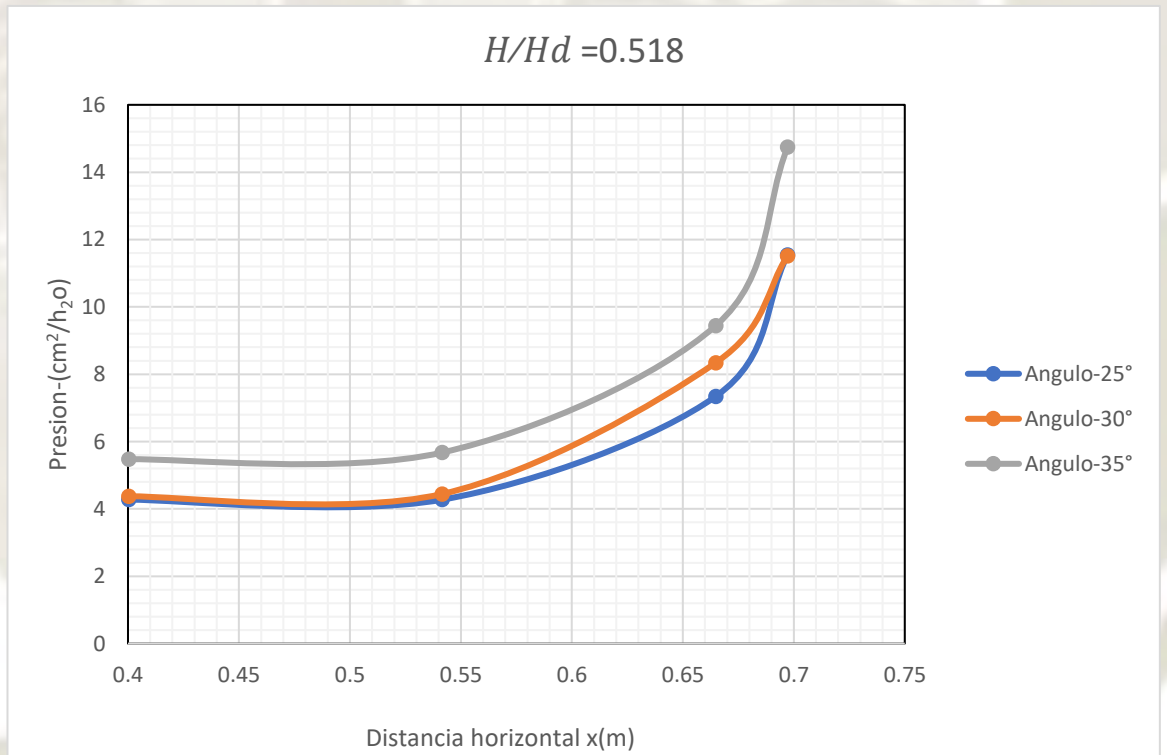
Fuente: Elaboración propia

Grafico 57. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 58. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflector.



Fuente: Elaboración propia

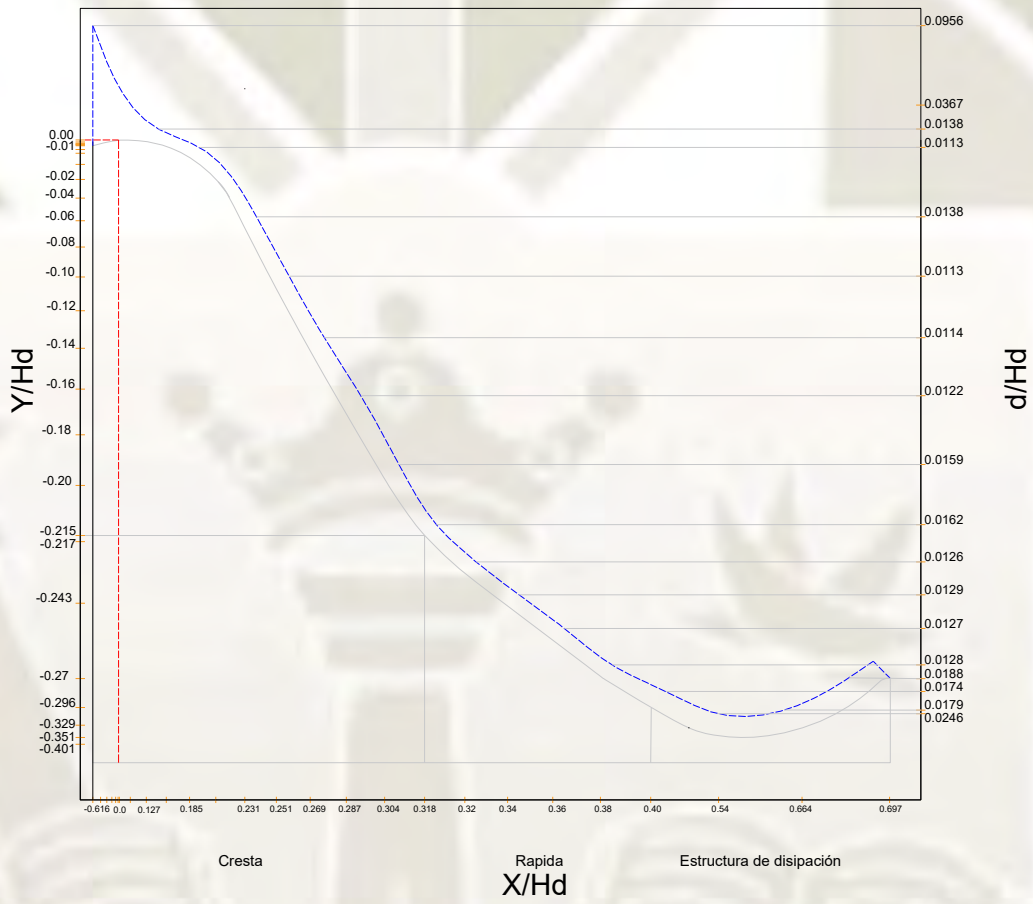
Tabla 72. calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=30 l/S) | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| | | | X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0956 | 0.0956 | 0.0956 | 7.6734 | 7.6734 | 7.6734 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0955 | 0.0955 | 0.0955 | 3.0222 | 3.0222 | 3.0222 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0953 | 0.0953 | 0.0953 | 2.1132 | 2.1132 | 2.1132 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0953 | 0.0953 | 0.0953 | 2.8836 | 2.8836 | 2.8836 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0958 | 0.0958 | 0.0958 | 2.8098 | 2.8098 | 2.8098 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0952 | 0.0952 | 0.0952 | 2.3094 | 2.3094 | 2.3094 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0953 | 0.0953 | 0.0953 | 0.3006 | 0.3006 | 0.3006 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0367 | 0.0367 | 0.0367 | 0.0684 | 0.0684 | 0.0684 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0328 | 0.0328 | 0.0328 | 0.1026 | 0.1026 | 0.1026 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0138 | 0.0138 | 0.0138 | 0.126 | 0.126 | 0.126 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0103 | 0.0103 | 0.0103 | 0.297 | 0.297 | 0.297 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0113 | 0.0113 | 0.0113 | 0.3384 | 0.3384 | 0.3384 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0114 | 0.0114 | 0.0114 | -0.5346 | -0.5346 | -0.5346 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0129 | 0.0129 | 0.0129 | -1.2726 | -1.2726 | -1.2726 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0122 | 0.0122 | 0.0122 | -1.0332 | -1.0332 | -1.0332 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0159 | 0.0159 | 0.0159 | 0.3816 | 0.3816 | 0.3816 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0179 | 0.0179 | 0.0179 | 0.2232 | 0.2232 | 0.2232 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0162 | 0.0162 | 0.0162 | -0.7056 | -0.7056 | -0.7056 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0126 | 0.0126 | 0.0126 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0129 | 0.0129 | 0.0129 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0127 | 0.0127 | 0.0127 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0127 | 0.0115 | 0.0135 | 5.681 | 6.681 | 8.681 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0174 | 0.0157 | 0.0142 | 4.281 | 4.381 | 5.281 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0179 | 0.0164 | 0.0152 | 4.281 | 4.381 | 5.481 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0246 | 0.0184 | 0.0173 | 7.343 | 8.343 | 9.343 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0188 | 0.0162 | 0.0159 | 11.532 | 11.462 | 14.532 |

Fuente: Elaboración propia

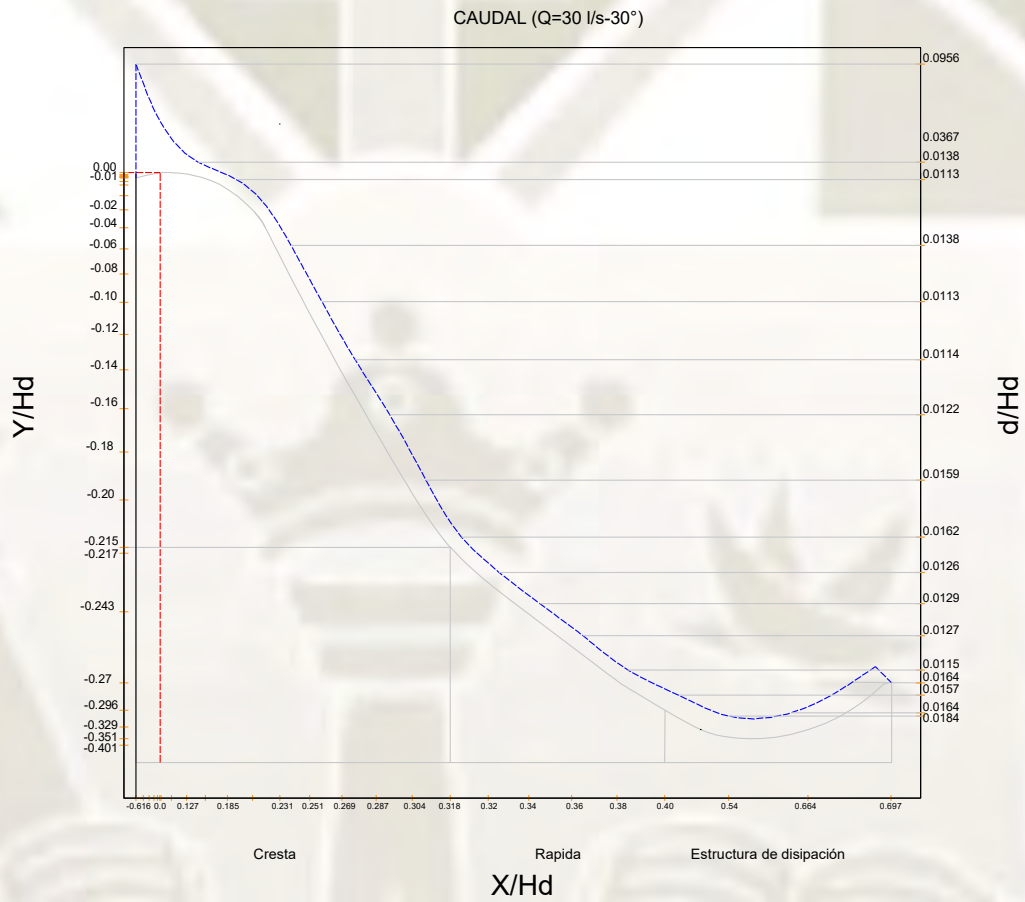
Grafico 59. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.347$ a 30 l/s

CAUDAL (Q=30 l/s-25°)



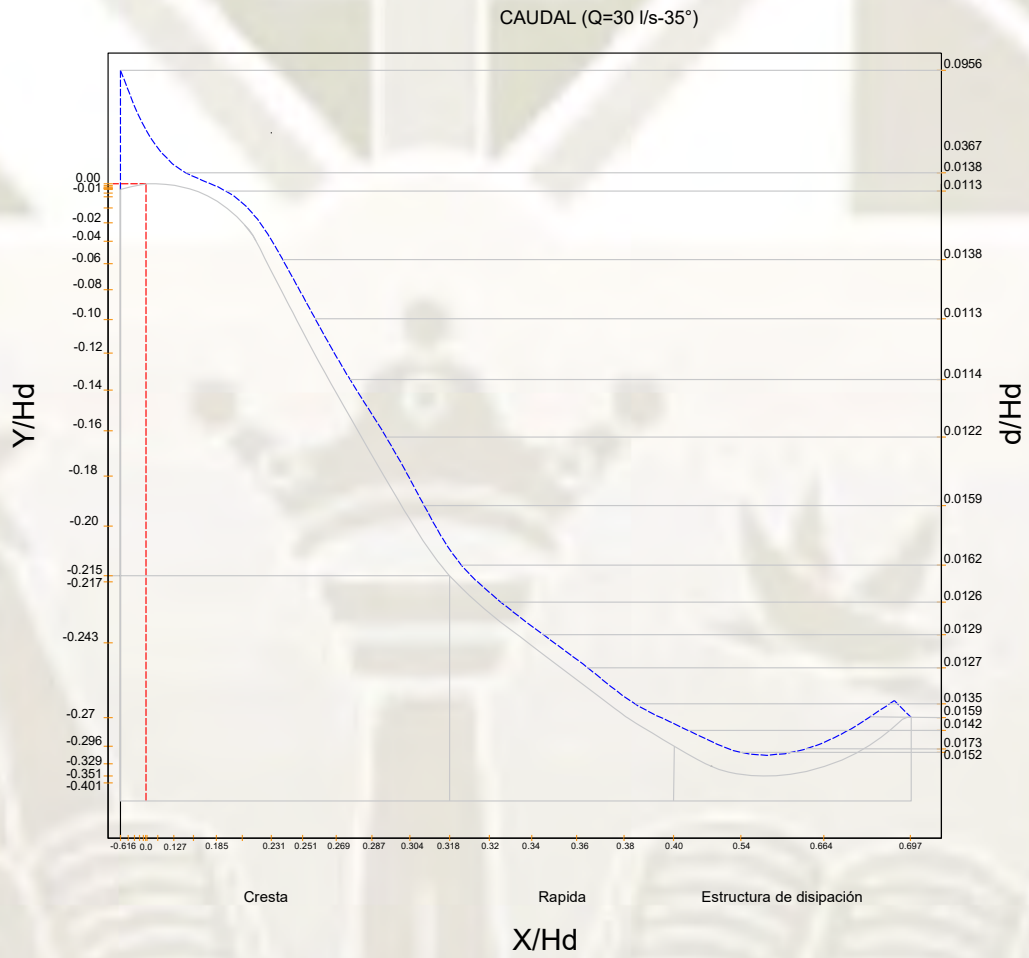
Fuente: Elaboración propia

Grafico 60. Sección del canal para una relación $H/H_d=0.347$ a 30 l/s



Fuente: Elaboración propia

Grafico 61. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.347$ a 30 l/s



Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| Nº | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.03 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0295 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.092 | 0.3114 | 0.0963 | 0.0455 | 6.783 | 0.4182 | 7.2465 | 80.6000 |
| | 6 | 0.5929 | 0.0918 | 0.3129 | 0.0959 | 0.0451 | 6.816 | 0.1647 | 6.8612 | 80.2547 |
| | 5 | 0.5953 | 0.0918 | 0.3140 | 0.0955 | 0.0448 | 6.840 | 0.1152 | 6.8845 | 80.2766 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 4 | 0.5972 | 0.0923 | 0.3151 | 0.0952 | 0.0445 | 6.859 | 0.1572 | 6.9034 | 80.2943 |
| | 3 | 0.5987 | 0.0917 | 0.3155 | 0.0951 | 0.0443 | 6.873 | 0.1531 | 6.9174 | 80.3074 |
| | 2 | 0.5996 | 0.0918 | 0.3160 | 0.0949 | 0.0442 | 6.882 | 0.1259 | 6.9267 | 80.3160 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0354 | 0.2904 | 0.1033 | 0.0524 | 6.886 | 0.0164 | 6.9384 | 80.3268 |
| | 2 | 0.5800 | 0.0317 | 0.2795 | 0.1073 | 0.0565 | 6.690 | 0.0037 | 6.7463 | 80.1440 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0135 | 0.2621 | 0.1145 | 0.0643 | 6.494 | 0.0056 | 6.5579 | 79.9542 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0101 | 0.2514 | 0.1193 | 0.0698 | 6.297 | 0.0069 | 6.3672 | 79.7507 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0107 | 0.2425 | 0.1237 | 0.0751 | 6.101 | 0.0162 | 6.1763 | 79.5343 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0115 | 0.2338 | 0.1283 | 0.0808 | 5.905 | 0.0184 | 5.9858 | 79.3047 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0125 | 0.2251 | 0.1333 | 0.0871 | 5.709 | -0.0291 | 5.7959 | 79.0608 |
| RAPIDA | 8 | 0.4600 | 0.0137 | 0.2165 | 0.1386 | 0.0942 | 5.513 | -0.0694 | 5.6068 | 78.8014 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0148 | 0.2078 | 0.1443 | 0.1022 | 5.316 | -0.0563 | 5.4186 | 78.5253 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0166 | 0.1995 | 0.1504 | 0.1109 | 5.120 | 0.0208 | 5.2311 | 78.2305 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0157 | 0.1900 | 0.1579 | 0.1223 | 4.924 | 0.0122 | 5.0463 | 77.9186 |
| CUCHAR ON | 12 | 0.3841 | 0.0122 | 0.1811 | 0.1657 | 0.1346 | 4.768 | -0.0385 | 4.9024 | 77.6594 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0122 | 0.1803 | 0.1664 | 0.1357 | 4.751 | | 4.8871 | 77.6308 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0122 | 0.1685 | 0.1781 | 0.1556 | 4.496 | | 4.6519 | 77.1697 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0122 | 0.1562 | 0.1921 | 0.1809 | 4.233 | | 4.4143 | 76.6541 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0123 | 0.1431 | 0.2097 | 0.2156 | 3.951 | | 4.1665 | 76.0536 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0168 | 0.1314 | 0.2283 | 0.2555 | 3.657 | 0.4191 | 3.9121 | 75.3581 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0173 | 0.0988 | 0.3038 | 0.4526 | 2.950 | 0.4191 | 3.4029 | 73.6533 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0197 | 0.1229 | 0.2441 | 0.2923 | 3.445 | 0.7871 | 3.7370 | 74.8243 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0181 | 0.1470 | 0.2041 | 0.2042 | 3.978 | 1.1638 | 4.1826 | 76.0948 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| Nº | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.03 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0255 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.081 | 0.3064 | 0.0979 | 0.0470 | 6.783 | 0.4182 | 17.248 | 77.3614 |
| | 6 | 0.5929 | 0.0808 | 0.3079 | 0.0974 | 0.0466 | 6.816 | 0.1647 | 17.027 | 77.0681 |
| | 5 | 0.5953 | 0.0808 | 0.3090 | 0.0971 | 0.0462 | 6.840 | 0.1152 | 17.001 | 77.0326 |
| | 4 | 0.5972 | 0.0813 | 0.3101 | 0.0967 | 0.0459 | 6.859 | 0.1572 | 17.062 | 77.1146 |
| | 3 | 0.5987 | 0.0808 | 0.3105 | 0.0966 | 0.0458 | 6.873 | 0.1531 | 17.072 | 77.1280 |
| | 2 | 0.5996 | 0.0808 | 0.3110 | 0.0965 | 0.0457 | 6.882 | 0.1259 | 17.054 | 77.1038 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0311 | 0.2884 | 0.1040 | 0.0531 | 6.886 | 0.0164 | 16.955 | 76.9708 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0279 | 0.2778 | 0.1080 | 0.0572 | 6.690 | 0.0037 | 16.751 | 76.6893 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0119 | 0.2614 | 0.1148 | 0.0646 | 6.494 | 0.0056 | 16.564 | 76.4263 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0089 | 0.2508 | 0.1196 | 0.0702 | 6.297 | 0.0069 | 16.374 | 76.1536 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0094 | 0.2419 | 0.1240 | 0.0754 | 6.101 | 0.0162 | 16.193 | 75.8862 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0101 | 0.2331 | 0.1287 | 0.0812 | 5.905 | 0.0184 | 16.005 | 75.6027 |
| | 7 | 0.4800 | 0.011 | 0.2244 | 0.1337 | 0.0877 | 5.709 | -0.0291 | 15.767 | 75.2355 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0121 | 0.2157 | 0.1391 | 0.0948 | 5.513 | -0.0694 | 15.538 | 74.8701 |
| | 9 | 0.4400 | 0.013 | 0.2070 | 0.1449 | 0.1030 | 5.316 | -0.0563 | 15.363 | 74.5838 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0146 | 0.1986 | 0.1510 | 0.1119 | 5.120 | 0.0208 | 15.253 | 74.4002 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0138 | 0.1891 | 0.1586 | 0.1234 | 4.924 | 0.0122 | 15.060 | 74.0716 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0107 | 0.1804 | 0.1663 | 0.1356 | 4.768 | -0.0385 | 14.865 | 73.7322 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0097 | 0.1792 | 0.1674 | 0.1375 | 4.751 | | 14.889 | 73.7742 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0968 | 0.2071 | 0.1448 | 0.1029 | 4.496 | | 14.599 | 73.2540 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0097 | 0.1551 | 0.1935 | 0.1836 | 4.233 | | 14.417 | 72.9159 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0097 | 0.1419 | 0.2114 | 0.2192 | 3.951 | | 14.170 | 72.4440 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0133 | 0.1298 | 0.2311 | 0.2619 | 3.657 | 0.4457 | 14.364 | 72.8162 |
| CUCHAR ON | 18 | 0.1988 | 0.0137 | 0.0971 | 0.3089 | 0.4681 | 2.950 | 0.4485 | 15.867 | 75.3908 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0156 | 0.1210 | 0.2479 | 0.3014 | 3.445 | 0.9440 | 14.690 | 73.4195 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0143 | 0.1453 | 0.2065 | 0.2092 | 3.978 | 1.2129 | 15.400 | 74.6454 |

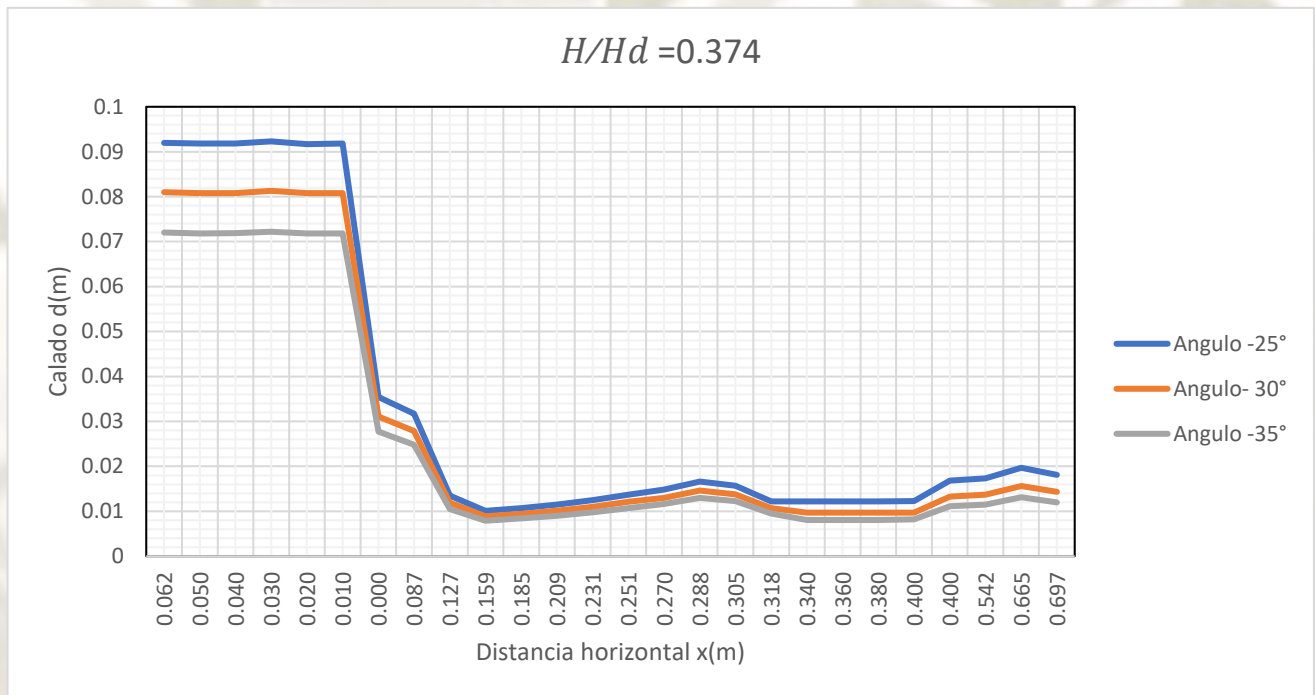
Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°

| Nº | DATOS: | | | | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Caudal: | 0.03 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0261 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.072 | 0.3023 | 0.0992 | 0.0483 | 6.783 | 0.4182 | 17.249 | 79.0709 |
| | 6 | 0.5929 | 0.0718 | 0.3038 | 0.0988 | 0.0478 | 6.816 | 0.1647 | 17.029 | 78.7998 |
| | 5 | 0.5953 | 0.0719 | 0.3049 | 0.0984 | 0.0475 | 6.840 | 0.1152 | 17.002 | 78.7669 |
| | 4 | 0.5972 | 0.0722 | 0.3059 | 0.0981 | 0.0472 | 6.859 | 0.1572 | 17.063 | 78.8427 |
| | 3 | 0.5987 | 0.0718 | 0.3064 | 0.0979 | 0.0470 | 6.873 | 0.1531 | 17.073 | 78.8550 |
| | 2 | 0.5996 | 0.0718 | 0.3068 | 0.0978 | 0.0469 | 6.882 | 0.1259 | 17.055 | 78.8327 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0277 | 0.2869 | 0.1046 | 0.0536 | 6.886 | 0.0164 | 16.956 | 78.7089 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0248 | 0.2764 | 0.1085 | 0.0578 | 6.690 | 0.0037 | 16.751 | 78.4487 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0105 | 0.2607 | 0.1151 | 0.0649 | 6.494 | 0.0056 | 16.564 | 78.2052 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0079 | 0.2504 | 0.1198 | 0.0704 | 6.297 | 0.0069 | 16.375 | 77.9530 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0084 | 0.2415 | 0.1242 | 0.0757 | 6.101 | 0.0162 | 16.193 | 77.7058 |
| | 6 | 0.5000 | 0.009 | 0.2326 | 0.1290 | 0.0816 | 5.905 | 0.0184 | 16.005 | 77.4438 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0098 | 0.2238 | 0.1340 | 0.0881 | 5.709 | -0.0291 | 15.768 | 77.1044 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0107 | 0.2151 | 0.1395 | 0.0954 | 5.513 | -0.0694 | 15.539 | 76.7668 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0116 | 0.2064 | 0.1454 | 0.1036 | 5.316 | -0.0563 | 15.364 | 76.5023 |
| | 10 | 0.4200 | 0.013 | 0.1979 | 0.1516 | 0.1127 | 5.120 | 0.0208 | 15.254 | 76.3329 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0123 | 0.1884 | 0.1592 | 0.1243 | 4.924 | 0.0122 | 15.061 | 76.0292 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0095 | 0.1799 | 0.1668 | 0.1365 | 4.768 | -0.0385 | 14.866 | 75.7153 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0081 | 0.1785 | 0.1681 | 0.1386 | 4.751 | | 14.890 | 75.7547 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0081 | 0.1666 | 0.1801 | 0.1591 | 4.496 | | 14.655 | 75.3666 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0081 | 0.1543 | 0.1944 | 0.1853 | 4.233 | | 14.419 | 74.9623 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0082 | 0.1412 | 0.2124 | 0.2214 | 3.951 | | 14.172 | 74.5268 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0111 | 0.1288 | 0.2329 | 0.2660 | 3.657 | 0.6251 | 14.548 | 75.1841 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0115 | 0.0961 | 0.3122 | 0.4779 | 2.950 | 0.6153 | 14.043 | 74.2932 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0131 | 0.1199 | 0.2503 | 0.3072 | 3.445 | 1.0617 | 14.814 | 75.6297 |
| CUCHAR ON | 20 | 0.3036 | 0.012 | 0.1442 | 0.2080 | 0.2122 | 3.978 | 1.6150 | 15.806 | 77.1591 |

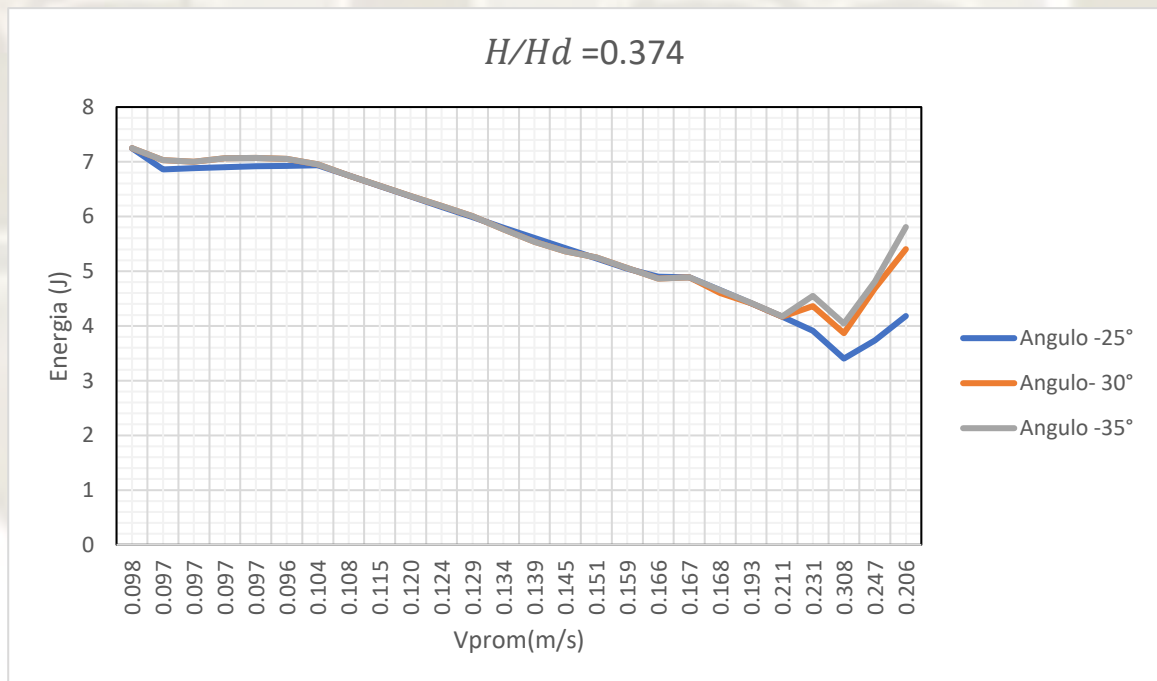
Fuente: Elaboración propia

Grafico 62. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_a = 0.374$ a 30 l/s.



Fuente: Elaboración propia

Grafico 63. Variación de la energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



Fuente: Elaboración propia

Grafico 64. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.

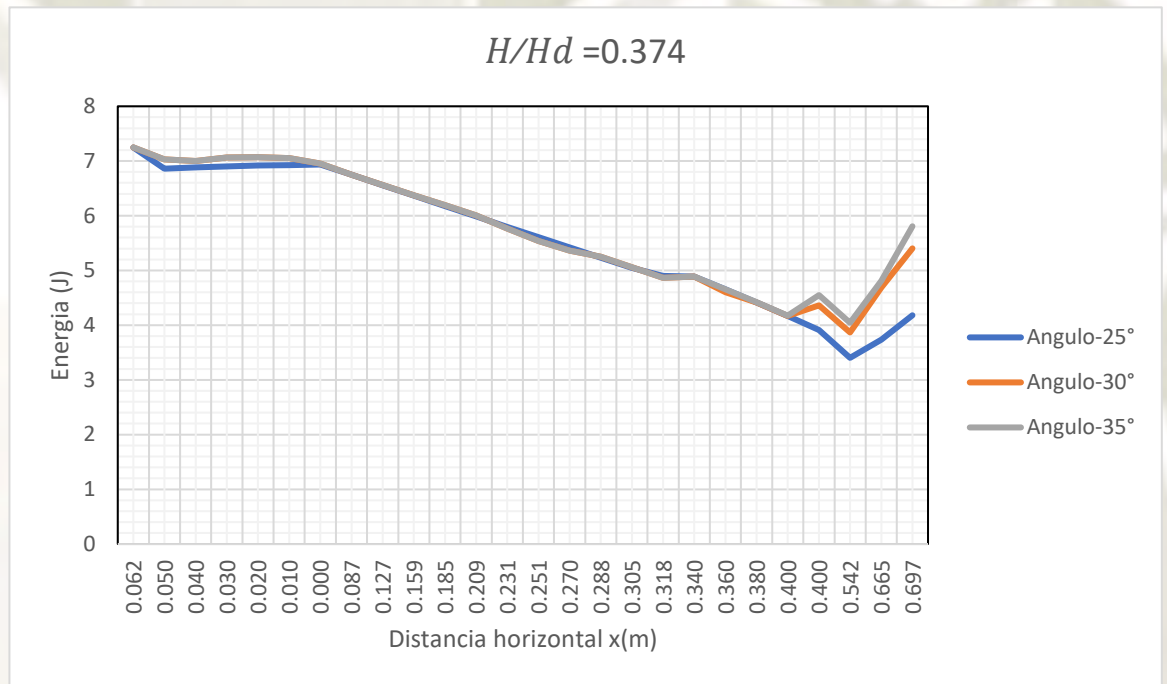


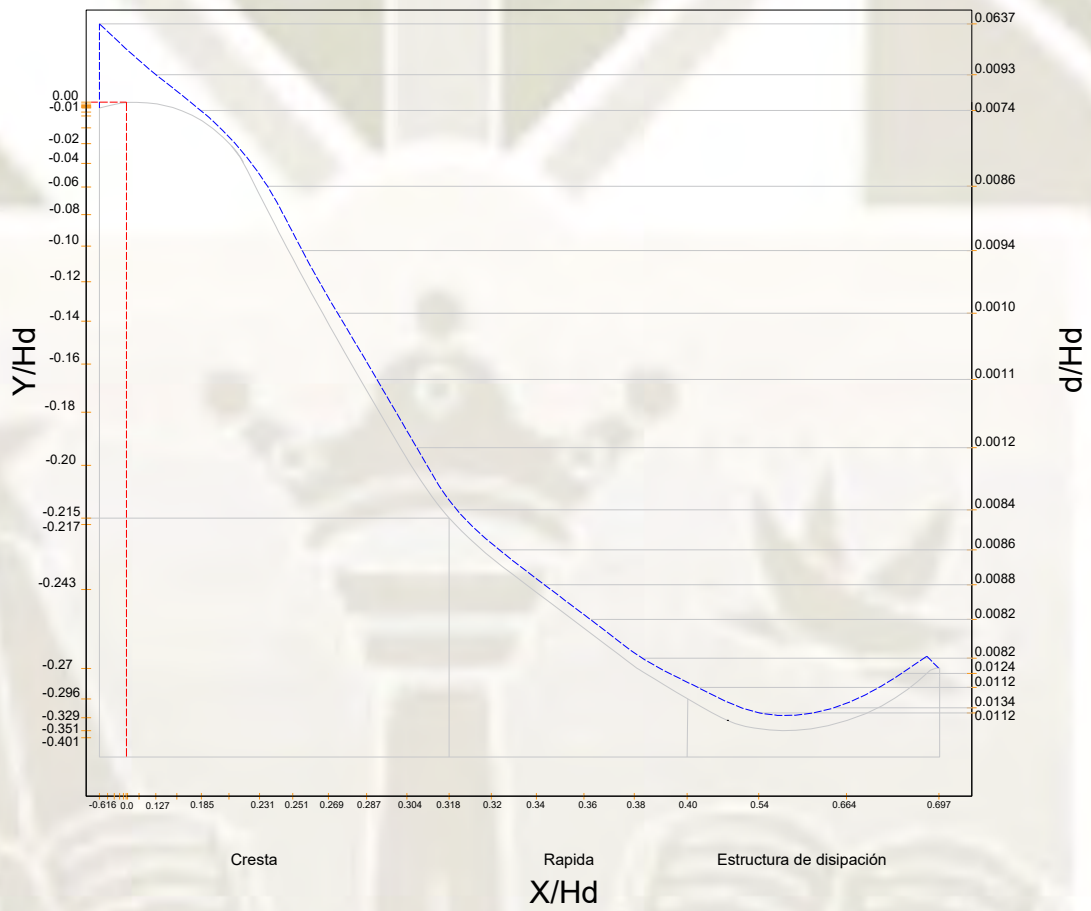
Tabla 76. calado/presiones en la estructura de disipación.

| N° | COORDENAS (1/25) | | CAUDAL (Q=20 l/s) | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | | | CALADO (do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| | | | X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) |
| CRESTA AGUAS ARRIRA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0637 | 0.0637 | 0.0637 | 8.0997 | 8.0997 | 8.0997 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0637 | 0.0637 | 0.0637 | 3.1901 | 3.1901 | 3.1901 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0635 | 0.0635 | 0.0635 | 2.2306 | 2.2306 | 2.2306 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0635 | 0.0635 | 0.0635 | 3.0438 | 3.0438 | 3.0438 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0639 | 0.0639 | 0.0639 | 2.9659 | 2.9659 | 2.9659 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0635 | 0.0635 | 0.0635 | 2.4377 | 2.4377 | 2.4377 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0635 | 0.0635 | 0.0635 | 0.3173 | 0.3173 | 0.3173 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0248 | 0.0248 | 0.0248 | 0.0722 | 0.0722 | 0.0722 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0212 | 0.0212 | 0.0212 | 0.1083 | 0.1083 | 0.1083 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0093 | 0.0093 | 0.0093 | 0.133 | 0.133 | 0.133 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0070 | 0.0070 | 0.0070 | 0.3135 | 0.3135 | 0.3135 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0074 | 0.0074 | 0.0074 | 0.3572 | 0.3572 | 0.3572 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0079 | 0.0079 | 0.0079 | -0.5643 | -0.5643 | -0.5643 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0086 | 0.0086 | 0.0086 | -1.3433 | -1.3433 | -1.3433 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0094 | 0.0094 | 0.0094 | -1.0906 | -1.0906 | -1.0906 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.4028 | 0.4028 | 0.4028 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0011 | 0.0011 | 0.0011 | 0.2356 | 0.2356 | 0.2356 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0012 | -0.7448 | -0.7448 | -0.7448 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0084 | 0.0082 | 0.0082 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0086 | 0.0083 | 0.0083 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0088 | 0.0084 | 0.0084 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0082 | 0.0076 | 0.0086 | 5.583 | 6.583 | 8.583 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0112 | 0.0108 | 0.0107 | 4.283 | 4.382 | 5.283 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0116 | 0.0107 | 0.0101 | 4.283 | 4.383 | 5.383 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0134 | 0.0127 | 0.0115 | 7.345 | 8.345 | 9.345 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0124 | 0.0116 | 0.0106 | 11.364 | 11.464 | 14.364 |

Fuente: Elaboración propia.

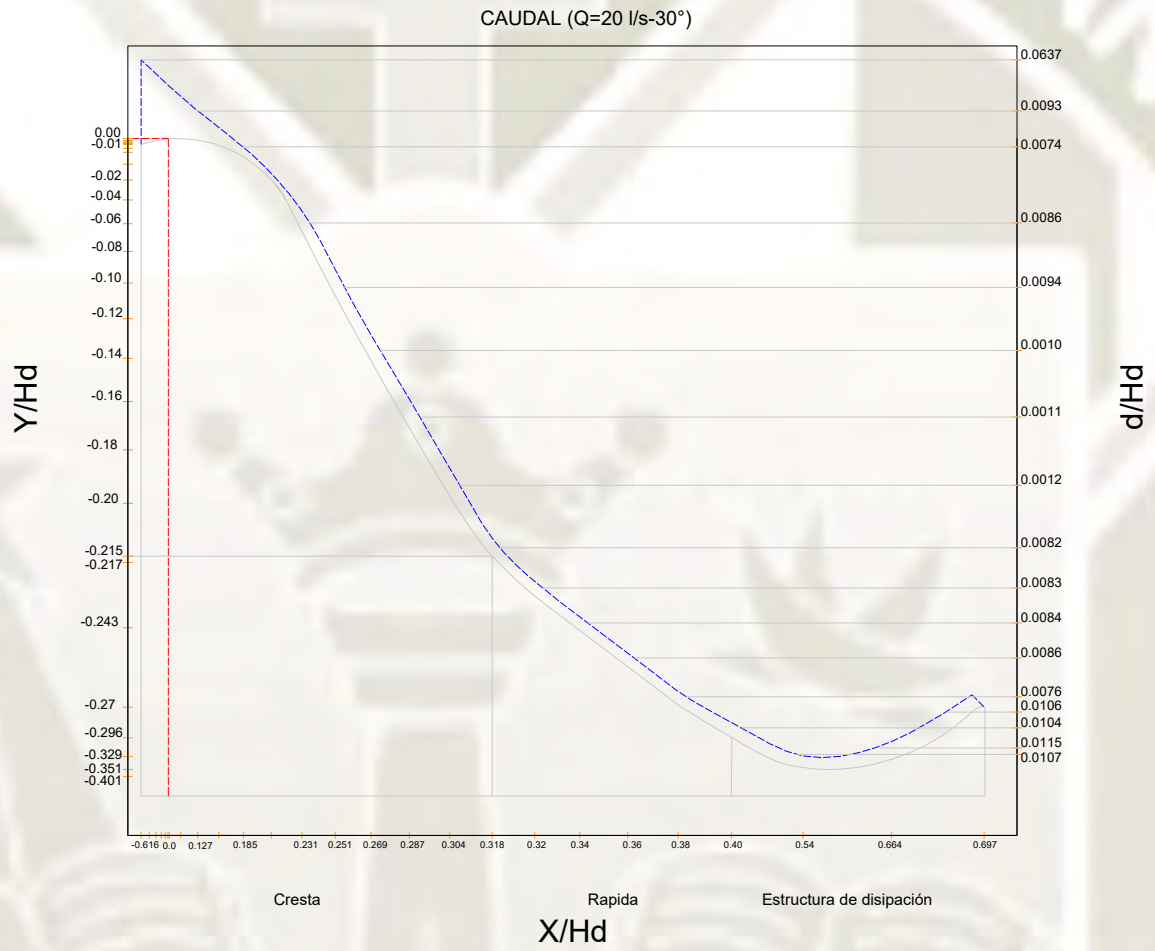
Grafico 66. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.324$ a 20 l/s

CAUDAL (Q=20 l/s-25°)



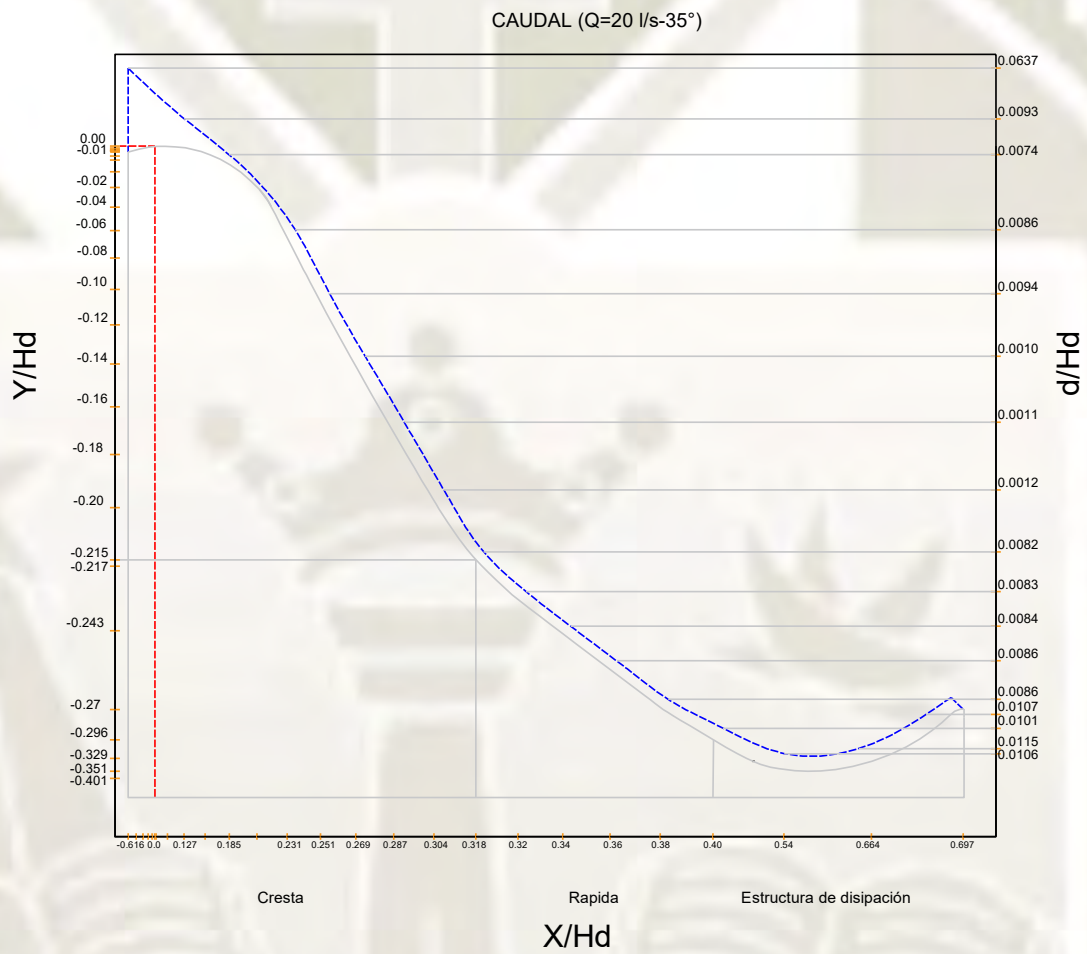
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 67. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.324$ a 20 l/s



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 68. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.324$ a 20 l/s



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| N° | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.02 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.038 m | | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.121 | 0.3247 | 0.1540 | 0.1163 | 6.783 | 0.4182 | 7.3173 | 50.0145 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1207 | 0.3261 | 0.1533 | 0.1153 | 6.816 | 0.1647 | 6.9315 | 47.1995 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1208 | 0.3272 | 0.1528 | 0.1145 | 6.840 | 0.1152 | 6.9542 | 47.3795 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1214 | 0.3284 | 0.1522 | 0.1137 | 6.859 | 0.1572 | 6.9726 | 47.5254 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1207 | 0.3288 | 0.1521 | 0.1135 | 6.873 | 0.1531 | 6.9865 | 47.6325 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1207 | 0.3292 | 0.1519 | 0.1132 | 6.882 | 0.1259 | 6.9956 | 47.7035 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0465 | 0.2955 | 0.1692 | 0.1405 | 6.886 | 0.0164 | 7.0265 | 47.7535 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0416 | 0.2841 | 0.1760 | 0.1520 | 6.690 | 0.0037 | 6.8418 | 46.2413 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0177 | 0.2640 | 0.1894 | 0.1759 | 6.494 | 0.0056 | 6.6695 | 44.6507 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0133 | 0.2529 | 0.1977 | 0.1918 | 6.297 | 0.0069 | 6.4892 | 42.9560 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0141 | 0.2441 | 0.2048 | 0.2058 | 6.101 | 0.0162 | 6.3070 | 41.1536 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0151 | 0.2354 | 0.2124 | 0.2213 | 5.905 | 0.0184 | 6.1263 | 39.2361 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0164 | 0.2269 | 0.2204 | 0.2383 | 5.709 | -0.0291 | 5.9471 | 37.1924 |
| | 8 | 0.4600 | 0.018 | 0.2184 | 0.2289 | 0.2570 | 5.513 | -0.0694 | 5.7696 | 35.0107 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0195 | 0.2100 | 0.2381 | 0.2781 | 5.316 | -0.0563 | 5.5945 | 32.6772 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0218 | 0.2019 | 0.2476 | 0.3008 | 5.120 | 0.0208 | 5.4210 | 30.1749 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0206 | 0.1922 | 0.2601 | 0.3319 | 4.924 | 0.0122 | 5.2559 | 27.4957 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.016 | 0.1828 | 0.2735 | 0.3668 | 4.768 | -0.0385 | 5.1346 | 25.2312 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0161 | 0.1821 | 0.2746 | 0.3697 | 4.751 | | 5.1211 | 24.9832 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0161 | 0.1702 | 0.2937 | 0.4231 | 4.496 | | 4.9194 | 20.9405 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0161 | 0.1580 | 0.3165 | 0.4913 | 4.233 | | 4.7247 | 16.3332 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0162 | 0.1449 | 0.3451 | 0.5843 | 3.951 | | 4.5351 | 10.8208 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0221 | 0.1339 | 0.3735 | 0.6844 | 3.657 | 0.4191 | 4.3409 | 14.3113 |
| CUCHARON | 18 | 0.1988 | 0.0227 | 0.1012 | 0.4939 | 1.1967 | 2.950 | 0.4191 | 4.1470 | 9.6789 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0259 | 0.1257 | 0.3977 | 0.7758 | 3.445 | 0.7871 | 4.2205 | 9.1143 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0238 | 0.1496 | 0.3342 | 0.5478 | 3.978 | 1.1638 | 4.5261 | 11.3231 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| N° | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.02 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.039 m | | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.113 | 0.3210 | 0.1557 | 0.1190 | 6.783 | 0.4182 | 7.3200 | 54.0261 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1127 | 0.3225 | 0.1551 | 0.1179 | 6.816 | 0.1647 | 7.0988 | 52.5794 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1128 | 0.3236 | 0.1545 | 0.1171 | 6.840 | 0.1152 | 7.0720 | 52.4016 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1134 | 0.3248 | 0.1540 | 0.1163 | 6.859 | 0.1572 | 7.1323 | 52.8147 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1127 | 0.3251 | 0.1538 | 0.1160 | 6.873 | 0.1531 | 7.1422 | 52.8820 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1128 | 0.3256 | 0.1536 | 0.1157 | 6.882 | 0.1259 | 7.1240 | 52.7619 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0434 | 0.2940 | 0.1700 | 0.1418 | 6.886 | 0.0164 | 7.0442 | 52.0607 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0389 | 0.2828 | 0.1768 | 0.1533 | 6.690 | 0.0037 | 6.8468 | 50.5837 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0165 | 0.2635 | 0.1898 | 0.1767 | 6.494 | 0.0056 | 6.6759 | 49.1371 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0125 | 0.2525 | 0.1980 | 0.1923 | 6.297 | 0.0069 | 6.4966 | 47.5917 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0132 | 0.2437 | 0.2052 | 0.2065 | 6.101 | 0.0162 | 6.3239 | 46.0194 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0141 | 0.2349 | 0.2128 | 0.2222 | 5.905 | 0.0184 | 6.1456 | 44.2863 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0154 | 0.2264 | 0.2209 | 0.2392 | 5.709 | -0.0291 | 5.9189 | 41.9395 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0168 | 0.2179 | 0.2295 | 0.2583 | 5.513 | -0.0694 | 5.7015 | 39.4712 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0182 | 0.2094 | 0.2388 | 0.2797 | 5.316 | -0.0563 | 5.5398 | 37.4235 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0203 | 0.2012 | 0.2485 | 0.3029 | 5.120 | 0.0208 | 5.4439 | 36.0361 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0193 | 0.1916 | 0.2609 | 0.3340 | 4.924 | 0.0122 | 5.2701 | 33.4769 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0149 | 0.1823 | 0.2742 | 0.3688 | 4.768 | -0.0385 | 5.0982 | 30.6800 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0135 | 0.1809 | 0.2764 | 0.3746 | 4.751 | | 5.1260 | 31.0081 |
| | 14 | 0.3564 | 0.1351 | 0.2246 | 0.2226 | 0.2431 | 4.496 | | 4.7393 | 26.9174 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0135 | 0.1568 | 0.3189 | 0.4988 | 4.233 | | 4.7322 | 23.0562 |
| CUCHARON | 16 | 0.3008 | 0.0136 | 0.1437 | 0.3480 | 0.5940 | 3.951 | | 4.5448 | 17.9896 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0185 | 0.1322 | 0.3782 | 0.7015 | 3.657 | 0.4457 | 4.8038 | 21.3055 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0191 | 0.0996 | 0.5021 | 1.2366 | 2.950 | 0.4485 | 4.6353 | 7.9873 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0217 | 0.1238 | 0.4039 | 0.8001 | 3.445 | 0.9440 | 5.1887 | 26.6009 |
| | 20 | 0.3036 | 0.02 | 0.1479 | 0.3381 | 0.5607 | 3.978 | 1.2129 | 5.7519 | 37.1703 |

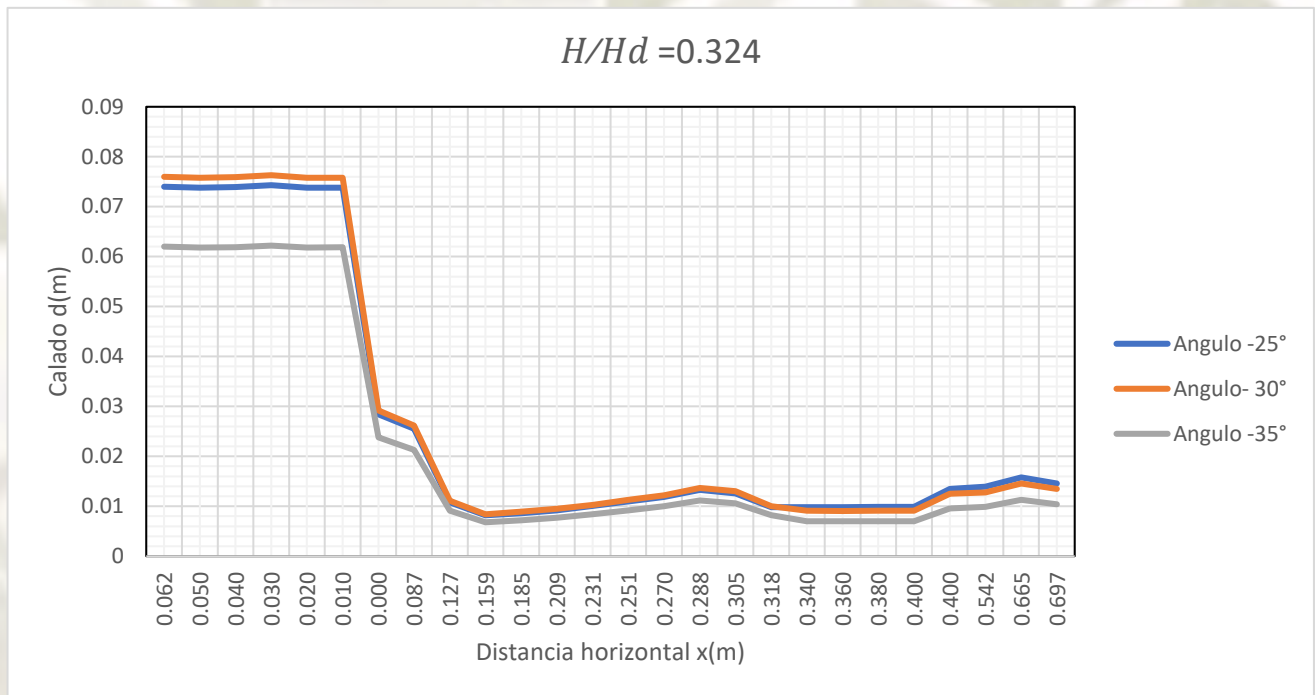
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°

| Nº | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.02 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.039 m | | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ o) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.106 | 0.3178 | 0.1573 | 0.1214 | 6.783 | 0.4182 | 7.3224 | 65.7753 |
| | 6 | 0.5929 | 0.1057 | 0.3193 | 0.1566 | 0.1203 | 6.816 | 0.1647 | 7.1012 | 64.7178 |
| | 5 | 0.5953 | 0.1058 | 0.3204 | 0.1561 | 0.1195 | 6.840 | 0.1152 | 7.0743 | 64.5818 |
| | 4 | 0.5972 | 0.1064 | 0.3216 | 0.1555 | 0.1186 | 6.859 | 0.1572 | 7.1347 | 64.8750 |
| | 3 | 0.5987 | 0.1057 | 0.3219 | 0.1553 | 0.1183 | 6.873 | 0.1531 | 7.1445 | 64.9209 |
| | 2 | 0.5996 | 0.1058 | 0.3224 | 0.1551 | 0.1180 | 6.882 | 0.1259 | 7.1263 | 64.8308 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0407 | 0.2928 | 0.1708 | 0.1430 | 6.886 | 0.0164 | 7.0454 | 64.4353 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0365 | 0.2817 | 0.1775 | 0.1545 | 6.690 | 0.0037 | 6.8480 | 63.4561 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0155 | 0.2630 | 0.1901 | 0.1773 | 6.494 | 0.0056 | 6.6765 | 62.5650 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0117 | 0.2521 | 0.1983 | 0.1929 | 6.297 | 0.0069 | 6.4972 | 61.5919 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0123 | 0.2433 | 0.2055 | 0.2072 | 6.101 | 0.0162 | 6.3246 | 60.6141 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0132 | 0.2345 | 0.2132 | 0.2229 | 5.905 | 0.0184 | 6.1464 | 59.5561 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0144 | 0.2259 | 0.2213 | 0.2402 | 5.709 | -0.0291 | 5.9199 | 58.1171 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0158 | 0.2174 | 0.2299 | 0.2594 | 5.513 | -0.0694 | 5.7026 | 56.6516 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0171 | 0.2089 | 0.2394 | 0.2810 | 5.316 | -0.0563 | 5.5411 | 55.5317 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0191 | 0.2007 | 0.2492 | 0.3045 | 5.120 | 0.0208 | 5.4455 | 54.9044 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0181 | 0.1911 | 0.2617 | 0.3359 | 4.924 | 0.0122 | 5.2720 | 53.6279 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.014 | 0.1819 | 0.2748 | 0.3705 | 4.768 | -0.0385 | 5.0999 | 52.2705 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0119 | 0.1802 | 0.2775 | 0.3777 | 4.751 | | 5.1290 | 52.5444 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0119 | 0.1683 | 0.2971 | 0.4329 | 4.496 | | 4.9291 | 51.0161 |
| | 15 | 0.3296 | 0.012 | 0.1561 | 0.3203 | 0.5032 | 4.233 | | 4.7365 | 49.5582 |
| | 16 | 0.3008 | 0.012 | 0.1429 | 0.3498 | 0.6001 | 3.951 | | 4.5509 | 48.2576 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0164 | 0.1313 | 0.3810 | 0.7118 | 3.657 | 0.6251 | 4.9935 | 53.2712 |
| CUCHARON | 18 | 0.1988 | 0.0169 | 0.0986 | 0.5072 | 1.2620 | 2.950 | 0.6153 | 4.8275 | 54.9981 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0193 | 0.1227 | 0.4075 | 0.8144 | 3.445 | 1.0617 | 5.3208 | 56.5286 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0177 | 0.1468 | 0.3405 | 0.5688 | 3.978 | 1.6150 | 6.1621 | 61.0182 |

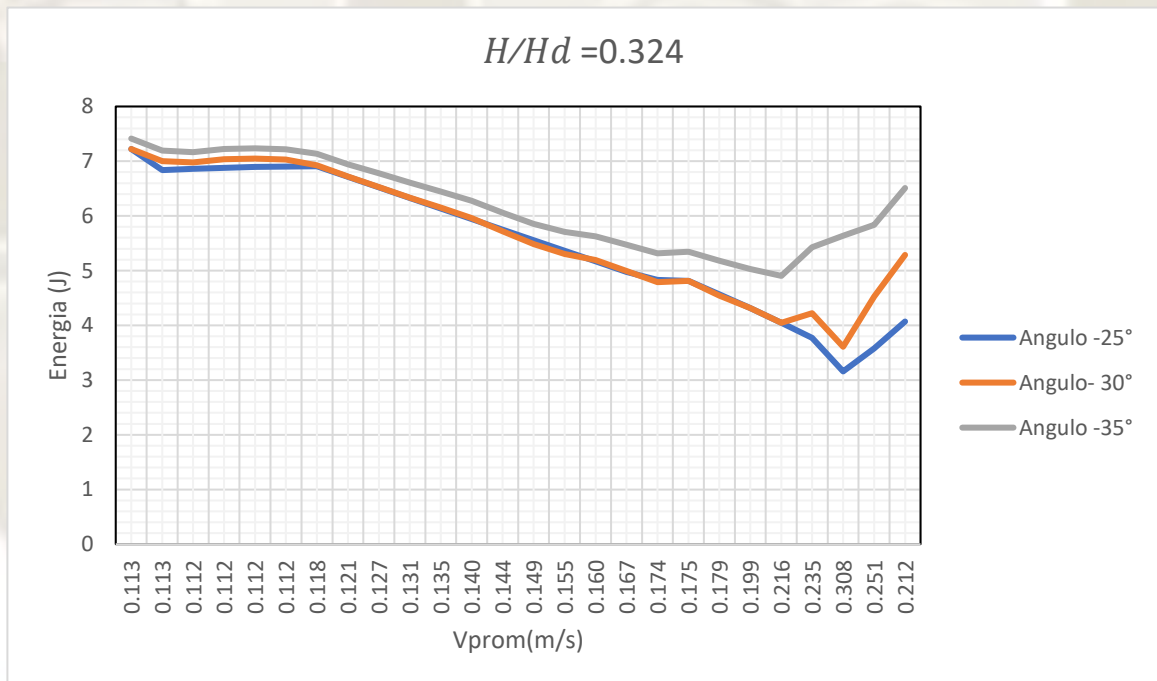
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 69. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_d = 0.324$ a 20 l/s.



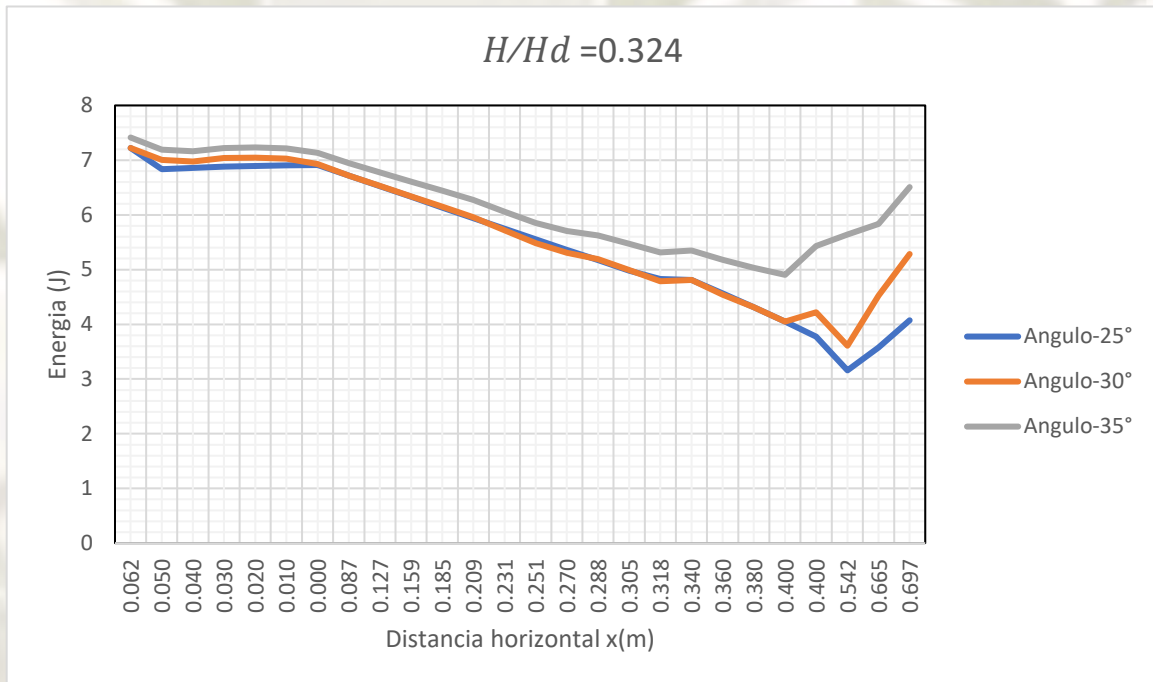
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 70. Variación de la energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



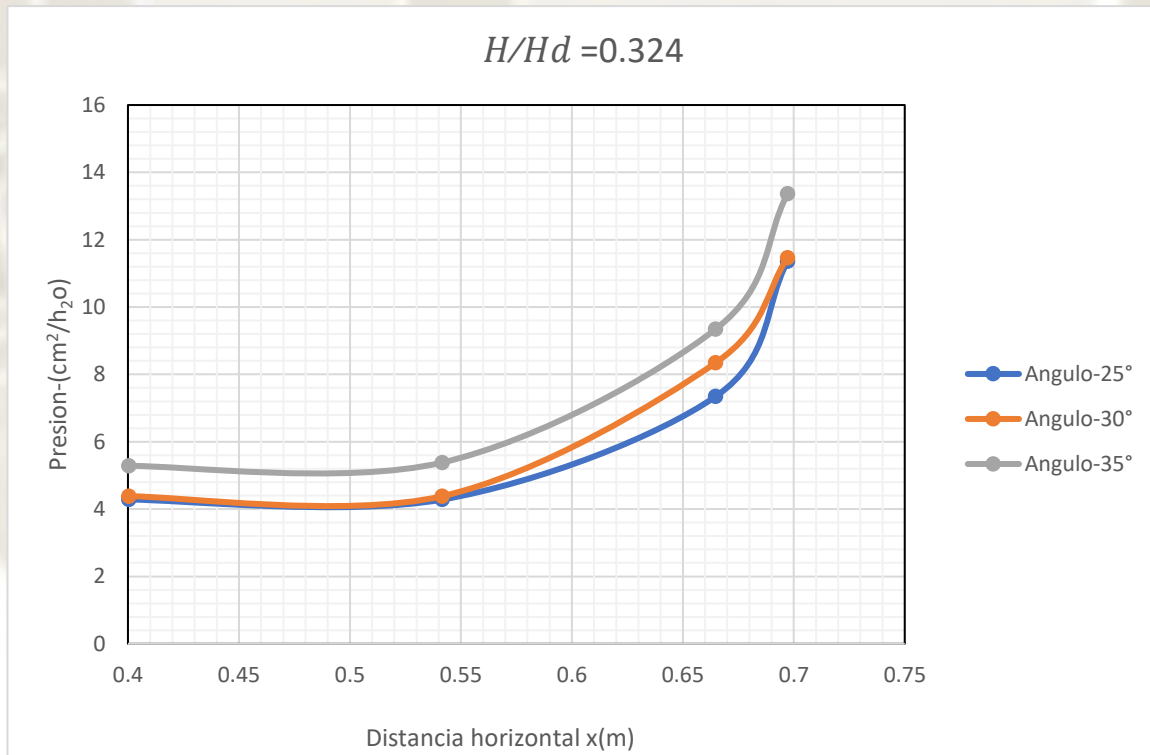
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 71. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 72. Variación de presiones a lo largo la cubeta deflectora.



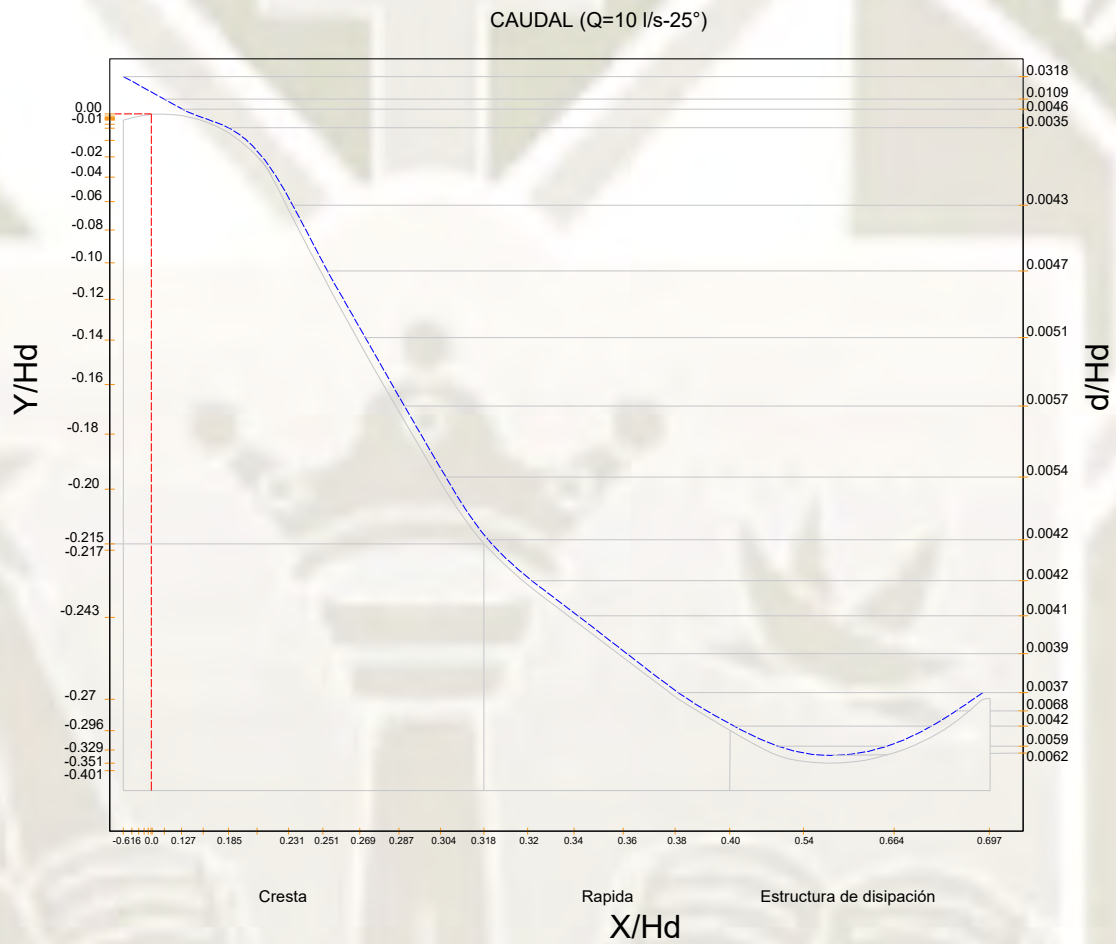
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80. calado/presiones en la estructura de disipación.

| Nº | CAUDAL (Q=10 l/s) | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| | COORDENAS (1/25) | | CALADO(do) | | | PRESION | | | |
| | | | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | $\Phi_c=25^\circ$ | $\Phi_c=30^\circ$ | $\Phi_c=35^\circ$ | |
| | X/H_d | Y/H_d | d/H_d | d/H_d | d/H_d | (cm-h2o) | (cm-h2o) | (cm-h2o) | |
| CRESTA AGUAS ARRIRA | 7 | 0.0616 | 0.0105 | 0.0318 | 0.0318 | 0.0318 | 4.263 | 4.263 | 4.263 |
| | 6 | 0.0500 | 0.0071 | 0.0317 | 0.0317 | 0.0317 | 1.679 | 1.679 | 1.679 |
| | 5 | 0.0400 | 0.0047 | 0.0317 | 0.0317 | 0.0317 | 1.174 | 1.174 | 1.174 |
| | 4 | 0.0300 | 0.0028 | 0.0319 | 0.0319 | 0.0319 | 1.602 | 1.602 | 1.602 |
| | 3 | 0.0200 | 0.0013 | 0.0317 | 0.0317 | 0.0317 | 1.561 | 1.561 | 1.561 |
| | 2 | 0.0100 | 0.0004 | 0.0317 | 0.0317 | 0.0317 | 1.283 | 1.283 | 1.283 |
| | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0122 | 0.0122 | 0.0122 | 0.167 | 0.167 | 0.167 |
| CRESTA AGUAS ABAJOç7* | 2 | 0.0873 | 0.0200 | 0.0109 | 0.0109 | 0.0109 | 0.038 | 0.038 | 0.038 |
| | 3 | 0.1272 | 0.0400 | 0.0046 | 0.0046 | 0.0046 | 0.057 | 0.057 | 0.057 |
| | 4 | 0.1585 | 0.0600 | 0.0035 | 0.0035 | 0.0035 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| | 5 | 0.1853 | 0.0800 | 0.0037 | 0.0037 | 0.0037 | 0.165 | 0.165 | 0.165 |
| | 6 | 0.2091 | 0.1000 | 0.0039 | 0.0039 | 0.0039 | 0.188 | 0.188 | 0.188 |
| | 7 | 0.2308 | 0.1200 | 0.0043 | 0.0043 | 0.0043 | -0.297 | -0.297 | -0.297 |
| | 8 | 0.2510 | 0.1400 | 0.0047 | 0.0047 | 0.0047 | -0.707 | -0.707 | -0.707 |
| | 9 | 0.2699 | 0.1600 | 0.0051 | 0.0051 | 0.0051 | -0.574 | -0.574 | -0.574 |
| | 10 | 0.2877 | 0.1800 | 0.0057 | 0.0057 | 0.0057 | 0.212 | 0.212 | 0.212 |
| | 11 | 0.3046 | 0.2000 | 0.0054 | 0.0054 | 0.0054 | 0.124 | 0.124 | 0.124 |
| | 12 | 0.3184 | 0.2152 | 0.0042 | 0.0042 | 0.0042 | -0.392 | -0.392 | -0.392 |
| | RAPIDA | 13 | 0.3200 | 0.2176 | 0.0042 | 0.0042 | 0.0042 | - | - |
| 14 | | 0.3400 | 0.2436 | 0.0043 | 0.0043 | 0.0043 | - | - | - |
| 15 | | 0.3600 | 0.2704 | 0.0044 | 0.0044 | 0.0044 | - | - | - |
| 16 | | 0.3800 | 0.2992 | 0.0042 | 0.0042 | 0.0042 | 7.272 | 8.272 | 10.272 |
| ESTRUCTURA DE DISIPACION | 17 | 0.4004 | 0.3292 | 0.0058 | 0.0058 | 0.0058 | 4.272 | 4.543 | 6.372 |
| | 18 | 0.5416 | 0.4012 | 0.0059 | 0.0059 | 0.0059 | 4.272 | 4.572 | 6.272 |
| | 19 | 0.6648 | 0.3508 | 0.0068 | 0.0068 | 0.0068 | 8.023 | 9.623 | 10.823 |
| | 20 | 0.6972 | 0.2964 | 0.0062 | 0.0062 | 0.0062 | 11.863 | 12.364 | 16.463 |

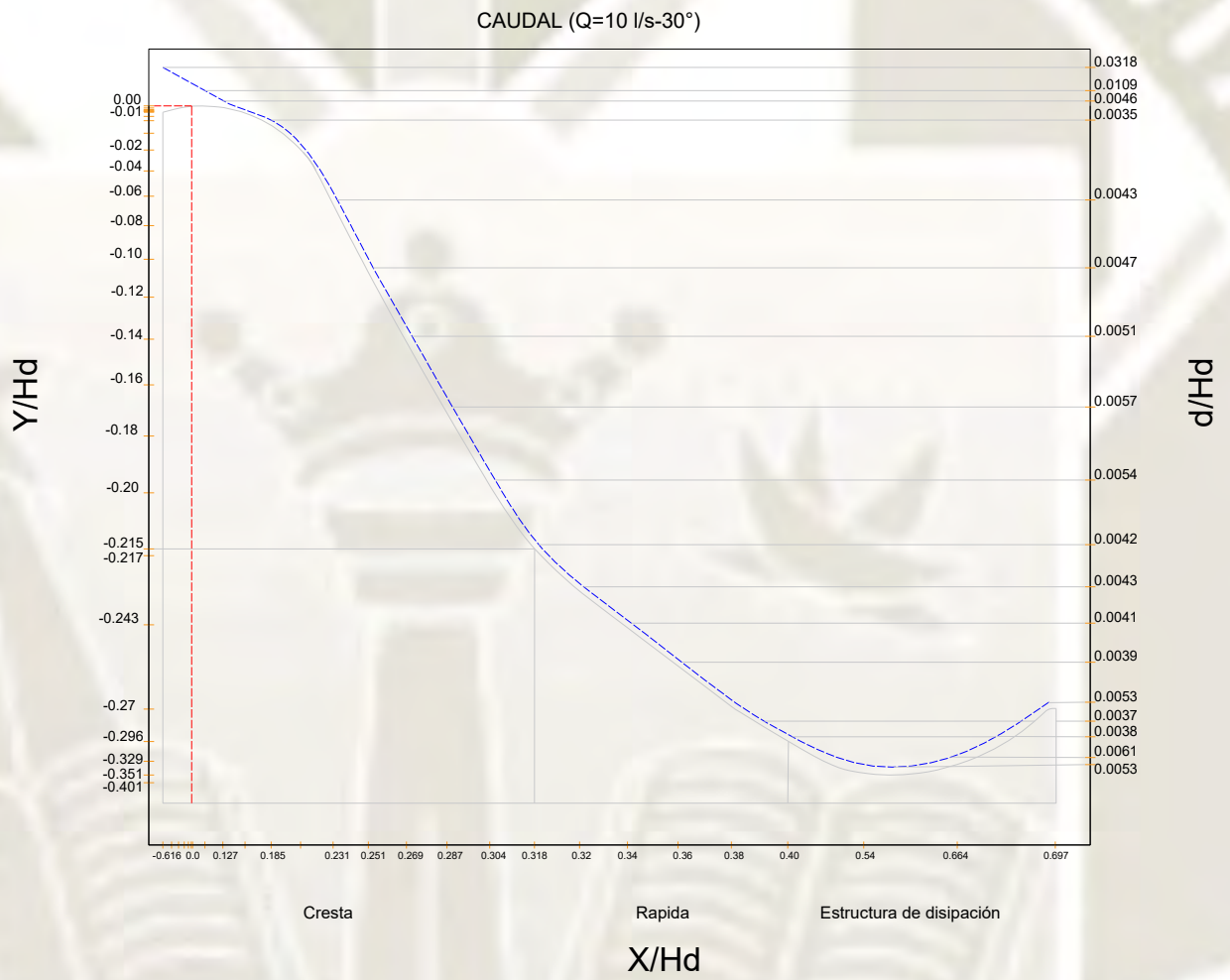
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 73. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.237$ a 10 l/s



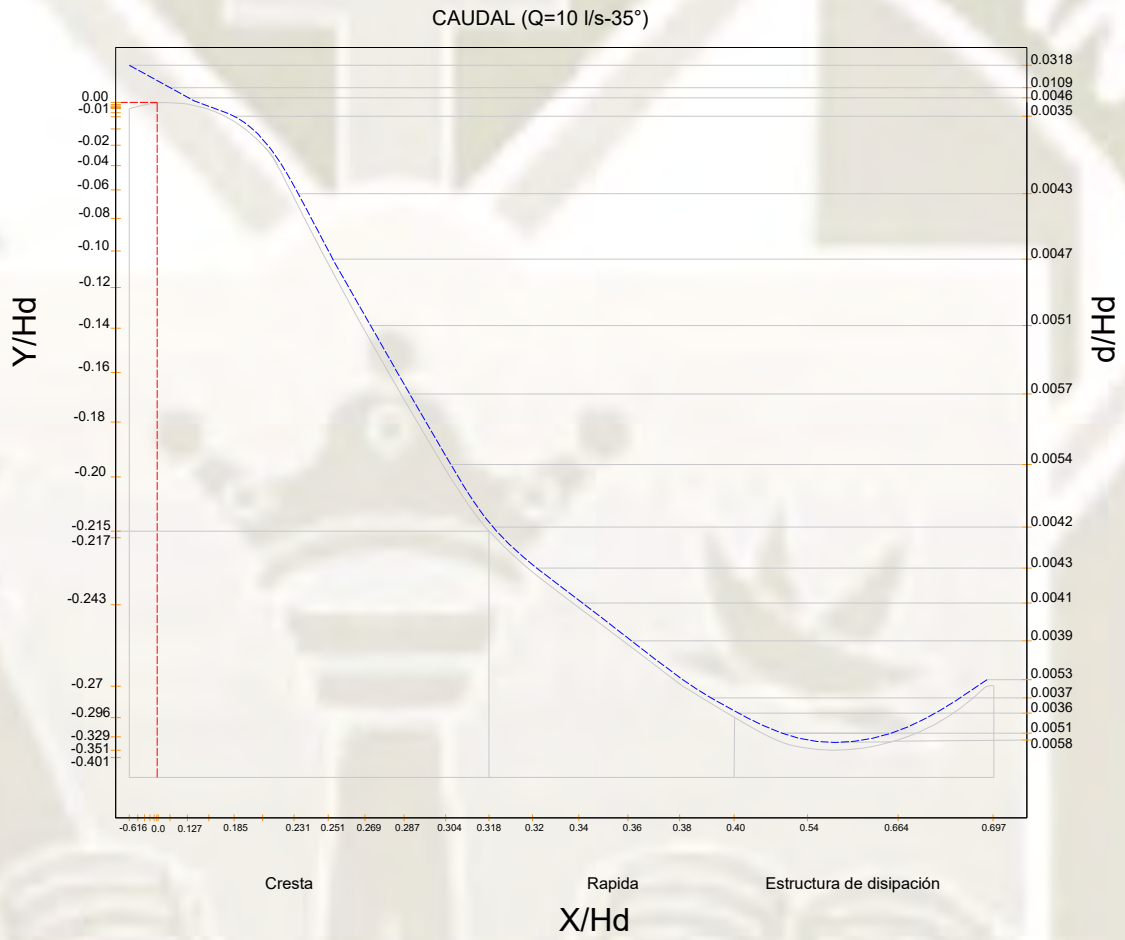
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 74. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.237$ a 10 l/s



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 75. Sección del canal para una relación $H/H_d = 0.237$ a 10 l/s



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 25°

| Nº | DISIPADOR DE ENERGIA 25° | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.01 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | |
| Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0157 m | | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.06 | 0.2968 | 0.0337 | 0.0056 | 6.783 | 0.4182 | 7.2066 | 62.8954 |
| | 6 | 0.5929 | 0.0598 | 0.2983 | 0.0335 | 0.0055 | 6.816 | 0.1647 | 6.8217 | 60.8018 |
| | 5 | 0.5953 | 0.0599 | 0.2994 | 0.0334 | 0.0055 | 6.840 | 0.1152 | 6.8452 | 60.9364 |
| | 4 | 0.5972 | 0.0602 | 0.3005 | 0.0333 | 0.0054 | 6.859 | 0.1572 | 6.8644 | 61.0456 |
| | 3 | 0.5987 | 0.0598 | 0.3009 | 0.0332 | 0.0054 | 6.873 | 0.1531 | 6.8785 | 61.1255 |
| | 2 | 0.5996 | 0.0599 | 0.3014 | 0.0332 | 0.0054 | 6.882 | 0.1259 | 6.8879 | 61.1786 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0231 | 0.2848 | 0.0351 | 0.0060 | 6.886 | 0.0164 | 6.8920 | 61.2021 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0206 | 0.2745 | 0.0364 | 0.0065 | 6.690 | 0.0037 | 6.6963 | 60.0680 |
| | 3 | 0.5600 | 0.0088 | 0.2599 | 0.0385 | 0.0073 | 6.494 | 0.0056 | 6.5009 | 58.8674 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0066 | 0.2498 | 0.0400 | 0.0079 | 6.297 | 0.0069 | 6.3053 | 57.5915 |
| | 5 | 0.5200 | 0.007 | 0.2408 | 0.0415 | 0.0085 | 6.101 | 0.0162 | 6.1097 | 56.2337 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0075 | 0.2319 | 0.0431 | 0.0091 | 5.905 | 0.0184 | 5.9141 | 54.7867 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0082 | 0.2231 | 0.0448 | 0.0099 | 5.709 | -0.0291 | 5.7187 | 53.2413 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0089 | 0.2143 | 0.0467 | 0.0107 | 5.513 | -0.0694 | 5.5233 | 51.5873 |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0097 | 0.2055 | 0.0487 | 0.0116 | 5.316 | -0.0563 | 5.3280 | 49.8130 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0108 | 0.1969 | 0.0508 | 0.0127 | 5.120 | 0.0208 | 5.1329 | 47.9048 |
| | 11 | 0.4000 | 0.0102 | 0.1875 | 0.0533 | 0.0140 | 4.924 | 0.0122 | 4.9380 | 45.8487 |
| | 12 | 0.3841 | 0.0079 | 0.1791 | 0.0558 | 0.0153 | 4.768 | -0.0385 | 4.7831 | 44.0956 |
| | 13 | 0.3824 | 0.008 | 0.1784 | 0.0560 | 0.0154 | 4.751 | | 4.7668 | 43.9038 |
| | 14 | 0.3564 | 0.008 | 0.1665 | 0.0600 | 0.0177 | 4.496 | | 4.5140 | 40.7624 |
| | 15 | 0.3296 | 0.008 | 0.1543 | 0.0648 | 0.0206 | 4.233 | | 4.2540 | 37.1420 |
| CUCHAR ON | 16 | 0.3008 | 0.008 | 0.1411 | 0.0709 | 0.0246 | 3.951 | | 3.9755 | 32.7384 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0109 | 0.1287 | 0.0777 | 0.0296 | 3.657 | 0.4191 | 3.6861 | 27.4589 |
| | 18 | 0.1988 | 0.0113 | 0.0960 | 0.1041 | 0.0532 | 2.950 | 0.4191 | 3.0034 | 10.9696 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0128 | 0.1197 | 0.0835 | 0.0342 | 3.445 | 0.7871 | 3.4789 | 23.1368 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0118 | 0.1441 | 0.0694 | 0.0236 | 3.978 | 1.1638 | 4.0019 | 33.1829 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 30°

| N° | DATOS: | | DISIPADOR DE ENERGIA 30° | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------|
| | Caudal: | 0.01 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : | | 0.4457 | | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0154 m | Z ₁ | d | A | V ₁ | E _{pr} | E _c | E _p | E _{T1} | ΔE % |
| | (m) | (m) | (m ²) | (m/s) | (m/h ₂ O) | (v ² /2g) | (mgh) | | | | | | |
| CRESTA AGUAS ARRIBA | 7 | 0.5895 | 0.054 | 0.2941 | 0.0340 | 0.0057 | 6.783 | 0.4182 | 7.2067 | 56.0593 | | | |
| | 6 | 0.5929 | 0.0539 | 0.2956 | 0.0338 | 0.0056 | 6.816 | 0.1647 | 6.9865 | 54.6744 | | | |
| | 5 | 0.5953 | 0.0539 | 0.2967 | 0.0337 | 0.0056 | 6.840 | 0.1152 | 6.9604 | 54.5048 | | | |
| | 4 | 0.5972 | 0.0542 | 0.2977 | 0.0336 | 0.0055 | 6.859 | 0.1572 | 7.0216 | 54.9012 | | | |
| | 3 | 0.5987 | 0.0538 | 0.2982 | 0.0335 | 0.0055 | 6.873 | 0.1531 | 7.0317 | 54.9659 | | | |
| | 2 | 0.5996 | 0.0539 | 0.2987 | 0.0335 | 0.0055 | 6.882 | 0.1259 | 7.0138 | 54.8511 | | | |
| | 1 | 0.6000 | 0.0208 | 0.2837 | 0.0352 | 0.0061 | 6.886 | 0.0164 | 6.9085 | 54.1626 | | | |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0186 | 0.2736 | 0.0366 | 0.0066 | 6.690 | 0.0037 | 6.7001 | 52.7369 | | | |
| | 3 | 0.5600 | 0.0079 | 0.2595 | 0.0385 | 0.0073 | 6.494 | 0.0056 | 6.5065 | 51.3306 | | | |
| | 4 | 0.5400 | 0.006 | 0.2495 | 0.0401 | 0.0079 | 6.297 | 0.0069 | 6.3121 | 49.8322 | | | |
| | 5 | 0.5200 | 0.0063 | 0.2405 | 0.0416 | 0.0085 | 6.101 | 0.0162 | 6.1259 | 48.3067 | | | |
| | 6 | 0.5000 | 0.0067 | 0.2316 | 0.0432 | 0.0091 | 5.905 | 0.0184 | 5.9326 | 46.6226 | | | |
| | 7 | 0.4800 | 0.0073 | 0.2227 | 0.0449 | 0.0099 | 5.709 | -0.0291 | 5.6896 | 44.3425 | | | |
| | 8 | 0.4600 | 0.008 | 0.2139 | 0.0468 | 0.0107 | 5.513 | -0.0694 | 5.4540 | 41.9383 | | | |
| RAPIDA | 9 | 0.4400 | 0.0087 | 0.2051 | 0.0488 | 0.0117 | 5.316 | -0.0563 | 5.2718 | 39.9315 | | | |
| | 10 | 0.4200 | 0.0097 | 0.1964 | 0.0509 | 0.0127 | 5.120 | 0.0208 | 5.1537 | 38.5557 | | | |
| | 11 | 0.4000 | 0.0092 | 0.1870 | 0.0535 | 0.0140 | 4.924 | 0.0122 | 4.9502 | 36.0294 | | | |
| | 12 | 0.3841 | 0.0071 | 0.1788 | 0.0559 | 0.0153 | 4.768 | -0.0385 | 4.7447 | 33.2592 | | | |
| | 13 | 0.3824 | 0.0064 | 0.1777 | 0.0563 | 0.0155 | 4.751 | | 4.7669 | 33.5695 | | | |
| | 14 | 0.3564 | 0.0645 | 0.1924 | 0.0520 | 0.0133 | 4.496 | | 4.5095 | 29.7786 | | | |
| | 15 | 0.3296 | 0.0065 | 0.1536 | 0.0651 | 0.0208 | 4.233 | | 4.2542 | 25.5632 | | | |
| CUCHARON | 16 | 0.3008 | 0.0065 | 0.1404 | 0.0712 | 0.0249 | 3.951 | | 3.9757 | 20.3499 | | | |
| | 17 | 0.2708 | 0.0089 | 0.1278 | 0.0782 | 0.0300 | 3.657 | 0.4457 | 4.1322 | 23.3668 | | | |
| | 18 | 0.1988 | 0.0091 | 0.0950 | 0.1053 | 0.0543 | 2.950 | 0.4485 | 3.4531 | 8.2945 | | | |
| | 19 | 0.2492 | 0.0104 | 0.1186 | 0.0843 | 0.0348 | 3.445 | 0.9440 | 4.4235 | 28.4130 | | | |
| | 20 | 0.3036 | 0.0096 | 0.1431 | 0.0699 | 0.0239 | 3.978 | 1.2129 | 5.2152 | 39.2797 | | | |

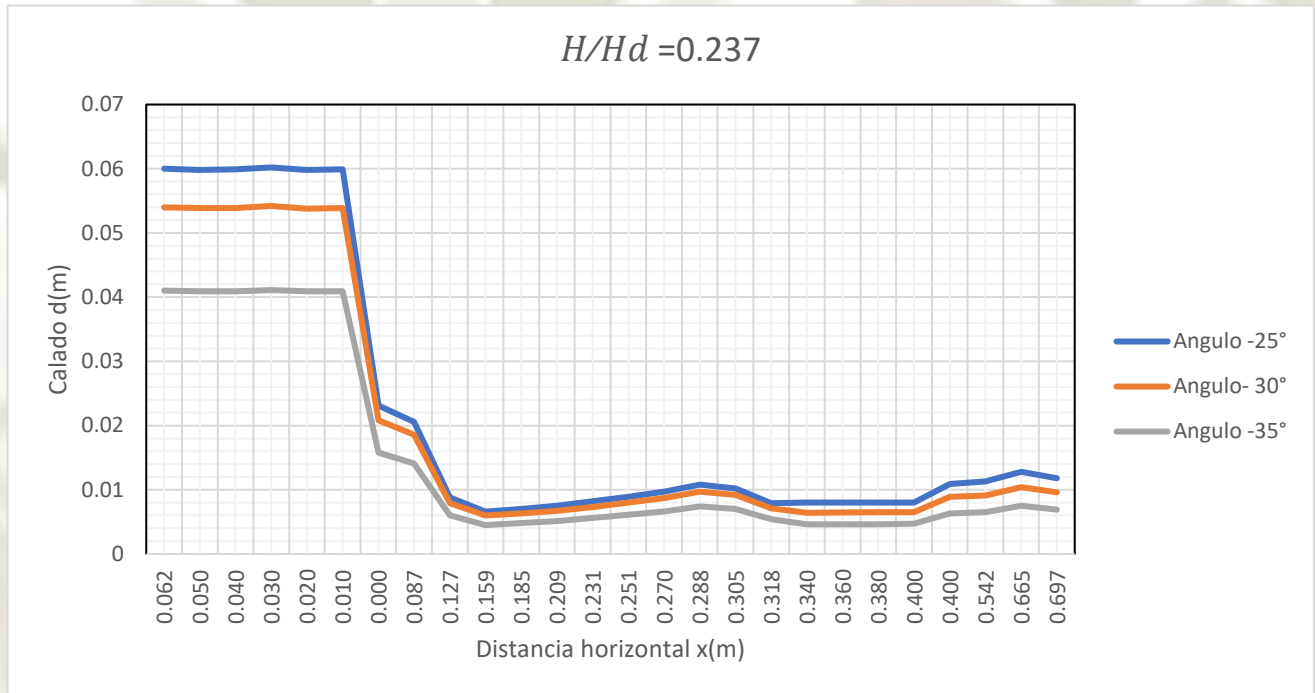
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83. Variación de la disipación de la energía en cucharón de 35°.

| Nº | DISIPADOR DE ENERGIA 35° | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|-----------------|--------|---------|
| | DATOS: | | | | | | | | | |
| | Caudal: | 0.01 m ³ /s | Gravedad | 9.81 m ² /s | E _{T2} : 0.4457 | | | | | |
| | Ancho: | 0.457m | Z ₂ | 0.0180 m | | | | | | |
| | Z ₁ (m) | d (m) | A (m ²) | V ₁ (m/s) | E _{pr} (m/h ₂ O) | E _c (v ² /2g) | E _p (mgh) | E _{T1} | ΔE % | |
| CRESTA AGUAS ARRIIBA | 7 | 0.5895 | 0.041 | 0.2881 | 0.0347 | 0.0059 | 6.783 | 0.4182 | 7.2069 | 60.8072 |
| | 6 | 0.5929 | 0.0409 | 0.2896 | 0.0345 | 0.0058 | 6.816 | 0.1647 | 6.9867 | 59.5720 |
| | 5 | 0.5953 | 0.0409 | 0.2907 | 0.0344 | 0.0058 | 6.840 | 0.1152 | 6.9607 | 59.4208 |
| | 4 | 0.5972 | 0.0411 | 0.2917 | 0.0343 | 0.0058 | 6.859 | 0.1572 | 7.0218 | 59.7743 |
| | 3 | 0.5987 | 0.0409 | 0.2923 | 0.0342 | 0.0057 | 6.873 | 0.1531 | 7.0319 | 59.8320 |
| | 2 | 0.5996 | 0.0409 | 0.2927 | 0.0342 | 0.0057 | 6.882 | 0.1259 | 7.0141 | 59.7296 |
| | 1 | 0.6000 | 0.0158 | 0.2814 | 0.0355 | 0.0062 | 6.886 | 0.0164 | 6.9086 | 59.1148 |
| CRESTA AGUAS ABAJO | 2 | 0.5800 | 0.0141 | 0.2715 | 0.0368 | 0.0067 | 6.690 | 0.0037 | 6.7002 | 57.8431 |
| | 3 | 0.5600 | 0.006 | 0.2587 | 0.0387 | 0.0073 | 6.494 | 0.0056 | 6.5065 | 56.5884 |
| | 4 | 0.5400 | 0.0045 | 0.2488 | 0.0402 | 0.0079 | 6.297 | 0.0069 | 6.3122 | 55.2519 |
| | 5 | 0.5200 | 0.0048 | 0.2398 | 0.0417 | 0.0085 | 6.101 | 0.0162 | 6.1259 | 53.8912 |
| | 6 | 0.5000 | 0.0051 | 0.2308 | 0.0433 | 0.0092 | 5.905 | 0.0184 | 5.9326 | 52.3891 |
| | 7 | 0.4800 | 0.0056 | 0.2219 | 0.0451 | 0.0100 | 5.709 | -0.0291 | 5.6896 | 50.3555 |
| | 8 | 0.4600 | 0.0061 | 0.2130 | 0.0469 | 0.0108 | 5.513 | -0.0694 | 5.4541 | 48.2112 |
| | 9 | 0.4400 | 0.0066 | 0.2041 | 0.0490 | 0.0118 | 5.316 | -0.0563 | 5.2719 | 46.4215 |
| | 10 | 0.4200 | 0.0074 | 0.1953 | 0.0512 | 0.0129 | 5.120 | 0.0208 | 5.1539 | 45.1947 |
| | 11 | 0.4000 | 0.007 | 0.1860 | 0.0538 | 0.0142 | 4.924 | 0.0122 | 4.9503 | 42.9416 |
| RAPIDA | 12 | 0.3841 | 0.0054 | 0.1780 | 0.0562 | 0.0155 | 4.768 | -0.0385 | 4.7449 | 40.4705 |
| | 13 | 0.3824 | 0.0046 | 0.1769 | 0.0565 | 0.0157 | 4.751 | | 4.7670 | 40.7474 |
| | 14 | 0.3564 | 0.0046 | 0.1650 | 0.0606 | 0.0180 | 4.496 | | 4.5143 | 37.4303 |
| | 15 | 0.3296 | 0.0046 | 0.1527 | 0.0655 | 0.0210 | 4.233 | | 4.2544 | 33.6079 |
| | 16 | 0.3008 | 0.0047 | 0.1396 | 0.0716 | 0.0252 | 3.951 | | 3.9760 | 28.9593 |
| | 17 | 0.2708 | 0.0063 | 0.1266 | 0.0790 | 0.0306 | 3.657 | 0.6251 | 4.3122 | 34.4982 |
| CUCHAR ON | 18 | 0.1988 | 0.0065 | 0.0938 | 0.1066 | 0.0557 | 2.950 | 0.6153 | 3.6212 | 21.9993 |
| | 19 | 0.2492 | 0.0075 | 0.1173 | 0.0852 | 0.0356 | 3.445 | 1.0617 | 4.5420 | 37.8122 |
| | 20 | 0.3036 | 0.0069 | 0.1419 | 0.0705 | 0.0244 | 3.978 | 1.6150 | 5.6177 | 49.7198 |

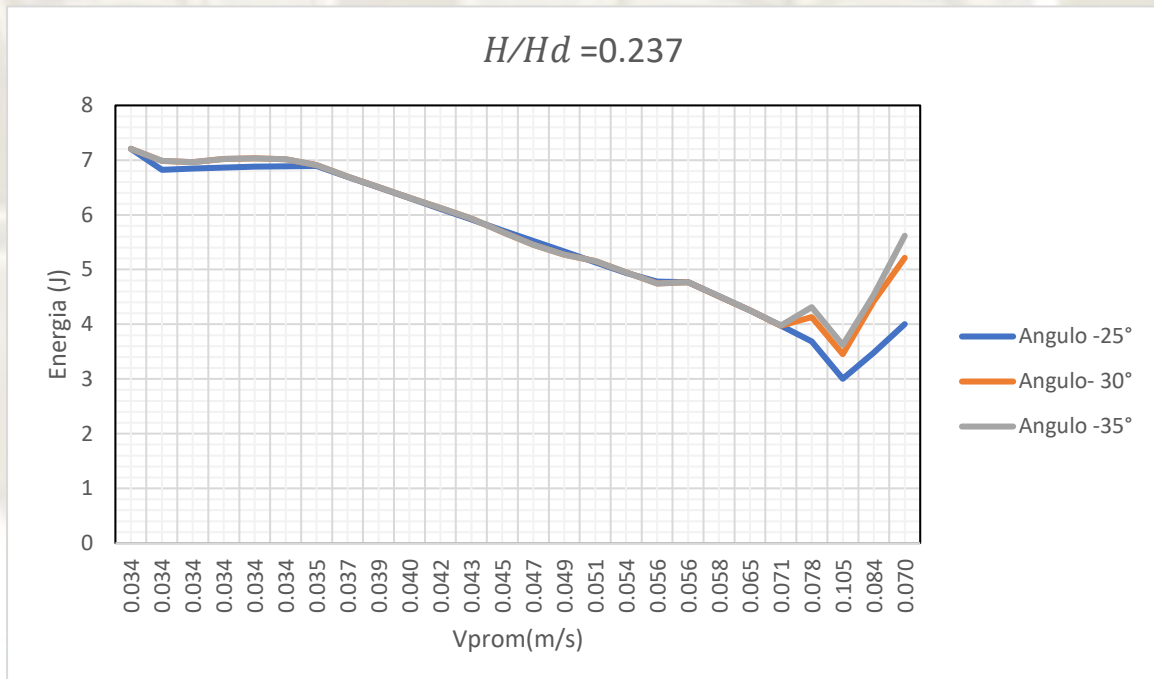
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 76. Grafica de los tres tipos de cucharon con $H/H_d=0.237$ a 10 l/s.



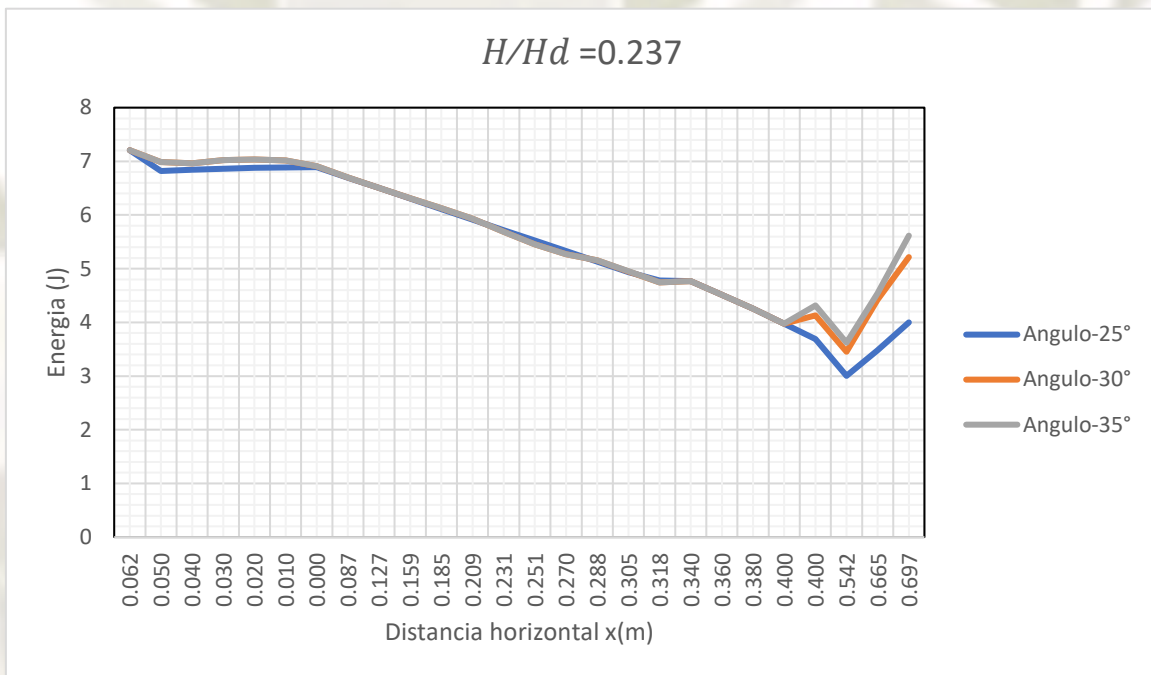
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 77. Energía con respecto a la velocidad en la estructura de disipación



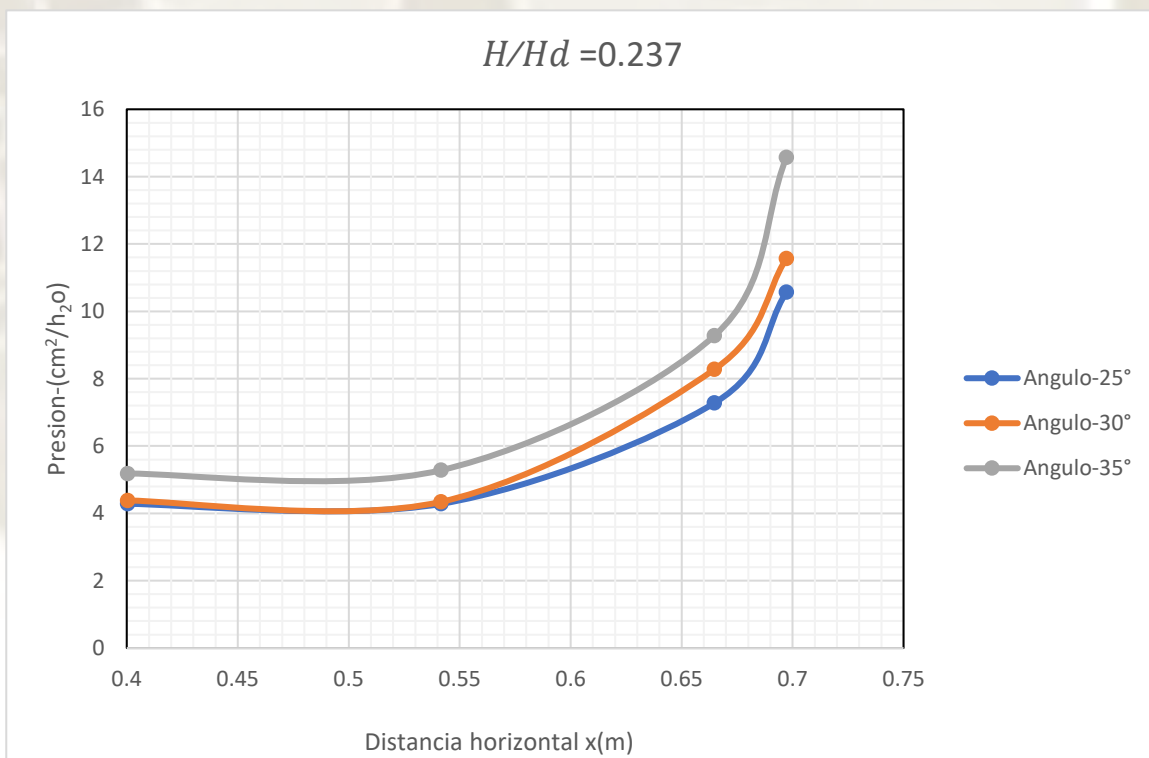
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 78. Variación de la energía a lo largo de la distancia horizontal.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 79. Variación de presiones en la cubeta deflectora.



Fuente: Elaboración propia.