

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Disertación escrita previa a la obtención del título de Ingeniero civil

DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO
DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES
CONVENCIONAL Y CON REJILLA DE FONDO, CON MATLAB.

Autor:

MERINO POVEA ANGEL VICENTE

Quito, 2019

Dedicatoria

El desarrollo y elaboración de las actividades que permitieron la elaboración de esta disertación se los dedico a mi familia, piedra angular de los valores y catalizadores de cada uno de los mejores momentos de mi vida.

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento al director de esta disertación, así como, a los correctores de la presente, por el apoyo en cada una de las etapas que permitieron el desarrollo del proyecto final fruto de la disertación.

Además agradecer a mis padres las primeras personas a quienes admire y sigo admirando, las personas que me enseñaron a siempre buscar seguir adelante.

Resumen

La disertación se enfocó en el desarrollo de una aplicación desarrollada en lenguaje de programación “M”, lenguaje de Matlab, para lo cual se realizó una revisión de la bibliografía existente que permita el diseño de los elementos más comunes que componen una captación superficial. Una vez determinados los procedimientos y expresiones matemáticas que permiten el dimensionamiento de cada uno de estos elementos. Se determinó el algoritmo de cada uno de los procesos matemáticos.

Al determinarse los algoritmos que permiten el diseño de cada uno de los elementos de la captación, se realizó el diseño de los dos casos de estudio de manera convencional, es decir, mediante el uso de hojas electrónicas.

Con los algoritmos de diseño se procedió a determinar los diagramas de flujo de cada uno de los elementos a diseñar, estos diagramas permiten el desarrollo de la aplicación. Para el desarrollo de la aplicación se adquirió una licencia estudiantil de Matlab 2017^a y se desarrolló la aplicación con esta versión.

Aplicación está desarrollada en la herramienta Guide de Matlab esta herramienta permitió el desarrollo de la aplicación como objetos. Se desarrolló una ventana para cada proceso de diseño además de una ventana de acceso general. Una vez desarrollado el programa se procedió a la aplicación del mismo a los casos de estudio desarrollados anteriormente.

Una vez desarrollados los casos de estudio con el uso del programa se establecieron comparaciones entre los resultados obtenidos mediante el uso del programa y los obtenidos mediante el uso de hojas electrónicas. Además se revisó los resultados con las dimensiones reales ejecutadas de uno de los ejemplos.

Una vez realizado el desarrollo del programa, y revisar los resultados se determinó las conclusiones y aplicabilidad del programa.

ÍNDICE

1.	Introducción	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Objetivos	5
1.3.1.	Objetivo general	5
1.3.2.	Objetivos específicos.....	5
1.4.	Alcance.....	5
2.	Revisión de la literatura técnica sobre el diseño hidráulico de las obras de captación.....	8
2.1.	Elementos que componen una estructura de captación.....	11
2.1.1.	Azud de derivación y cuenco disipador de energía.....	12
2.1.2.	Rejillas de captación.....	12
2.1.3.	Galería de captación	13
2.1.4.	Desripiador	13
2.1.5.	Canales y transiciones	14
2.1.6.	Desarenador.....	14
2.1.7.	Tanque de recolección.....	14
2.1.8.	Elementos de control y limpieza	15
2.2.	Información de ingeniería básica requerida para el diseño	15
2.3.	Diseño del azud de derivación y el cuenco disipador de energía.....	18
2.3.1.	Azud de derivación.....	20

2.3.2.	Cuenca disipador de energía	26
2.4.	Diseño de rejillas	33
2.4.1.	Rejillas laterales	33
2.4.2.	Rejilla de fondo	45
2.4.3.	Galería de captación (solo toma de fondo).....	49
2.5.	Diseño del desripiador.....	56
2.6.	Diseño de canales y transiciones	59
2.6.1.	Canal de transición	59
2.6.2.	Transiciones	62
2.6.3.	Transiciones Rectas.....	63
2.6.4.	Transición curva.....	65
2.6.5.	Transición mediante cuadrantes de circunferencia	68
2.7.	Diseño del desarenador.	72
2.8.	Diseño del tanque recolector.	80
2.9.	Diseño de elementos de control y limpieza.....	82
2.9.1.	Vertederos de exceso.....	82
2.9.2.	Compuertas de limpieza.....	84
3.	Ejemplos de diseño.	87
3.1.	Captación lateral.....	87
3.1.1.	Características iniciales del proyecto.	88
3.1.2.	Azud de derivación.....	89

3.1.3.	Cuenco disipador de energía.	92
3.1.4.	Rejilla lateral.	94
3.1.5.	Canal de transición y desripiador.	97
3.1.6.	Desarenador.	100
3.1.7.	Transición hacia el desarenador.	102
3.1.8.	Tanque de recolección.	103
3.1.9.	Vertedero de control.	104
3.1.10.	Compuertas de limpieza.	105
3.1.11.	Compuertas de control.	112
3.2.	Captación caucasiana (de fondo).	116
3.2.1.	Características iniciales para el diseño.	117
3.2.2.	Azud de derivación:	117
3.2.3.	Diseño del cuenco disipador de energía.	120
3.2.4.	Rejilla de fondo.	122
3.2.5.	Galería de captación.	123
3.2.6.	Desripiador y canal de transición.	127
3.2.7.	Desarenador.	129
3.2.8.	Transición hacia el desarenador.	130
3.2.9.	Tanque de recolección.	132
3.2.10.	Vertederos de control.	133
3.2.11.	Compuertas de limpieza.	133

3.2.12.	Compuertas de control.	140
4.	Introducción a Matlab.	147
4.1.	Características principales de Matlab.	147
4.2.	Selección de Matlab como lenguaje de programación.	149
4.3.	Entorno de trabajo de Matlab.	150
4.3.1.	Barra de menú “Home”.	151
4.3.2.	Barra de menú “Editor”.	152
4.3.3.	Interfaz Guide (GUI).	153
4.4.	Programación en Matlab.	154
4.4.1.	Ambiente de desarrollo del programa.	155
5.	Desarrollo del programa.	156
5.1.	Modelo de simulación hidráulica.	156
5.2.	Algoritmo de cálculo.	161
5.2.1.	Perfil Kreager.	161
5.2.2.	Cuenca disipador de energía.	162
5.2.3.	Rejilla lateral.	162
5.2.4.	Rejilla de fondo.	163
5.2.5.	Galería de captación.	164
5.2.6.	Canal de transición.	164
5.2.7.	Transiciones.	165
5.2.8.	Desarenador.	165

5.2.9.	Tanque recolector.....	166
5.2.10.	Vertederos.....	166
5.2.11.	Compuertas.....	166
5.3.	Desarrollo de la aplicación.....	166
5.3.1.	Perfil Kreager.....	167
5.3.2.	Cuenco disipador de energía.....	168
5.3.3.	Rejilla lateral.....	169
5.3.4.	Rejilla de fondo y galería de captación.....	171
5.3.5.	Desripiador.....	173
5.3.6.	Canal de transición.....	174
5.3.7.	Desarenador.....	174
5.3.8.	Transiciones.....	175
5.3.9.	Tanque de recolección.....	176
5.3.10.	Vertederos.....	177
5.3.11.	Compuertas.....	178
6.	Aplicación del programa y comparación con los casos de estudio.....	179
6.1.	Captación convencional (rejilla lateral).....	179
6.1.1.	Azud de derivación.....	180
6.1.2.	Cuenco disipador de energía.....	182
6.1.3.	Rejilla lateral.....	184
6.1.4.	Canal de transición y desripiador.....	185

6.1.5.	Desarenador.....	188
6.1.6.	Transiciones.	190
6.1.7.	Tanque recolector.....	191
6.1.8.	Vertedero de control.....	192
6.1.9.	Compuertas de limpieza.....	194
6.1.10.	Compuertas de control.....	201
6.2.	Captación con rejilla de fondo.....	209
6.2.1.	Azud de derivación.....	210
6.2.2.	Cuenca disipador de energía.....	212
6.2.3.	Rejilla de fondo.....	214
6.2.4.	Desripador y galería de captación.....	216
6.2.5.	Desarenador.....	219
6.2.6.	Transición hacia el desarenador.....	221
6.2.7.	Tanque recolector.....	222
6.2.8.	Vertederos de control.....	223
6.2.9.	Compuertas de limpieza.....	224
6.2.10.	Compuertas de control.....	232
6.3.	Ventajas y desventajas de la aplicación del programa.....	241
7.	Manual de usuario.....	244
7.1.	Guía rápida de uso.....	244
7.1.1.	Introducción.....	244

7.1.2.	Entorno de trabajo.....	244
7.1.3.	Como se inicia el programa.....	245
7.1.4.	Menú principal.....	248
7.1.5.	Perfil Tipo Kreager.....	248
7.1.6.	Cuenca disipador de energía.....	253
7.1.7.	Rejilla lateral.....	256
7.1.8.	Rejilla de fondo.....	259
7.1.9.	Rejillas de fondo.....	260
7.1.10.	Galería de captación.....	261
7.1.11.	Diseño de canales de transición y desripiadores.....	263
7.1.12.	Canal de transición.....	264
7.1.13.	Desripiadores.....	266
7.1.14.	Desarenador.....	268
7.1.15.	Transiciones.....	272
7.1.16.	Tanque recolector.....	275
7.1.17.	Vertederos y compuertas.....	279
7.1.18.	Vertederos.....	280
7.1.19.	Compuertas.....	282
7.2.	Preguntas frecuentes.....	284
7.2.1.	¿Cómo ingreso al programa?.....	284
7.2.2.	¿Cómo inicio una ventana de diseño?.....	284

7.2.3.	¿Cuáles son las unidades de trabajo del programa?	284
7.2.4.	¿Cómo regreso al menú inicial?	284
7.2.5.	¿Cuál es el perfil de usuario final del programa?	285
7.2.6.	¿Cómo recupero la información de una corrida?	285
8.	Conclusiones y recomendaciones.	286
8.1.	Conclusiones.	286
8.2.	Recomendaciones.	287
9.	Bibliografía.	288

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema general de una toma convencional.....	10
Figura 2.2 Aspecto general de una captación de fondo	11
Figura 2.3: Corte transversal de un vertedero con perfil Kreager.....	21
Figura 2.4: Valores del coeficiente k	22
Figura 2.5: Valores del coeficiente n	22
Figura 2.6: Factores para definir la aproximación al vértice del perfil Kreager	23
Figura 2.7. Esquema para la determinación del resalto hidráulico y la longitud del cuenco disipador.....	28
Figura 2.8: Relación F vs hy_1	32
Figura 2.9: Corte transversal típica de una captación convencional.....	34
Figura 2.10: Esquema general de los elementos de una rejilla lateral	37
Figura 2.11: Corte transversal esquemático de una rejilla lateral (desarrollo personal.).....	43
Figura 2.12: Ángulo de inclinación de la rejilla	44
Figura 2.13: Sección transversal para captaciones con rejilla de fondo	47
Figura 2.14: Sección longitudinal de la galería de captación y rejilla de fondo.....	50
Figura 2.15: Esquema de transición recta (desarrollo personal).....	64
Figura 2.16: Geometría general de una transición	66
Figura 2.17: Esquema de trancón mediante cuadrante de circunferencia	68
Figura 2.18: Esquema del proceso de sedimentación	74
Figura 2.19: Esquema general del corte transversal de una cámara de desarenación.....	80
Figura 2.20: Esquema general de un vertedero.....	83
Figura 2.21: Esquema transversal de una compuerta (desarrollo personal)	85
Figura 2.22: Coeficientes de descarga (gasto) para compuertas planas.....	86

Figura 3.1 Esquema general del caso de estudio	88
Figura 3.2: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.....	107
Figura 3.3: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desarenador	109
Figura 3.4: Curva de descarga de las cámaras desarenadoras	110
Figura 3.5: curva de descarga de la compuerta de limpieza del tanque recolector.....	112
Figura 3.6: Curva de descarga de la compuerta de control del canal de transición.....	114
Figura 3.7: Curva de descarga de la compuerta de control del desarenador.....	115
Figura 3.8: Esquema general del caso de estudio	116
Figura 3.9: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.....	135
Figura 3.10: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desripiador	137
Figura 3.11: Curva de descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras	139
Figura 3.12: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación	142
Figura 3.13: Curva de descarga de la compuerta de control del desripiador.....	144
Figura 3.15: Curva de descarga de las compuertas de control de las cámaras desarenadoras	146
Figura 4.1: Entorno de trabajo de Matlab, ventana inicial.....	151
Figura 4.2: Ventana para el diseño de interfaces Guide	153
Figura 4.3: Ventana de gestión de interfaces Guide, interfaz en blanco.....	154
Figura 5.1: Modelo de simulación hidráulica	157
Figura 5.2: Modelo de simulación hidráulica	158
Figura 5.3: Modelo de simulación hidráulica	159
Figura 5.4: Modelo de simulación hidráulica	160
Figura 6.1: Resultados de la aplicación del programa en la primera parte	181
Figura 6.2: Resultados finales del diseño en el programa	182
Figura 6.3: Resultados del diseño del cuenco usando el programa	183

Figura 6.4: Resultados de diseño de la rejilla lateral mediante el uso del programa.....	185
Figura 6.5: Resultados de diseño del canal de transición	186
Figura 6.6: Resultados de diseño del desripiador	188
Figura 6.7: Resultados de diseño del desarenador	189
Figura 6.8: Resultados de diseño de la transición.....	191
Figura 6.9: Resultados de diseño del tanque recolector.....	192
Figura 6.10: Resultados de diseño del tanque recolector.....	193
Figura 6.11: Resultados de diseño del tanque recolector.....	195
Figura 6.12: Resultados de diseño del tanque recolector.....	196
Figura 6.13: Resultados de diseño de las compuertas de limpieza de las cámaras desarenadoras	198
Figura 6.14: Resultados de diseño de las compuertas de limpieza de las cámaras desarenadoras	199
Figura 6.15: Resultados de diseño de las compuertas de limpieza del tanque recolector	201
Figura 6.16: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación	203
Figura 6.17: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación	204
Figura 6.18: Diseño de la compuerta de control del desarenador.....	205
Figura 6.19: Curva de descarga de la compuerta de control del desarenador.....	206
Figura 6.20: Resultados de la primera parte del diseño	211
Figura 6.21: Resultados de la segunda parte del diseño	212
Figura 6.22: Resultados del diseño del cuenco disipador	213
Figura 6.23: Resultados del diseño del cuenco disipador	215
Figura 6.24: Resultados del diseño de la galería de captación.....	216
Figura 6.25: Resultados del diseño del canal de transición	217
Figura 6.26: Resultados del diseño del desripiador	219

Figura 6.27: Resultados del diseño del desarenador	220
Figura 6.28: Resultados del diseño de la transición hacia el desarenador	222
Figura 6.29: Resultados del diseño del taque recolector.....	223
Figura 6.30: Resultados del diseño de los vertederos	224
Figura 6.31: Resultados del diseño de los vertederos	225
Figura 6.32: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.....	226
Figura 6.33: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.....	228
Figura 6.34: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desripiador	229
Figura 6.35: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desripiador	230
Figura 6.36: Curva de descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras	231
Figura 6.37: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación	233
Figura 6.38: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación	234
Figura 6.39: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación	236
Figura 6.40: Curva de descarga de la compuerta de control del desripiador.....	237
Figura 6.41: Curva de descarga de la compuerta de control del desripiador.....	238
Figura 6.42: Curva de descarga de las compuertas de control de las cámaras desarenadoras	239
Figura 7.1: Icono de inicio de Matlab	245
Figura 7.2: Barra “Home” de Matlab.....	245
Figura 7.3: Ventana “Open” de Matlab	246
Figura 7.4: Ventana de comandos de Matlab.....	246
Figura 7.5: Menú de edición de Matlab	247
Figura 7.6: Menú de inicio del programa.....	247
Figura 7.7: Ventana para el diseño del perfil tipo Kreager.....	248
Figura 7.8: Ubicación de las casillas de ingreso	249

Figura 7.9: Ubicación de las casillas de resultados.....	250
Figura 7.10: Botón “Limpiar” de la ventana de diseño de perfiles tipo “Kreager”	250
Figura 7.11: Botones para mostrar los ábacos para n y k	251
Figura 7.12: Casillas de ingreso para n y k.....	251
Figura 7.13: Botón “Coordenadas del perfil Kreager”	251
Figura 7.14: Casillas de resultados de las coordenadas del perfil Kreager.....	252
Figura 7.15: Botones “Coordenadas del Perfil Kreager”, “Limpiar Coordenadas” y “Menú Principal”	253
Figura 7.16: Casillas de ingreso de los datos iniciales del cuenco disipador	254
Figura 7.17: Botones “Calcular”, “Limpiar” y “Menú Principal” de la ventana de diseño del cuenco disipador de energía.....	254
Figura 7.18: Ábaco para la determinación de la altura del dintel de salida del cuenco disipador de energía en la ventana de trabajo	255
Figura 7.19: Ventana para el diseño de rejillas laterales	256
Figura 7.20: Casillas de resultados para rejillas laterales	257
Figura 7.21: Casillas de resultados para rejillas laterales	258
Figura 7.22: Ventana para el diseño de rejillas de fondo.....	259
Figura 7.23: Botones “Calcular”, “Limpiar” y “Menú principal” de la ventana de rejilla de fondo	261
Figura 7.24: Casillas de ingreso para la galería de captación	262
Figura 7.25: Casilla de resultados de la galería de captación	263
Figura 7.26: Ventana de diseño de transición y desripiadores.....	264
Figura 7.27: Casillas para el diseño de canales transición.....	265
Figura 7.28: Casillas de ingreso y resultados para diseño de desripiadores	268
Figura 7.29: Casillas de ingreso y resultados para diseño de desarenadores.....	269

Figura 7.30: Casillas de ingreso para diseño de desarenadores	270
Figura 7.31: Casillas de resultados para diseño de desarenadores.....	271
Figura 7.32: Botones de acción de la ventana de diseño de desarenadores	271
Figura 7.33: Ventana de diseño de transiciones.....	272
Figura 7.34: Casillas de entrada para el diseño de transiciones.....	273
Figura 7.35: Casillas de salida para el diseño de transiciones	274
Figura 7.36: Botones de la ventana de diseño de transiciones.....	275
Figura 7.37: Ventana de dimensionamiento de tanques recolectores	276
Figura 7.38: Casillas de ingreso de datos para el diseño de tanques recolectores	277
Figura 7.39: Casillas de resultados del diseño de tanques recolectores.....	278
Figura 7.40: Botones de acción de la ventana de diseño de tanques recolectores	278
Figura 7.41: Botones de acción de la ventana de diseño de tanques recolectores	279
Figura 7.42: Casillas de entrada para el cálculo de vertederos	280
Figura 7.43: Casilla de salida del cálculo de vertederos	281
Figura 7.44: Botones de acción de la ventana de diseño de vertederos.....	281
Figura 7.45: Casillas de ingreso para el cálculo de compuertas	282
Figura 7.46: Botones de acción de la ventana de diseño de tanques recolectores	283
Figura 7.47: Botones de acción para compuertas	283

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Valores del coeficiente de rugosidad nm para los materiales más comunes en obras hidráulicas	53
Tabla 2.2: Características geométricas para varias secciones de canales	55
Tabla 2.3: Velocidades límites para el flujo en canales	61
Tabla 2.4: Velocidades de sedimentación según Arkhangelski	77
Tabla 3.1: Información básica para el caso de estudio	89
Tabla 3.2: Determinación del coeficiente de descarga	90
Tabla 3.3: Condiciones de diseño para el perfil Kreager	90
Tabla 3.4: Coordenadas del perfil Kreager medidas desde el vértice	91
Tabla 3.5: Resultados del diseño del cuenco disipador de energía	92
Tabla 3.6: Dimensiones del cuenco disipador de energía	94
Tabla 3.7: Datos de ingreso para el diseño de la rejilla	95
Tabla 3.8: Resumen de valores determinados para la rejilla lateral	96
Tabla 3.9: Resumen de valores determinados para la rejilla lateral	97
Tabla 3.10: Datos iniciales para el diseño del desripiador y canal de transición	98
Tabla 3.11: Dimensiones del canal de transición	99
Tabla 3.12: Dimensiones del desripiador	100
Tabla 3.13: Datos iniciales para el diseño del desarenador	101
Tabla 3.14: Resultados del diseño del desarenador	101
Tabla 3.15: Datos para el diseño de la transición	102
Tabla 3.16: Diseño de la transición	103
Tabla 3.17: Diseño del tanque recolector	104
Tabla 3.18: Diseño del vertedero de control	105

Tabla 3.19: Ubicación de las compuertas de limpieza.....	105
Tabla 3.20: Diseño de la compuerta de limpieza del azud	106
Tabla 3.21: Descarga de la compuerta de descarga para el azud.....	107
Tabla 3.22: Diseño de la compuerta de limpieza del desripiador	108
Tabla 3.23: Descarga de la compuerta de limpieza del desripiador	108
Tabla 3.24: Diseño de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.....	109
Tabla 3.25: Descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras	110
Tabla 3.26: Diseño de la compuerta de limpieza del tanque recolector	111
Tabla 3.27: Descarga de la compuerta de limpieza del tanque recolector.....	111
Tabla 3.28: Ubicación de las compuertas de control	112
Tabla 3.29: Diseño de la compuerta de control de canal de transición.....	113
Tabla 3.30: Descarga de la compuerta de control del canal de transición.....	113
Tabla 3.31: Diseño de la compuerta de control del desarenador	114
Tabla 3.32: Descarga de la compuerta de control del desarenador.....	115
Tabla 3.33: Información básica para el caso de estudio	117
Tabla 3.34: Resultados de la altura del paramento, coeficiente de descarga, y calado máximo	118
Tabla 3.35: Condiciones de diseño para el perfil Kreager.....	118
Tabla 3.36: Coordenadas del perfil Kreager medidas desde el vértice.....	119
Tabla 3.37: resultados del diseño del cuenco disipador de energía	120
Tabla 3.38: Resumen dimensiones cuenco	121
Tabla 3.39: Datos de ingreso para el diseño de la rejilla de fondo	122
Tabla 3.40: Resumen de valores determinados para la rejilla de fondo	123
Tabla 3.41: Resumen de valores determinados para la rejilla de fondo	123
Tabla 3.42: Características iniciales de la galería.....	124

Tabla 3.43: Resultados del diseño de la galería de captación.....	125
Tabla 3.44: Características para el diseño de la galería.....	126
Tabla 3.45: Coordenadas de la galería de captación.....	126
Tabla 3.46: Datos iniciales para el diseño del desripiador y el canal de transición.....	127
Tabla 3.47: Dimensiones del canal de transición.....	128
Tabla 3.48: Dimensiones del desripiador.....	128
Tabla 3.49: Condiciones iniciales para el diseño del desarenador.....	129
Tabla 3.50: Resultados del diseño del desarenador	130
Tabla 3.51: Datos iniciales para el diseño de la transición	131
Tabla 3.52: Diseño de la transición.....	131
Tabla 3.53: Diseño del volumen específico del tanque de recolección	132
Tabla 3.54: Diseño del vertedero de control	133
Tabla 3.55: Ubicación de las compuertas de limpieza.....	133
Tabla 3.56: Diseño de la compuerta de limpieza del azud	134
Tabla 3.57: Descarga de la compuerta de limpieza para el azud	135
Tabla 3.58: Diseño de la compuerta de limpieza del desripiador	136
Tabla 3.59: Descarga de la compuerta de limpieza del desripiador	137
Tabla 3.60: Diseño de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras	138
Tabla 3.63: Ubicación de las compuertas de control	140
Tabla 3.64: Diseño de la compuerta de control de la galería de captación.....	141
Tabla 3.65: Descarga para la compuerta de control de la galería de captación.....	141
Tabla 3.66: Diseño de la compuerta de control del desripiador	143
Tabla 3.67: Descarga de la compuerta de control del desripiador.....	143
Tabla 3.68: Diseño de la compuerta de control de las cámaras desarenadoras	145
Tabla 3.69: Descarga para la compuerta de control de las cámaras desarenadoras.....	145

Tabla 5.1: Perfil Kreager.....	167
Tabla 5.2. Cuenco disipador de energía.....	168
Tabla 5.3: Rejilla lateral.....	169
Tabla 5.4: Rejilla de fondo y galería de captación.....	171
Tabla 5.5: Desripiador	173
Tabla 5.6: Canal de transición	174
Tabla 5.7: Desarenador	174
Tabla 5.8: Transiciones.....	175
Tabla 5.9: Tanque de recolección	176
Tabla 5.10: Vertederos.....	177
Tabla 5.11: Compuertas	178
Tabla 6.1: Datos iniciales del caso de estudio	179
Tabla 6.2: Datos iniciales del azud de derivación.....	180
Tabla 6.3: Valores de los coeficientes n y k	181
Tabla 6.4: Valores iniciales para el diseño del cuenco disipador de energía.....	182
Tabla 6.5: Datos de entrada para el diseño de la rejilla lateral con el uso del programa.....	184
Tabla 6.6: Datos de entrada para el diseño del canal de transición	186
Tabla 6.7: Datos de entrada para el diseño del desripiador	187
Tabla 6.8: Datos de entrada para el diseño de la compuerta del desripiador.....	187
Tabla 6.9: Datos de entrada para el diseño de la compuerta del desripiador.....	189
Tabla 6.10: Datos de entrada para el diseño de la transición.....	190
Tabla 6.11: Datos de entrada para el diseño del tanque recolector.....	191
Tabla 6.12: Datos de entrada para el diseño de la compuerta del desripiador.....	193
Tabla 6.13: Ubicación de las compuertas de limpieza.....	194
Tabla 6.14: Características de la compuerta de limpieza del azud de derivación.....	195

Tabla 6.15: Descarga de la compuerta de limpieza del azud de derivación	196
Tabla 6.16: Características de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.....	197
Tabla 6.17: Características de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.....	198
Tabla 6.18: Características de la compuerta de limpieza del tanque recolector	200
Tabla 6.19: Características de la compuerta de limpieza del tanque recolector	200
Tabla 6.20: Ubicación de las compuertas de control	201
Tabla 6.21: Características de la compuerta de control de la transición.....	202
Tabla 6.22: Descarga de la compuerta de control de la transición	203
Tabla 6.23: Características de la compuerta de control del desarenador	205
Tabla 6.24: Valores de la curva de descarga de la compuerta de control del desarenador....	206
Tabla 6.25: Comparación final de resultados, caso rejilla lateral	207
Tabla 6.26: Datos iniciales del caso de estudio	209
Tabla 6.27: Datos iniciales del azud de derivación.....	210
Tabla 6.28: Valores de los coeficientes n y k	211
Tabla 6.29: Valores para el diseño del cuenco disipador.....	212
Tabla 6.30: Valores iniciales para el diseño de la rejilla de fondo	214
Tabla 6.31: Valores iniciales para el diseño de la galería de captación.....	215
Tabla 6.32: Valores iniciales para el diseño del canal de transición	217
Tabla 6.33: Valores iniciales para el diseño del desripiador	218
Tabla 6.34: Valores iniciales para el diseño del desripiador	220
Tabla 6.35: Valores iniciales para el diseño de la transición.....	221
Tabla 6.36: Valores iniciales para el diseño del tanque recolector.....	222
Tabla 6.37: Valores iniciales para el diseño de los vertederos	223
Tabla 6.38: Ubicación de las compuertas de limpieza.....	224
Tabla 6.39: Diseño de la compuerta de limpieza del azud	225

Tabla 6.40: Descarga de la compuerta de limpieza para el azud	226
Tabla 6.41: Diseño de la compuerta de limpieza del desripiador	227
Tabla 6.42: Descarga de la compuerta de limpieza del desripiador	228
Tabla 6.43: Diseño de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras	230
Tabla 6.44: Descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras	231
Tabla 6.45: Ubicación de las compuertas de control	232
Tabla 6.46: Diseño de la compuerta de control de la galería de captación.....	232
Tabla 6.47: Descarga para la compuerta de control de la galería de captación	234
Tabla 6.48: Diseño de la compuerta de control del desripiador	235
Tabla 6.49: Descarga de la compuerta de control del desripiador	236
Tabla 6.50: Diseño de la compuerta de control de las cámaras desarenadoras	238
Tabla 6.51: Descarga para la compuerta de control de las cámaras desarenadoras.....	239
Tabla 6.52: Comparación final de resultados, caso rejilla de fondo	240
Tabla 6.533: Comparación final de resultados, caso rejilla de fondo	242

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Existe variada información sobre el diseño hidráulico de obras de captación, gran parte de esta información se ha presentado como solución en casos específicos de estudio, y mucha otra como información en publicaciones u otros medios escritos.

Los programas disponibles presentan rutinas que permiten el diseño de uno o varios componentes de una captación, pero estas aplicaciones se enfocan en la solución de elementos generales en el campo de la hidráulica, por ejemplo, el flujo en canales abiertos, calado hidráulico, resalto hidráulico, entre otros, incluso, es menester de cada profesional dedicado al diseño hidráulico, tener en su poder un conjunto de hojas electrónicas, las mismas que permitan el diseño de los elementos de una captación, de esta manera la cantidad de utilitarios computacionales (hojas electrónicas, aplicaciones, etc.) es casi incuantificable. A continuación, se presenta una lista sumaria de los programas más relevantes desarrollados y de uso comercial, que tengan entre sus rutinas una o varias herramientas que permitan el diseño de ciertos elementos de una captación (canales, vertederos de control, disipadores de energía, etc.).

- HCanales.- Un programa desarrollado por el ingeniero peruano Máximo Villón Béjar, profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Este programa, de libre acceso, es uno de los más versátiles y útiles para el diseño y comprobación de diseño hidráulico debido a que contiene rutinas para el cálculo de varias estructuras hidráulicas y canales abiertos. Entre estas rutinas se pueden mencionar curvas de remanso por integración gráfica (Bakhmeteff, Besse, entre otras), determinación del calado normal para secciones rectangulares trapezoidales, cálculo de transiciones de entrada o salida

en flujo subcrítico, cálculo de salida bajo compuertas y orificios, cálculo de vertederos laterales, etc. (Ferret, 2016).

- Flow Master. - Este programa de acceso libre está enfocado al análisis y cálculo de canales abiertos con la bondad de permitir al usuario trabajar en canales de sección no convencional (secciones irregulares), diseño y cálculo de rejillas usando las ecuaciones de la circular N°12 de la “Federal Highway Administration” (F.H.W.A.) Circular de Ingeniería Hidráulica en la que se publicó las ecuaciones y metodologías para el drenaje en autopistas revestidas por pavimentos. También de la circular N°22 de Metodologías donde se presenta un manual para el diseño hidráulico de sistemas de drenaje, recolección y descarga (Federal Highway Administration, 2017). Además de contar con una rutina de entrega de reportes detallados, entre los cuales se pueden mencionar, informes detallados de datos de ingreso y resultados, graficas de secciones transversales, un sistema de gestión de tablas de resultados, etcétera. (Bentley, 2016).

- Flow Pro 2.- Esta aplicación, de libre acceso, permite el cálculo y diseño de canales en lámina libre de manera rápida sencilla con una interfaz de fácil entendimiento para el usuario, su versión de prueba es funcional y permite inclusive el cálculo de remanso hidráulico en canales. Este programa también brinda una interfaz que permite la visualización de varias alternativas de diseño de un canal, también soporta el análisis de flujo subcrítico como el supercrítico en canales, además de rutinas para el cálculo de orificios, vertederos y compuertas. (ProSoft, 2016).

1.2. Justificación

Las obras de captación, son un conjunto de elementos construidos directamente sobre el cauce de una fuente superficial para su aprovechamiento, estas obras permiten captar el caudal requerido para un aprovechamiento hídrico (riego, agua potable, generación hidroeléctrica, etc.).

El desarrollo de aplicaciones computacionales que aceleren los procesos de cálculo y reduzcan los errores en estos procesos, ha permitido que durante los últimos años se desarrolle una gran cantidad y gama de paquetes computacionales, muchos de ellos orientados hacia el diseño dentro de los varios campos de aplicación de la ingeniería civil. Estas aplicaciones han sido desarrolladas dentro de los lenguajes de programación desplegados a medida que la tecnología lo ha permitido.

Durante los primeros años del desarrollo informático, las aplicaciones y paquetes computacionales tuvieron como objeto realizar tareas matemáticas sencillas; a medida que la tecnología se desarrolló, estas aplicaciones y paquetes computacionales se fueron refinando permitiendo la resolución de tareas mucho más complejas, con mayor rapidez y precisión. Dentro del campo de la hidráulica, muchas aplicaciones han sido desarrolladas; estos programas han sido orientados hacia la resolución de procesos matemáticos aplicados en el diseño de estructuras hidráulicas, tales como el análisis en secciones de ríos máximas crecida, y calado crítico en dichas secciones (dentro del programa Flow Master), redes de tuberías (en el programa EPANET), análisis de la respuesta en golpe de ariete en tuberías de presión, bajo el modelo de orificio restringido (aplicando el programa Hammer), análisis de modelos hidráulicos para ríos, canales o cauces (desarrollado dentro del paquete HEC-RAS), que han

demostrado que los procesos de diseño de los elementos hidráulicos pueden programarse aplicando los algoritmos propuestos basados en la bibliografía.

Varios de estos programas y aplicaciones presentan herramientas que permiten el diseño de varios elementos de una captación; HEC-RAS, por ejemplo, presenta modelos de arrastre de sedimentos, donde se puede definir los mejores lugares para la colocación de una obra de captación superficial, además, presenta rutinas donde se determina el calado máximo del río en las condiciones de máxima crecida del mismo.

Flow Master presenta una rutina de características similares de una batimetría determinada, elementos como canales, transiciones entre canales, vertederos, o cuencos de resalto hidráulico son diseñados dentro del programa HCanales donde se presentan rutinas para el diseño de estos elementos, por mencionar ejemplos; sin embargo, no existe un programa que permita el diseño de todos los elementos que componen una captación superficial.

Dentro de los programas mencionados no existe una rutina que permita diseñar rejillas de captación, o desarenadores. Además, al momento de la investigación para el desarrollo de esta disertación, a la fecha en el mercado no existen programas que presenten todas las rutinas para el diseño de los elementos que componen una captación superficial. Muchas de estas rutinas de diseño se han presentado dentro de hojas de cálculo desarrolladas de manera libre, existiendo el acceso a estas de manera sencilla dentro de internet (Word Wide Web).

Con estos antecedentes, la presente disertación pretende desarrollar un programa computacional que pueda resolver de manera satisfactoria los métodos y algoritmos utilizados para el diseño de captaciones superficiales ya sean con ventana lateral o mediante el uso de

rejillas de fondo de manera rápida, ágil, y ordenada, siguiendo los algoritmos definidos en la bibliografía.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un programa en Matlab que permita el diseño hidráulico, respetando técnicas de la bibliografía especializada de los elementos que componen una obra de captación de agua superficial, tanto convencional como con rejilla de fondo; para optimizar el proceso de cálculo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar la literatura técnica sobre diseño hidráulico de los elementos que componen una obra de toma superficial convencional o con rejilla de fondo.
- Realizar el diseño conceptual de dos casos de obras de toma.
- Desarrollar un programa en Matlab para el diseño de una obra de toma.
- Aplicar el programa desarrollado para cada uno de los casos de estudio y comparar resultados con el diseño conceptual.
- Realizar el manual de usuario del programa desarrollado.

1.4. Alcance

La presente disertación pretende desarrollar una aplicación, basada en el lenguaje de programación de Matlab, de manera que permita el diseño hidráulico de los elementos que componen una captación convencional y con rejilla de fondo, cumpliendo las recomendaciones bibliográficas, como un proceso lógico y ordenado.

Se realizará el diseño de dos casos de estudio, de manera convencional, y que con el uso de esta aplicación, se pueda establecer una comparación sobre los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

Los elementos de ingeniería básica previa al diseño de un proyecto de aprovechamiento hidráulico de una fuente superficial tales como: topografía, hidrología, arrastre de sedimentos, los calados y niveles máximos y mínimos dentro de la fuente, etc., deben ser proporcionados por los desarrolladores del proyecto.

Se pretende partir de información de ingeniería básica, siguiendo un algoritmo de diseño determinado en la bibliografía para cada elemento, el programa determinará las dimensiones, calados normales de operación, y cualquier información adicional que sea necesaria para que una obra de captación sea correctamente diseñada.

Al establecer las dimensiones necesarias para el funcionamiento hidráulico de una obra de captación, se optimizarán los demás procesos dependientes del diseño hidráulico necesarios para la definición de un proyecto de ingeniería en específico; aspectos como diseño estructural, estudio de costos, presupuestos, etc., tendrán un rápido acceso a la información del diseño hidráulico mediante el uso del programa propuesto.

Al reducir los errores y tiempos necesarios para la realización del diseño hidráulico de este tipo de obras, se pretende optimizar la ejecución de estudios de consultoría para ingeniería de detalle, fiscalización de obras o cualquier otro nivel de ingeniería que requiera rápido acceso a los resultados que el programa brindará al usuario.

La disertación no desarrollará elementos como: cálculo estructural de los elementos de la obra de captación, presupuesto de la obra a ser diseñada, estudios o evaluación de impacto ambiental, evaluación de la calidad del agua en una fuente a aprovecharse y determinación de valores de los caudales máximos o mínimos esperados de la fuente a ser aprovechada.

Al momento de la investigación correspondiente a la presente disertación, el valor de la licencia de Matlab “Estudiantil” es de 55 USD, con un costo adicional por cada “add-on” que se requiera; mientras que, la licencia “Profesional” tiene un valor de 2 650 USD, además, un valor de 1 250 USD por cada “add-on”. Se adquirirá una licencia estudiantil para el desarrollo del programa, esta licencia cuenta con las rutinas básicas de programación necesarias para el desarrollo del programa, en caso de requerir algún add-in se procederá a la adquisición del mismo. El paquete que se adquirirá con la licencia estudiantil incluye: Matlab, Simulink, y diez de los add-in más usados. (MathWorks, 2016).

2. Revisión de la literatura técnica sobre el diseño hidráulico de las obras de captación

Previo al diseño de cualquier elemento que deba cumplir una función específica, se debe conocerla función de ese elemento, como se llegaron a los modelos de funcionamiento y cuáles son las condiciones para el correcto funcionamiento del mismo. Esta información se encuentra detallada en los diferentes documentos científicos, bibliografía y demás publicaciones formales que muestran los modelos y resultados de los estudios desarrollados.

Estos modelos permiten determinar de manera aproximada como funciona un determinado elemento, de esta manera, se tienen definidos los modelos matemáticos con los que se deberá definir las características de los elementos que componen una captación superficial.

Previo a enumerar los modelos a desarrollarse, se debe definir cuáles serán los elementos de una captación superficial, convencional o con rejilla de fondo, además de sus funciones.

De manera general las obras hidráulicas se diseñan para cumplir uno o varios de los siguientes objetivos:

- Riego de cultivos
- Abastecimiento de agua para consumo humano e industrial
- Navegación
- Alcantarillado
- Drenaje de excesos
- Control de crecientes y protección

Así mismo, las obras hidráulicas pueden ser clasificadas de manera general en varios grupos, divididas así, únicamente para propósitos de estudio, estos grupos son:

- Obras de captación
- Obras de conducción
- Obras de protección
- Obras de regulación

El aprovechamiento del recurso hídrico existente para un proyecto en específico, o consumo en general del ser humano, es extraído en su mayoría, aprovechando la fuerza de la gravedad y de fuentes superficiales como lagos o ríos; para el desarrollo de la presente disertación únicamente tomaremos en cuenta los aprovechamientos sobre ríos como fuentes superficiales (Krochin, 1986), de esta manera se referirá a ríos en general al mencionar el término “fuente superficial”.

Una captación superficial directa se conoce al conjunto de estructuras colocadas de manera directa sobre una fuente superficial seleccionada para el desarrollo de un aprovechamiento, este puede ser hidroeléctrico, de riego, de agua potable, entre otros. (Corcho, 2005).

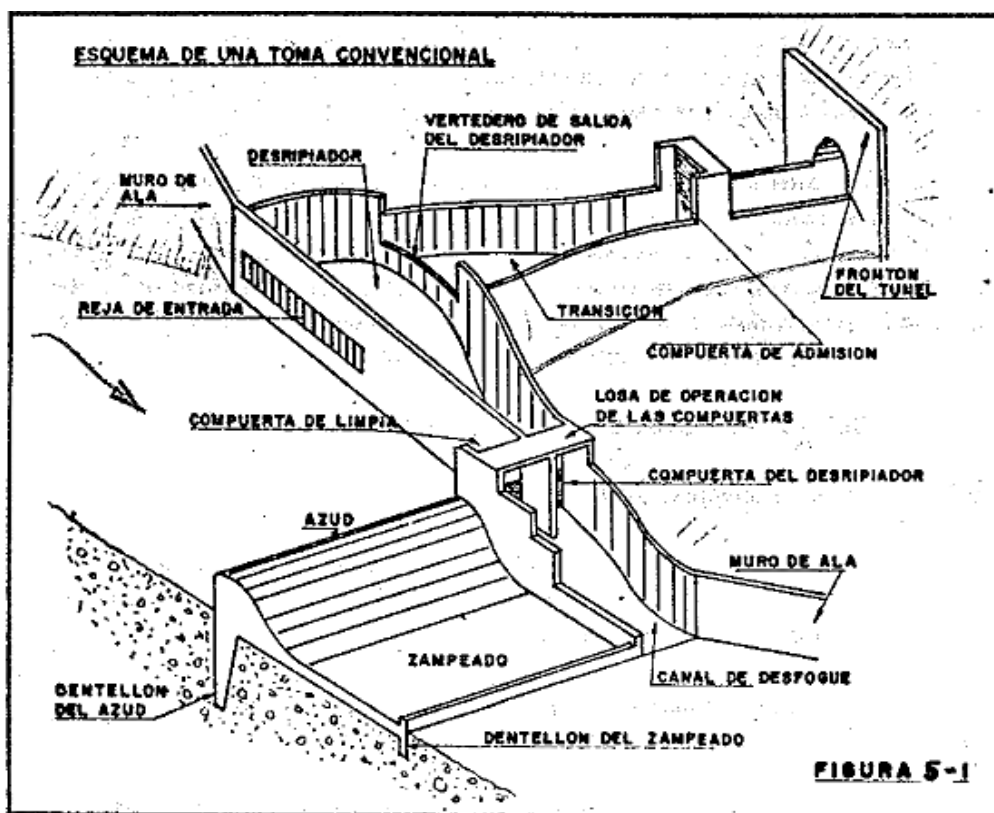
Las captaciones por derivación pueden ser catalogadas en dos grandes grupos, las captaciones de derivación directa, y las derivaciones con presa; de estos dos grupos el ingeniero diseñador debe definir, dependiendo de las características específicas del proyecto, cuál será el tipo específico de captación a utilizarse. (García, 2000).

Existen varios tipos de captaciones; se pretenderá abordar como casos de estudio, las captaciones superficiales directas como medio para la derivación de caudal para su posterior aprovechamiento, de esta manera, se presentan dos tipos de captaciones a ser analizadas,

captaciones laterales y captaciones de fondo, ambas poseen elementos en común, la diferencia principal entre estas, es el modo en el que derivan el caudal captado hacia las cámaras de limpieza y control.

Mientras la captación lateral utiliza una ventana ubicada en uno de los muros del ala de la estructura donde se ubica una rejilla que impide el paso de elementos solidos de tamaños considerables.

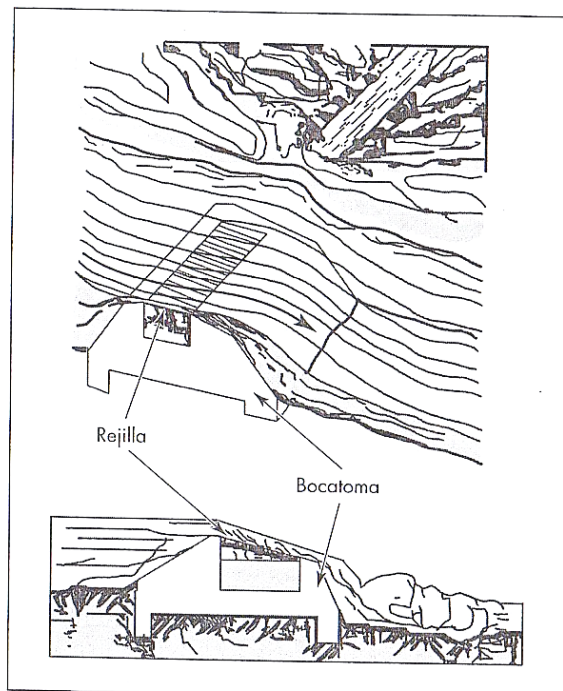
Figura 2.1: Esquema general de una toma convencional.



Fuente: (Krochin, 1986)

La captación de fondo (conocida también como caucasiana) utiliza una rejilla en la parte baja del azud de derivación para captar el caudal a ser aprovechado.

Figura 2.2 Aspecto general de una captación de fondo



Fuente: (Ortiz, 2001)

2.1. Elementos que componen una estructura de captación

Una captación está compuesta de un conjunto de elementos, los cuales tienen por objeto controlar la velocidad del flujo dentro de los mismos, permitir la limpieza de los sólidos suspendidos en el cuerpo de agua captado, controlar la cantidad de agua captada, etc. A continuación, se menciona a cada uno de estos elementos, definiendo y mencionando el conjunto de expresiones matemáticas que permiten el dimensionamiento del mismo.

2.1.1. Azud de derivación y cuenco dissipador de energía

El azud de derivación es una estructura que cierra el cauce natural del río, obligando al agua que está por debajo de la cota de su cresta entre y hacia las cámaras de limpieza a través de la rejilla de captación, en crecientes permite que el agua pase por encima de este funcionando como un vertedero. (Krochin, 1986).

A continuación de este dique, se encuentra un zampeado o cuenco dissipador, donde se aprovecha el efecto de resalto hidráulico, para de esta manera disipar la alta energía con la que el agua cae desde el azud en crecientes, una vez que se disipe la energía, el agua no causará erosión aguas abajo del sitio de la captación. (Krochin, 1986).

2.1.2. Rejillas de captación

Son un conjunto de barrotes acomodados en el fondo (o en la ventana lateral) de una estructura de cierre (azud), tienen como objeto derivar un caudal lo más constante posible hacia las demás obras que componen una captación. (Pacheco, 2015).

Además, estas se colocan para impedir el paso de materiales flotantes y rocas. (Krochin, 1986).

2.1.3. Galería de captación

Es un elemento de conexión entre la rejilla de fondo a los demás elementos componentes de una captación, existe la galería de captación, este elemento es un tramo hueco dentro del azud de derivación, un canal sujeto a un proceso de diseño específico mediante el cual se recoge el caudal captado para su posterior aprovechamiento. (Krochin, 1986).

2.1.4. Desripador

Conocido también como pre sedimentador, es una cámara ubicada después de la reja de entrada (en captaciones de ventana lateral) o a continuación de la galería de captación (en el caso de captaciones con rejilla de fondo), que tiene por objeto retener las rocas o material sólido que alcanzó a pasar entre los barrotes de la rejilla.

Esta cámara permite el depósito de materiales sólidos en el lecho de la misma y debe considerarse su limpieza de manera periódica mediante un canal de desfogue con una gradiente suficiente para conseguir una velocidad de lavado alta. (Krochin, 1986).

2.1.5. Canales y transiciones

Estos son los elementos de interconexión entre los demás componentes de una captación, tienen por objeto mantener el flujo del caudal captado controlado, además de llevar este a cada una de las cámaras de la estructura de captación hasta su posterior conexión con el sistema de conducción del proyecto en específico. Las transiciones son elementos que permite el cambio de sección transversal de manera gradual reduciendo al mínimo las pérdidas de carga por este cambio de sección. (Krochin, 1986).

2.1.6. Desarenador

Se conoce como desarenador a la obra hidráulica que sirve para sedimentar las partículas de material sólido suspendidas en el agua. (Ortiz, 2001). Estas obras generalmente son consideradas como indispensables salvo casos especiales donde el caudal captado es muy limpio donde no se requiera retener los sólidos suspendidos en el caudal a ser aprovechado. (Krochin, 1986).

2.1.7. Tanque de recolección

Es un elemento que tiene como objetivo recolectar el caudal captado, además de controlar los niveles de operación hacia la conducción del proyecto, se deberá contemplar el tiempo de retención, además de las operaciones de mantenimiento programadas sobre los elementos de un proyecto en específico.

2.1.8. Elementos de control y limpieza

En estos se reúnen todos los elementos hidráulicos necesarios para las operaciones de limpieza, el control de niveles de operación y paso hacia un elemento determinado de la obra de captación. Se dividen en dos grupos generales, vertederos de excesos y compuertas de limpieza o control, cada uno de estos grupos con su metodología específica de diseño.

2.2. Información de ingeniería básica requerida para el diseño

Previo al inicio del diseño de un proyecto, se debe tener a mano la mayor cantidad de información posible, con el objeto de realizar un diseño óptimo. En los proyectos de ingeniería, la información básica requerida es variada y particular, dependiendo de la finalidad del proyecto. De manera general, en los proyectos de ingeniería, existen varias etapas en la fase de consultoría, en cada una de estas se desarrollan diferentes aspectos del mismo, en la última etapa, permite definir con claridad detalles de la ejecución del proyecto, costos y procesos de ejecución, además de tiempos de ejecución del mismo. Estas etapas son:

- Estudios preliminares o de prefactibilidad: En esta etapa se recopilan los datos, mapas, necesidades, etc., necesarias para el planeamiento y comparación de alternativas para la ejecución de un proyecto.

- Estudios de factibilidad: En este nivel se confirman las decisiones tomadas de alternativas mostradas en los estudios de prefactibilidad, definiendo así, cuál de estas será la alternativa seleccionada para el desarrollo definitivo.
- Estudios definitivos: En esta etapa se definen las dimensiones, preparación de planos para la construcción de un proyecto, presupuestos, memorias técnicas, documentación legal, etc., es decir, todos los elementos que permiten la correcta ejecución, construcción, e implementación de un proyecto. (Burbano, 1990).

Es menester del equipo de diseño del proyecto definir el nivel de detalle de cada uno de estos estudios, dependiendo del nivel de estudio que va a presentar el mismo, por ejemplo, el detalle topográfico no será el mismo para la realización de un estudio de perfectibilidad que el de un estudio para los diseños definitivos del mismo proyecto.

Se puede dividir en cuatro grupos generales los estudios necesarios para la consecución de un proyecto de aprovechamiento hídrico, cada uno de estos grupos contendrá la información básica necesaria para definir un proyecto específico. De la misma manera brindarán la información necesaria para el diseño y la realización de la ingeniería de detalle necesaria para la ejecución del mismo.

Estos grupos son:

- Estudios topográficos y cartográficos: Muestra la ubicación general del proyecto, posibles ubicaciones de los elementos de interés del mismo, lugares

donde se debe llegar, poblaciones cercanas, además de brindar coordenadas de cada uno de los elementos mencionados en tres dimensiones, Norte (Sur), Este (oeste) y Elevación dentro de un sistema de referencia, para el Ecuador, el sistema es el WGS84.

- Estudios hidrológicos y de demanda: Estos muestran la cantidad de agua que se puede aprovechar de un cauce, sin afectar al ciclo hidrológico de este, además de los sectores aldeanos y aguas abajo del proyecto, así mismo, determinan cual es la cantidad de agua requerida para el proyecto dentro de un tiempo estimado de vida del mismo.
- Estudios de suelo: Estados geológicos y geotécnicos; mismos que tienen como objetivo definir las características generales del suelo, donde se ubicarán las obras de un proyecto, zonas de riesgo de deslaves, historia geología del sitio, estratigrafía del suelo y demás características que permitan un correcto desempeño estructural de las obras a colocarse.
- Estudios de impacto: Buscan definir las posibles afectaciones en los alrededores de la zona donde se ubicará el proyecto, impactos al ambiente, caudales ecológicos, especies afectadas de flora y fauna, afectaciones a las poblaciones, impacto socio económico en las poblaciones aledañas, así como la organización y desarrollo de los planes de gestión ambiental para el proyecto.

Cada uno de estos estudios con sus componentes presentarán los datos necesarios para el diseño de un proyecto, sea en la fase de desarrollo en la que encuentre, para el desarrollo de la presente disertación necesitaremos de varios de los datos que se

decantan de los estudios de ingeniería básica, pero esta información, como se menciona en el alcance, no es menester ni responsabilidad de la presente disertación. En los capítulos siguientes se definirán con exactitud todas las variables necesarias para el desarrollo del programa y el uso del mismo.

La ubicación de una obra de captación debe seguir las siguientes recomendaciones generales:

- Ubicar la captación en la orilla del cauce en segmentos rectilíneos, colocando el eje del azud en ángulos de 60 o 90 grados del eje del río a ser aprovechado.
- Colocar las obras de captación en áreas de condiciones topográficas aceptables, en los terrenos más planos posibles, para ahí colocar las demás obras componentes de la captación, evitando movimientos de tierra excesivos.
- Colocar la obra de captación en una zona donde las condiciones geológicas y topográficas sean aceptables, estabilidad del terreno, tipo de suelo, socavación, etc.
- Facilidades de construcción, una relativa facilidad para el desvío del cauce del río, construcción de vías de acceso, cercanía a canteras registradas, etc. (García, 2000)

2.3. Diseño del azud de derivación y el cuenco dissipador de energía

En principio, por razones de estabilidad, se había optado por los azudes trapezoidales con un ligero redondeo para facilitar el paso del agua sobre este, sin embargo, la lámina de agua que pasa sobre el vertedero no se adhería al hormigón del

azud, esto se traduce en fuerza centrífuga y presiones que dejan de ser hidrostáticas, produciéndoles daños en la estructura del azud. (Krochin, 1986).

Además, al pie del azud, la curvatura del mismo producía un aumento notable en las presiones produciendo mayor desgaste e inestabilidad de la obra. Estos efectos entre los varios otros que se producen en el paso del agua sobre el azud, mismo que funciona básicamente como un vertedero, generaban una cantidad importante de dificultades para el funcionamiento de un azud. Consiguientemente, es conveniente reducir la presión sobre el cimacio, y adoptar un perfil tal que este esté sometido a presiones casi nulas en todos los puntos del mismo; estos efectos se han conseguido mediante el perfil desarrollado por Kreager y que lleva su nombre. Este desarrolló una ecuación que años más tarde se convertiría en la ecuación general del este, el perfil desarrollado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos de Norteamérica en el libro “Small dams” en 1961. (Krochin, 1986).

Este perfil se ha adoptado como un elemento convencional de diseño para el azud de derivación en proyectos de aprovechamiento hídrico de cualquier tipo, debido a las ventajas que presenta en comparación con las otras secciones transversales convencionales para presas hidráulicas, estas ventajas básicamente son:

- El azud tiene una sección transversal semi- trapezoidal que ayuda a la estabilidad estructural del mismo.
- El flujo sobre este es estable, sin vibraciones, sin desprendimientos ni entradas de aire.
- Reduce la presión sobre el cimacio en la parte superior del mismo.

- Este perfil está sometido a presiones casi nulas en todos los puntos.
- Ahorra un 15-20% en volumen de concreto (comparado con el perfil trapezoidal).
- Coeficientes de descarga son ligeramente mayores. (García, 2000)

Sin embargo, este tipo de perfil presenta dos desventajas que condicionan su uso:

- Posibilidad de que se produzca cavitación entre la lámina de agua y el hormigón del azud.
- Posible vibración de la estructura. (Krochin, 1986)

2.3.1. Azud de derivación

Varios autores e investigadores han presentado métodos simplificados sobre el diseño de este tipo de perfiles, para reducir la posibilidad de estos dos eventos desfavorables para las estructuras, con este antecedente, la presente disertación se enfocará en el método general de diseño presentado por el “Bureau of Reclamation” debido a la versatilidad que presenta este para su aplicación en un proyecto específico. Se deberá recomendar discreción para la selección de este u otro método de diseño para un perfil, dependiendo de las condiciones específicas del proyecto y de la experiencia del usuario como ingeniero diseñador.

Este perfil seguirá una forma similar a la observada en la lámina inferior del flujo de agua en vertederos de cresta delgada, esta fue definida mediante una fórmula matemática expuesta por el “Bureau of Reclamation”, esta fórmula es:

$$\frac{Y}{H_o} = -k * \left(\frac{X}{H_o}\right)^n \quad (2-1)$$

Donde:

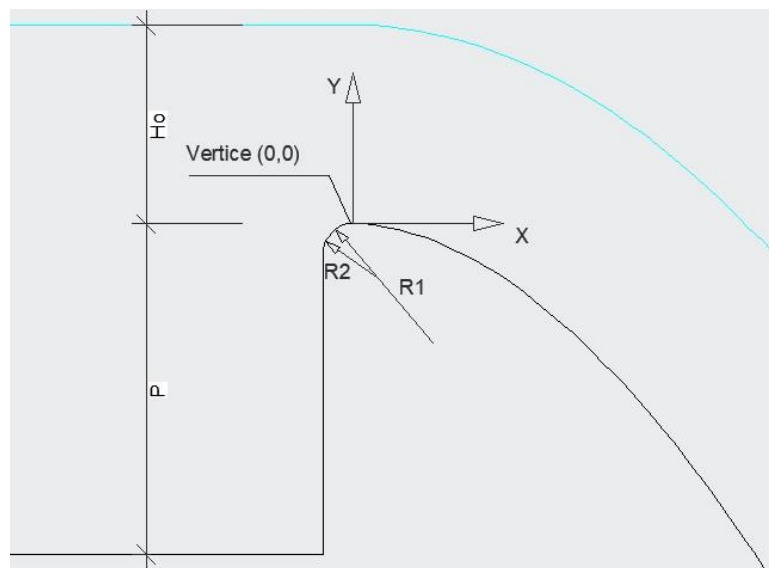
Y es la coordenada en elevación del perfil

X es la coordenada en el eje longitudinal del perfil

H_o es la carga máxima sobre el vertedero

n y k son los coeficientes de forma para el perfil (Bureau of Reclamation, 1987)

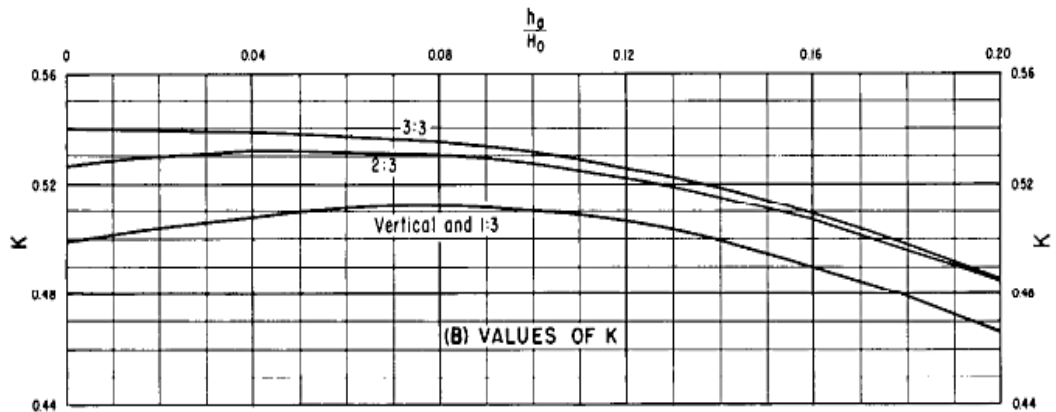
Figura 2.3: Corte transversal de un vertedero con perfil Kreager



Fuente: El Autor

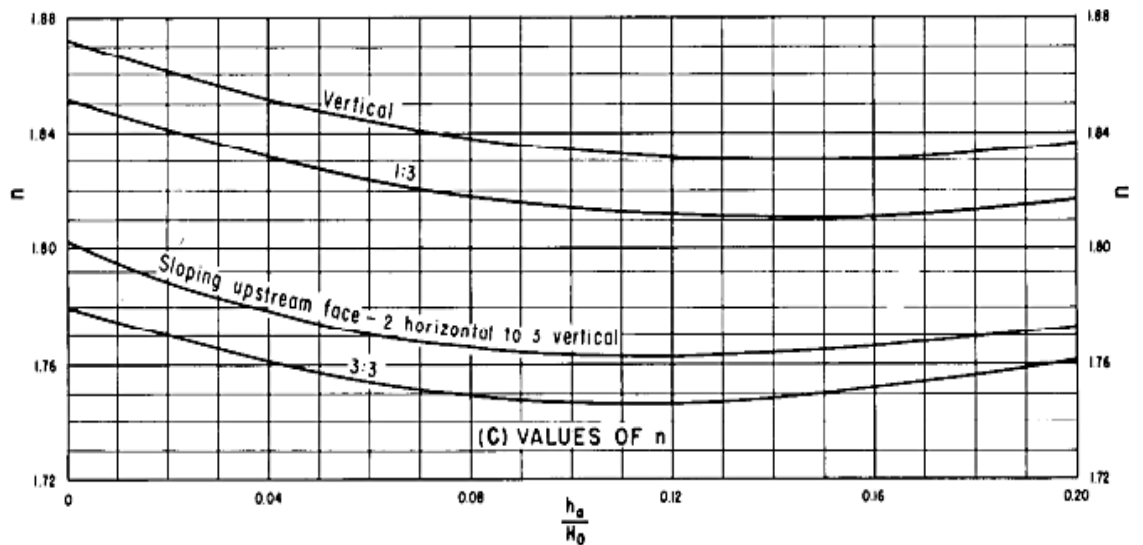
Los valores de k y n son definidos mediante ábacos desarrollados por el “Bureau of Reclamation” bajo diferentes condiciones. Estos coeficientes dependerán de la relación de energía del flujo para las condiciones de diseño del perfil, siguiendo las recomendaciones del “Bureau of Reclamation” dentro de los siguientes ábacos:

Figura 2.4: Valores del coeficiente k



Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

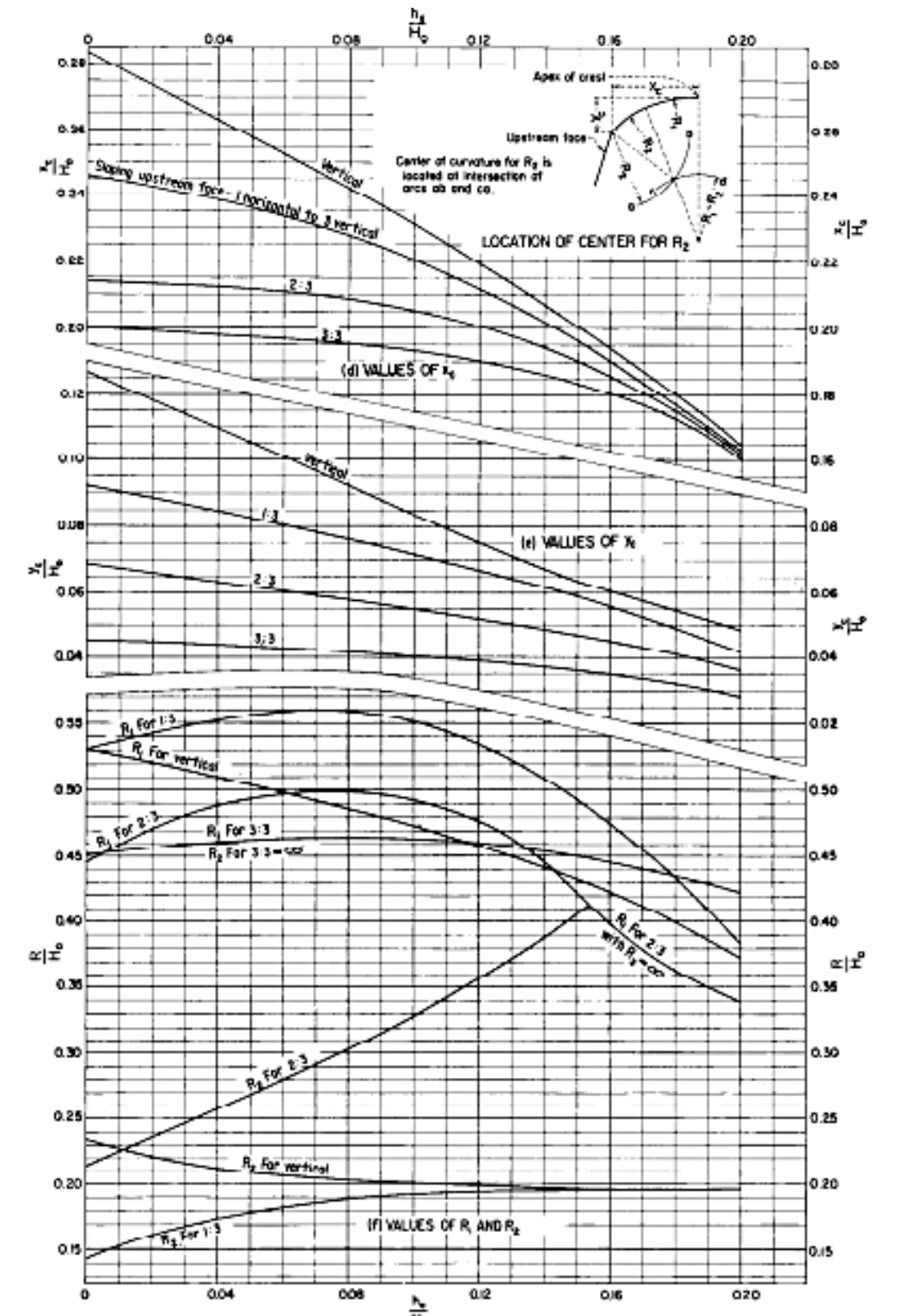
Figura 2.5: Valores del coeficiente n



Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

De la misma manera, el perfil del azud se compone de un redondeo previo al vértice de inicio del perfil Kreager, este redondeo permite un mejor comportamiento de la lámina en el vertedero. El redondeo está definido mediante los ábacos siguientes:

Figura 2.6: Factores para definir la aproximación al vértice del perfil Kreager



Fuente: (Bureau of Reclamation, 1987)

De la ecuación 2-1 se sabe que, los valores de n y k , son coeficientes que ajustan la expresión a la forma de la lámina inferior que pasa sobre el vertedero; además se conoce que X y son los valores de las coordenadas del perfil, y el elemento restante para determinar el valor de H_o en cuyo caso específico se determina en función del coeficiente de descarga y la altura del paramento del perfil aplicando las siguientes expresiones.

La determinación del valor de la carga piezométrica sobre el vertedero (h_o) se realizará mediante la expresión:

$$h_o = \frac{Q_{max}^2}{2gL^2(P + h_o)^2} \quad (2-2)$$

Donde:

P es la altura del paramento del vertedero

g es la aceleración de la gravedad

Q_{max} es el caudal de máxima crecida del río

L es la longitud del vertedero

La carga piezométrica es la carga energética en un punto dado sin tener en cuenta la carga energética producida por la velocidad de flujo. (Bureau of Reclamation, 1987)

Según Gehy se puede determinar el coeficiente de descarga mediante la relación P/H_o , donde P es la altura del paramento, mientras que el H_o es la carga de diseño del vertedero. (García, 2000). Estas relaciones son:

Cuando $0 \leq \frac{P}{H_o} < 0.5$

$$c_0 = -2.025 \left[\frac{P}{H_o} \right]^2 + 2.8 \left[\frac{P}{H_o} \right] + 1.704 \quad (2-3)$$

Cuando $0.6 \leq \frac{P}{H_o} < 2.5$

$$c_0 = -2.025 \left[\frac{P}{H_o} \right]^2 + 2.8 \left[\frac{P}{H_o} \right] + 1.704 \quad (2-4)$$

Cuando $\frac{P}{H_o} > 2.5$

$$c_0 = 2.18 \quad (2-5)$$

Donde:

P es la altura del paramento

H_o es la carga de diseño de vertedero

$\frac{P}{H_o}$ es la relación entre la altura del paramento del vertedero y la carga de diseño del

vertedero

Al determinar el coeficiente de descarga para el perfil Kreager, podemos utilizar la ecuación general de descarga en vertederos para determinar de manera teórica el valor de H_o. Esta ecuación es:

$$Q = c_0 * B_r * H_o^{3/2} \quad (2-6)$$

Donde

Q_{max} es el caudal de máxima crecida en el río a ser aprovechado para un proyecto

H_o es el calado sobre el vertedero

c₀ es el coeficiente de descarga del vertedero

B_r es el ancho del río (longitud del vertedero).

El valor del ancho del vertedero tendrá que ser determinado mediante estudios previos orientados a la selección del sitio de implantación del proyecto. De la misma manera el calado sobre el vertedero será el máximo calado sobre el vertedero para el caudal máximo de diseño (H_o). (Chow, 1994).

La determinación de la relación entre la carga piezométrica y la carga energética total sobre el vertedero permitirá la determinación de los coeficientes n y k mediante los ábacos de las figuras 2.4 y 2.5 respectivamente.

Aguas debajo del perfil, se realizará mediante una curva circular desde el punto de tangencia del perfil hasta el fondo del cuenco disipador de energía, de esta manera la transición hacia el cuenco disipador será menos turbulenta haciendo que la disipación de energía se realice en la zona horizontal del cuenco.

2.3.2. Cuenco disipador de energía

Siempre que un cauce (río) es obstruido con una estructura, como dique, se genera una diferencia de energía aguas arriba y abajo de la misma que actúa sobre el material del cauce erosionándolo y pudiendo poner en peligro las obras, además, pone en riesgo la zona aguas debajo del punto de cierre de un proyecto. Debe por tanto protegerse el cauce disipando la energía antes de que llegue a la zona no protegida del cauce. (Krochin, 1986)

Estas variaciones de energía dependen de varios factores entre los que se pueden mencionar:

- Caudal del río
- Diferencia de nivel por la estructura
- Condiciones hidráulicas del río
- Tipo de material del cauce
- Materiales de construcción disponibles

Los tres primeros puntos se combinan en uno solo, la energía que contiene el agua. También es frecuente el caso en el cual para grandes caudales el calado aguas abajo del río aumenta hasta llegar a sumergir la obra. (Krochin, 1986).

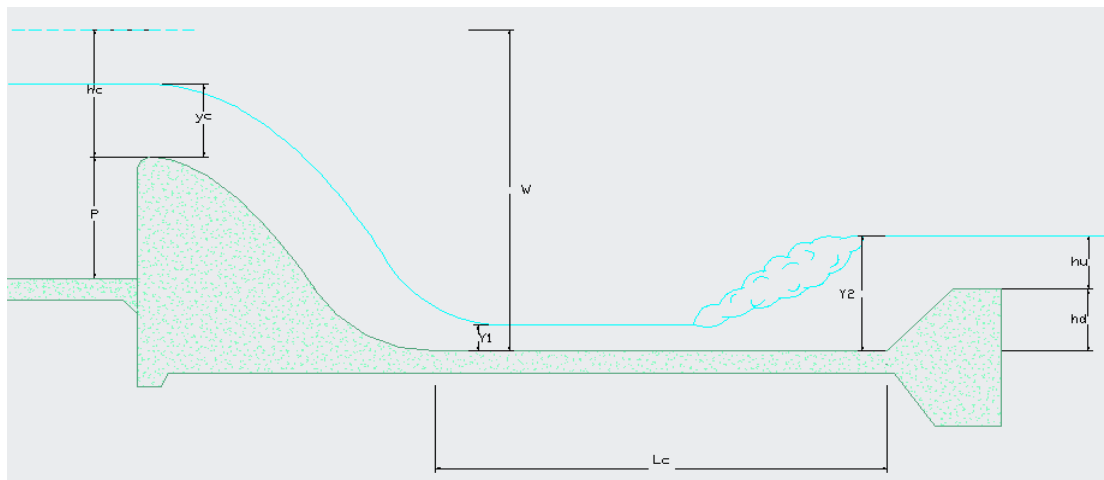
El proceso de disipación de energía se realiza aprovechando el efecto de disipación en un resalto hidráulico. En 1818, el italiano Bionde realizó las primeras investigaciones experimentales en el tema. De ahí en adelante muchos autores han realizado numerosos estudios citando sus resultados en bibliografía publicada. (Chow, 1994).

Las aplicaciones prácticas del resalto hidráulico son muchas; se utilizan para: disipación de la energía en presas, vertederos y otras estructuras hidráulicas, además de prevenir la socavación aguas debajo de estructuras, permite recuperar o aumentar el nivel de agua en el lado aguas debajo de una canaleta de medición , mantener un nivel alto en un canal de irrigación o cualquier estructura de distribución de aguas,

incrementar el peso sobre la zona aguas abajo de una estructura de mampostería y reducir la presión hacia arriba de dicha estructura aumentando la profundidad del agua en la zona aguas abajo, aumentar el caudal por debajo de una compuerta deslizante manteniendo alejada la profundidad aguas abajo, debido a que la altura efectiva se reducirá si la profundidad de aguas abajo se ahoga en el resalto, indica condiciones especiales de flujo, como la existencia de flujo supercrítico o la presencia de una sección de control, de tal manera que pueda localizarse una estación de aforo, permite realizar la mezcla de químicos utilizados para la purificación de agua, airear el agua en sistemas de suministros urbanos y remover bolsas de aire en las líneas de suministro de agua y prevenir el taponamiento por aire. (Chow, 1994).

La metodología para la determinación del resalto hidráulico y las dimensiones del cuenco disipador están derivadas de la ecuación de Bernoulli para determinar el calado contraído y conjugado del resalto, las expresiones que permiten la determinación de estos valores se describen a continuación:

Figura 2.7. Esquema para la determinación del resalto hidráulico y la longitud del cuenco disipador



Fuente: (Krochin, 1986)

El calado crítico (y_c) sobre el vertedero será determinado mediante:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{max}^2}{g * Br^2}} \quad (2-7)$$

Donde:

y_c es el calado crítico sobre el vertedero

g es la aceleración de la gravedad

Br es el ancho del río

La carga energética crítica (h_c) sobre el vertedero es:

$$h_c = 1.5 * y_c \quad (2-8)$$

La energía total sobre el vertedero (E) está determinado por la altura del paramento (P) del vertedero y la carga crítica sobre el vertedero (h_c) de la siguiente manera:

$$E = P + h_c \quad (2-9)$$

El calado contraído (y_1) aguas abajo del vertedero se determinará despejando este de la siguiente expresión:

$$E = y_1 + 1.1 * \frac{Q_{max}^2}{2 * g * y_1^2 * Br^2} \quad (2-10)$$

Donde:

y_c es el calado crítico sobre el vertedero

g es la aceleración de la gravedad

Br es el ancho del río

y_1 es el calado contraído

Tomando en cuenta las pérdidas en el sistema de un 10%, una vez determinado el calado contraído se determina el calado conjugado (y_2) del resalto con la expresión:

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2 * Q_{max}^2}{g * Br^2 * y_1}} \quad (2-11)$$

Donde:

y_c es el calado crítico sobre el vertedero

g es la aceleración de la gravedad

Br es el ancho del río

y_1 es el calado contraído

y_2 es el calado conjugado

La longitud del resalto (L_r) se determina mediante la siguiente expresión:

$$L_r = L_s + (y_2 - y_1) \quad (2-12)$$

El valor de la longitud de seguridad (L_s) se encuentra entre los valores de 4.5 a 5 dependiendo de la importancia de la obra se determinará este coeficiente, pero se preferirá utilizar un valor de 5 para aproximaciones iniciales.

Al final de este elemento se coloca un dintel, mismo que mejora las características estructurales del azud además de contribuir a la disipación de energía del cuenco. Este funciona como un vertedero de pared gruesa sumergido, su proceso de cálculo y dimensionamiento se expresa de la siguiente manera:

Se determina la velocidad en la contracción del flujo (V_1) mediante la expresión recomendado por el “Bureau of Reclamation”, esta expresión se define como:

$$V_1 = \sqrt{2 * g * (Z - 0.5 * h_c)} \quad (2-13)$$

Donde:

V_1 es el calado crítico sobre el vertedero

g es la aceleración de la gravedad

Z es la carga total antes del resalto

h_c es el calado crítico

Se debe determinar también el Número de Froude (F_1) en el punto de la contracción del flujo mediante la expresión:

$$F_1 = \frac{V_1}{(g * y_1)} \quad (2-14)$$

Donde:

V_1 es el calado crítico sobre el vertedero

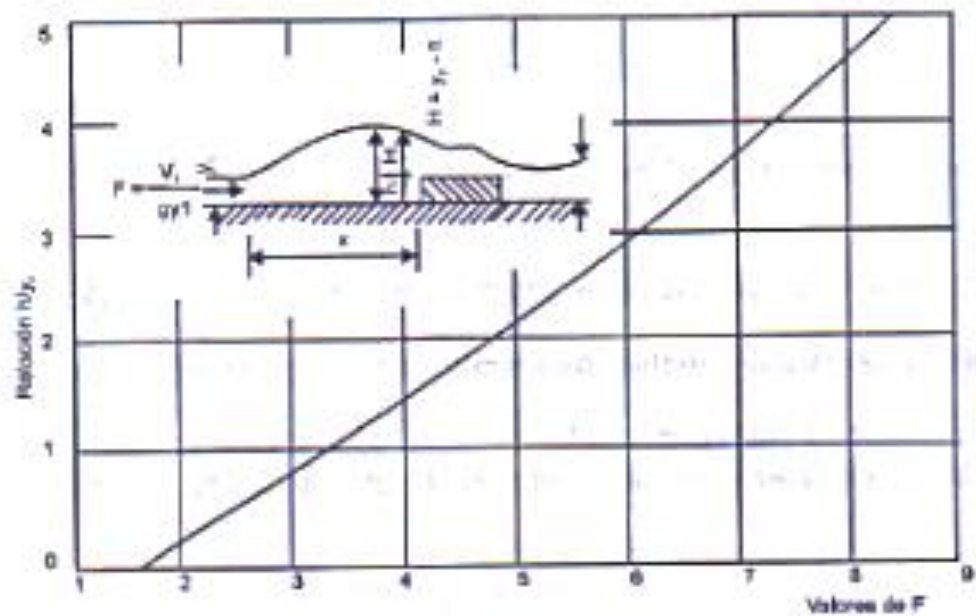
g es la aceleración de la gravedad

y_1 es el calado contraído

F_1 es el número de Froude

Ingresando a la gráfica 2.8 donde se establece la relación entre el número de Froude y h/y_1 se determina la altura del dintel de salida del cuenco dissipador, además del calado de salida en el mencionado dintel. (Corcho, 2005)

Figura 2.8: Relación F vs h/y_1



Fuente: (Corcho, 2005)

2.4. Diseño de rejillas

Previo a la compuerta de admisión en un proyecto de aprovechamiento hídrico es conveniente colocar una reja para impedir el ingreso de material sólido de diámetros nominales importantes además de material flotante hacia los demás elementos que componen una obra de captación. (Ortiz, 2001).

Existen dos tipos de rejillas de captación, los cuales definen el tipo de captación para un proyecto específico:

- Rejillas laterales
- Rejillas de fondo

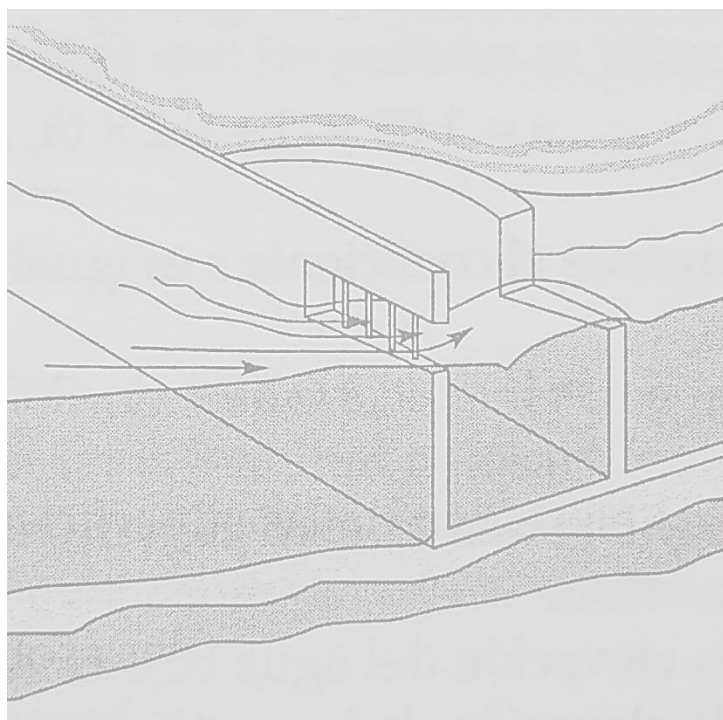
Cada tipo tiene un método específico de diseño y permiten la derivación del caudal de diseño de un proyecto de aprovechamiento, estos métodos se presentan a continuación, basándose en la bibliografía especializada.

2.4.1. Rejillas laterales

Este elemento se instala en una de las orillas de la obra de captación, en uno de los muros de ala, y se componen de un conjunto de barrotes colocados en una ventana para poder captar el caudal de diseño de un proyecto. Estos barrotes deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el impacto de troncos y material flotante grueso arrastrado de manera ocasional por la corriente. Debe sobresalir de la cara del muro

para facilitar la limpieza de materiales que pueda tapar la misma afectando el funcionamiento de este elemento.

Figura 2.9: Corte transversal típica de una captación convencional



Fuente: (Ortiz, 2001)

Este elemento debe guardar cierta distancia aguas arriba del azud para facilitar el proceso constructivo de las obras, para tener espacio suficiente para la colocación de una ataguía. (García, 2000).

Los barrotes pueden ser de varios materiales, barras de acero o concreto, con un ancho mayor a los 10 cm.

El proceso de diseño de la rejilla lateral inicia determinando la longitud libre de la misma, conocida también como ancho libre de la rejilla y se calcula a partir de la expresión general definida para vertederos de pared delgada.

$$Q = c_0 * L * H_0^{3/2} \quad (2-6)$$

Donde:

Q es el valor del caudal que pasará sobre el vertedero

c_0 es el coeficiente de descarga del vertedero

L es la longitud del vertedero

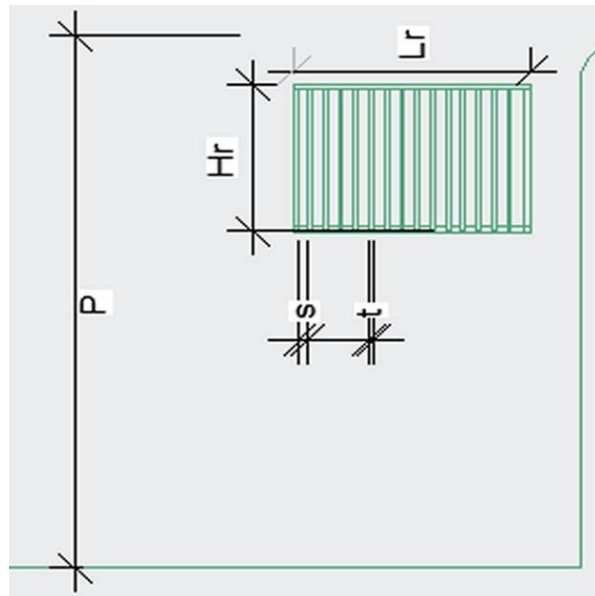
H_0 es el calado sobre el vertedero

El coeficiente de descarga es una constante compuesta de muchos factores, este puede contemplar factores específicos para el cálculo de este elemento hidráulico, en este caso, debemos considerar los efectos producidos por la obstrucción ocasionada por los barrotes y el efecto de sumergencia de la ventana.

En estiaje el vano de la rejilla funciona como un vertedero. La carga necesaria para el vertedero viene del remanso producido por el azud. Este vertedero trabajará sumergido y con un desnivel pequeño entre las dos superficies de agua. (Krochin, 1986).

Debido a este estado de funcionamiento de la rejilla es que se tiene en cuenta el efecto de sumergencia en el diseño de la misma.

Figura 2.10: Esquema general de los elementos de una rejilla lateral



Fuente: El Autor

Así mismo en los eventos de crecida la mayor parte del material sólido pasa por el azud y no ingresará a la rejilla debido a que esta se encuentra sumergida. (Krochin, 1986).

Teniendo en cuenta estos factores, se tiene una expresión que toma en cuenta estos elementos, cual es:

$$Q_D = K * S * c_0 * L_R * H_r^{3/2} \quad (2-15)$$

Donde:

Q_D es el caudal de diseño

K es el coeficiente de pérdida

S es el coeficiente de sumergencia

c_0 es el coeficiente de descarga

L_R es la longitud de la rejilla

H_r es la altura de la rejilla

Los varios coeficientes que intervienen en la ecuación 2.15 deben ser determinados mediante metodologías recomendadas en la bibliografía especializada, para el propósito de esta disertación se utilizarán las metodologías recomendadas por Sviatoslav Krochin, mismo que recomienda el uso de las expresiones de Bazín y Villemonte para cada uno de estos coeficientes. Teniendo de esta manera las siguientes expresiones para los coeficientes.

Para la determinación del coeficiente de descarga utilizaremos la expresión de Bazín mostrada a continuación:

$$c_0 = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H_r}\right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{H_r}{H_r + P}\right)\right] \quad (2-16)$$

El coeficiente de sumergencia se determinará mediante la expresión propuesta por Villemonte (Krochin, 1986), esta expresión es:

$$S = \left[1 - \left(\frac{h_n}{H_r}\right)^{3/2}\right]^{0.385} \quad (2-17)$$

De estas ecuaciones se conoce que:

c_0 es el coeficiente de descarga para vertederos

H_r es la altura de la rejilla

P es la altura del paramento

h_n es la pérdida esperada por sumergencia

Además se determinará el caudal de diseño de la rejilla como un 10% adicional al caudal de diseño del proyecto, medida que se aplica y recomienda para alcanzarse los resultados en la realidad, debido a la naturaleza compleja del análisis de vertederos y en general de la hidráulica experimental, conceptos que permitieron determinar las expresiones utilizadas para el dimensionamiento de varios de los elementos que componen una captación y como elemento especial, la rejilla, debido a la variabilidad de los diferentes elementos que controlan el funcionamiento de este, factores como la obstrucción y el mismo coeficiente de descarga del vertedero de la rejilla, aumentan la incertidumbre sobre los valores tomados para el dimensionamiento final de una rejilla y en general, de vertederos y otras varias estructuras hidráulicas utilizadas en la práctica.

Se determinará el caudal de diseño de la rejilla mediante la siguiente expresión:

$$Q_D = 1.1 * Q_{dis} \quad (2-18)$$

Entre las consideraciones a tener en cuenta para la definición de las dimensiones finales de la rejilla de captación podemos resaltar las siguientes:

- El dintel que sostiene a los barrotes en la parte superior es una viga de hormigón armado que debe soportar el empuje horizontal del agua en crecientes. Este dintel se apoya en sus extremos y en casos en el que este tenga una longitud considerable, se deberá colocar contrafuertes intermedios que dividirán a la rejilla y mejorarán las condiciones estructurales de este dintel; En resumen, mientras más baja y ancha la rejilla resultará más costoso este dintel.
- La altura del azud debe ser la suma total de la altura del umbral desde el fondo del cauce más la altura de los barrotes de la rejilla, de esta manera también afectará en la economía del proyecto las dimensiones finales de la rejilla de captación.

Como recomendación final, se procure dar cierta inclinación al muro sobre el cual se ubica la rejilla en función de la dirección del cauce, tanto para acortar la longitud hacia los terrenos altos aledaños al sitio de captación, como para mejorar las condiciones hidráulicas.

El proceso de cálculo de la rejilla inicia determinando la separación entre barrotes (s) y el ancho de los mismos (t).

Después se debe determinar los coeficientes de descarga y sumergencia, para colocarlos en la expresión 2.15 para de esta manera determinar la longitud de la rejilla (L_e).

Una vez determinada la longitud sin obstrucción de la rejilla, se procede a determinar la longitud efectiva mediante la siguiente expresión:

$$L_e = \frac{L_R}{t} \quad (2-19)$$

Donde:

L_e es la longitud efectiva de la rejilla

L_R es la longitud libre de la rejilla (calculada en la expresión 2.15)

t es el espesor de los barrotes

La determinación del coeficiente de sumergencia para este caso se debe determinar mediante conocimiento previo y experiencia del diseñador sujetándose a las condiciones específicas de un proyecto, para el caso de las primeras aproximaciones se recomienda un valor del 30% de obstrucción.

Al determinar la longitud real de la rejilla se procede a definir el número de barrotes (n) y el número de espacios (N) espacios en la rejilla mediante las expresiones descritas a continuación:

$$N = \frac{L_R * f}{s} \quad (2-20)$$

$$n_r = N - 1 \quad (2-21)$$

Se debe comprobar la longitud total mediante la siguiente expresión. (García, 2000).

$$L_c = N * s + n * t \quad (2-22)$$

Donde:

N es el número de espacios en la rejilla

n_r es el número de barrotes de la rejilla

L_c es la longitud total de la rejilla

Una vez determinadas las dimensiones finales de la rejilla se debe determinar las pérdidas producidas por el paso en la rejilla para de esta manera determinar el nivel de operación en el desripiador, esta pérdida se la calcula como una pérdida menor en la ecuación general de energía, Bernoulli, mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = k * \frac{v^2}{2 * g} \quad (2-23)$$

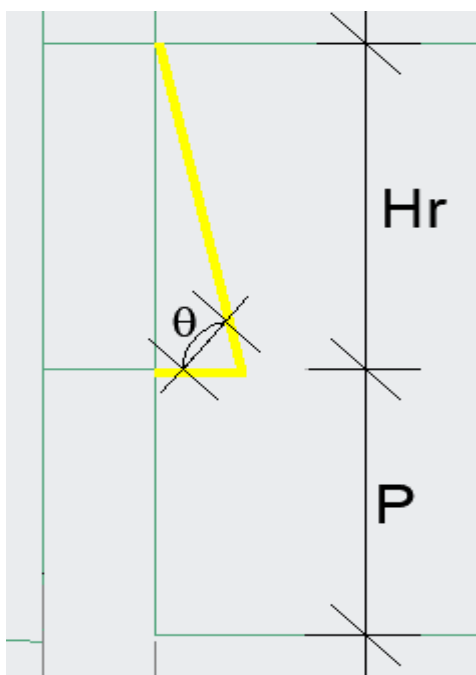
Existen varios métodos desarrollados para la determinación del coeficiente “k” de las pérdidas por el paso del caudal por la rejilla de captación. Este coeficiente encierra los efectos sobre el flujo producido por la forma, espesor, separación entre los barrotes que forman la rejilla, la inclinación de la rejilla con la horizontal y la inclinación de la rejilla con la dirección del flujo en el cauce principal.

Para propósitos de desarrollo de la presente disertación se aplicará el método de cálculo de pérdidas propuesto por el “Bureau of Reclamation” en el que la expresión que determina las pérdidas en el régimen de flujo por la rejilla se define así:

$$h_{fr} = 1.32 \left[\frac{t \cdot v}{s+t} \right] \text{sen}(\theta) (\text{sen}^{-1}(\delta)) \frac{15}{8} \quad (2-24)$$

De esta expresión se debe conocer el espesor de los barrotes (t), la separación de los barrotes (s), además del ángulo de inclinación de la rejilla con la horizontal (θ) y el ángulo de inclinación de la rejilla con respecto a la dirección de flujo del cauce a ser aprovechado (δ). Esta expresión deberá ser trabajada en pulgadas y grados sexagesimales, limitación determinada debido al desarrollo experimental de la misma.

Figura 2.11: Corte transversal esquemático de una rejilla lateral



Fuente: El Autor

Se recomienda que, para facilitar la limpieza de los sedimentos, el plano de la reja no tenga un ángulo superior a los 20° con la dirección del canal de limpieza (Bureau of Reclamation, 1987)

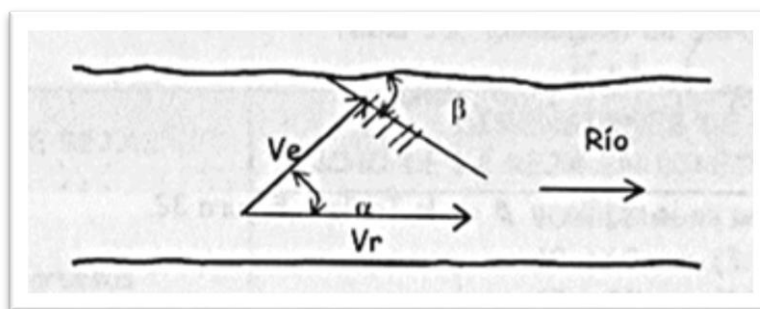
Se deberá determinar el ángulo de inclinación de la reja (α) a la dirección del río en función de las velocidades, de entrada al canal (rejilla) y de la velocidad media del río, este ángulo se determina mediante la siguiente relación:

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{v_r}{v_e} \right) \quad (2-25)$$

Donde v_r es la Velocidad media del río en el sentido del cauce

v_e es la Velocidad de entrada a la rejilla. (García, 2000).

Figura 2.12: Ángulo de inclinación de la rejilla



Fuente: (García, 2000)

2.4.2. Rejilla de fondo

Es un elemento colocado en la cresta del azud de manera horizontal con una pequeña inclinación ubicada sobre la galería de captación, como la rejilla está ubicada en la parte más baja del azud que cierra el cauce natural del río cualquiera que sea el caudal que pase, el agua tendrá que pasar forzosamente sobre la rejilla. (Krochin, 1986).

Este tipo de rejillas se colocan en obras de captación para el aprovechamiento de ríos principalmente de montaña, mismos que cumple con las siguientes características:

- Las pendientes longitudinales de ríos con fuertes pudiendo llegar al 10% o inclusive en algunos casos, a mayores pendientes.
- Creciente súbitas causadas por aguaceros de corta duración con una cantidad importante de rocas arrastradas por el cauce.
- Grandes variaciones diarias de caudal cuando los ríos provienen de nevados.
- Pequeño contenido de sólidos finos suspendidos en el cauce y agua relativamente limpia en temporadas de estiaje.

Debido a estas características de los ríos las obras de toma convencionales (con rejilla lateral) tienen las siguientes desventajas:

- El azud debe estar levantado a cierta altura sobre el fondo del río para poder captar agua, teniendo como consecuencia el necesario uso de obras de disipación de energía bastante costosas.

- La compuerta de purga tiene una baja eficiencia y siempre algunas rocas se quedarán en la reja de captación. Se deberán realizar operaciones de mantenimientos constantes y cuidadosos, de no ser así, los sedimentos comenzarían a tapar la reja conllevando una importante cantidad de perjuicios para la obra de captación. (Krochin, 1986)

De esta manera la concepción de este tipo de captaciones comprende tres partes:

Un tramo en la orilla opuesta del canal que se compone de un azud macizo sobre el cual se vierte el agua de las crecientes.

Un tramo hueco que contiene en su interior la galería de captación misma que conducirá el agua captada hacia las demás obras que componen una captación.

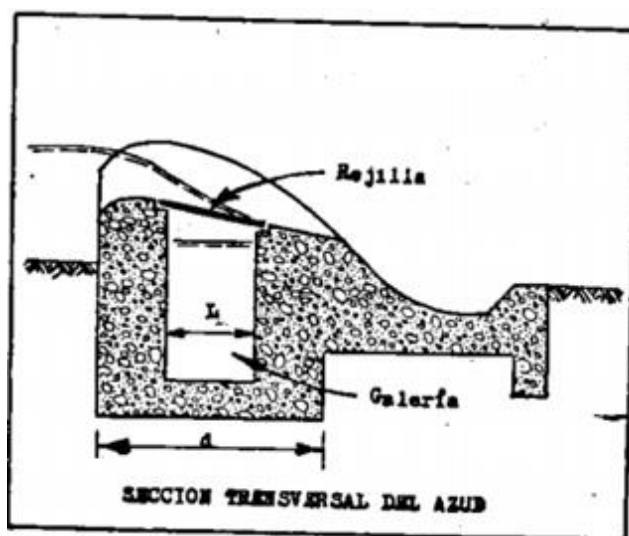
A continuación de la presa (azud) se construye un zampeado (cuenco disipador) diseñado mediante los métodos mencionados anteriormente.

Debido a que la rejilla es el elemento más bajo de la presa que cierra el río, cualquiera que sea el caudal del mismo, este deberá pasar forzosamente sobre ella. Gracias a esto se puede colocar a cualquier altura el azud facilitando los procesos constructivos y optimizando los costos debido a la reducción en las dimensiones finales del azud, y demás obras de control en el cauce del río.

La facilidad con la que se obstruye la rejilla con material flotante representa la principal desventaja cuando se coloca este tipo de rejillas.

Generalmente estas rejillas están construidas con barras de hierro de sección rectangular o trapezoidal, colocadas paralelas al sentido de flujo del río, pero se han considerado el uso de barras con secciones tipo T, para evitar la deformación de las mismas, inclusive el uso de placas metálicas perforadas, pero estas últimas, modifican la dimensión final de la rejilla de captación al aumentar su tamaño de manera considerable.

Figura 2.13: Sección transversal para captaciones con rejilla de fondo



Fuente: (Krochin, 1986)

La rejilla debe tener una inclinación con la horizontal entre 0 a 20% pero se puede considerar hasta un valor de inclinación de un 40% en casos particulares. (Krochin, 1986).

La determinación de las dimensiones finales de la rejilla de captación se realiza mediante la aplicación de las siguientes expresiones:

$$Q_D = 3.20 (c_{rf} * k_{rf})^{3/2} * (b_{rf} * L_{rf})^{3/2} \quad (2-26)$$

Donde:

Q_D es el caudal de diseño de la rejilla de fondo

c_{rf} es el coeficiente de contracción de la rejilla de fondo

k_{rf} es el coeficiente de obstrucción de la rejilla de fondo

b_{rf} es el ancho de la rejilla de fondo

L_{rf} es la longitud de la rejilla de fondo

Para propósitos de diseño es necesario determinar las dimensiones finales de la rejilla, es decir, longitud y ancho de la misma, debido a esto se utilizará la siguiente expresión para determinar el ancho de la rejilla:

$$b_{rf} = \frac{0.313}{(c_{rf} * k_{rf})^{3/2}} * \frac{Q_D}{L_{rf}^{3/2}} \quad (2-27)$$

$$Q_D = 1.10 * Q_{dis} \quad (2-28)$$

Para determinar los valores de los coeficientes c_{rf} y k_{rf} se debe dar uso a las siguientes expresiones:

$$c_{rf} = C_{0r} - 0.32 * i \quad (2-29)$$

Donde:

$$i = \tan(\alpha) \quad (2-30)$$

$$C_{0r} = 0.6 \text{ para } s/t > 4$$

$$C_{0r} = 0.5 \text{ para } s/t < 4$$

α es el ángulo de inclinación de la rejilla en con respecto a la horizontal

C_{0r} es el coeficiente de contracción por la geometría de los barrotes

$$k_{rf} = (1 - f) * \frac{s}{s+f} \quad (2-31)$$

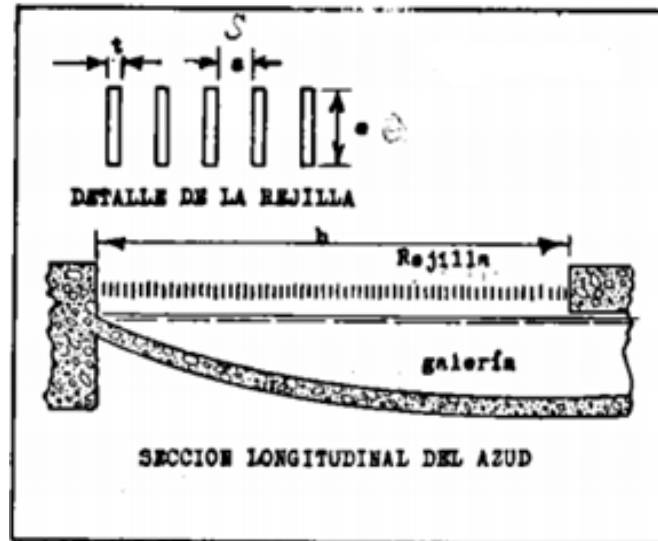
k_{rf} es el coeficiente de obstrucción en la rejilla

f es el porcentaje de la rejilla que quedara obstruida por rocas y arena se toma valores entre 15% a 30%. (Burbano, 1990).

2.4.3. Galería de captación (solo toma de fondo)

El flujo en la galería ubicada debajo de la rejilla de fondo, es un caso de flujo con un caudal variable en la ruta, para el cual, no se ha determinado una solución o metodología exacta, motivo por el cual se han desarrollado metodologías aproximadas que permiten definir la forma aproximada de esta galería y se acercan de manera numérica a la realidad de este tipo de flujo.

Figura 2.14: Sección longitudinal de la galería de captación y rejilla de fondo



Fuente: (Krochin, 1986)

Como base para la determinación de la geometría de este elemento, usaremos el método de Zamarin, mismo que efectúa un conjunto de aproximaciones para determinar las cotas del fondo de la galería de captación. (Krochin, 1986).

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

La longitud total de la galería se divide en partes iguales ΔX y se calculará el caudal de cada uno de esos puntos mediante la expresión:

$$Q_x = \frac{Q_D}{b_{rf}} x \quad (2-31)$$

Donde:

Q_x Caudal en la coordenada longitudinal de la galería

X coordenada longitudinal de la galería

Para asegurar que todas las partículas sólidas suspendidas en el caudal captado sean arrastradas hacia las cámaras de desripación y desarenación, se debe tener en cuenta que el promedio de velocidad en la galería debe ser alto, el mismo que se comprueba mediante la expresión:

$$V > 3\sqrt{g * s} \quad (2-32)$$

Donde v es la velocidad en la galería, g aceleración de la gravedad, y s espaciamiento entre barrotes.

Para cumplir esta premisa, se recomienda iniciar con una velocidad de 1 m/s y una velocidad entre 2 a 3 m/s en la parte final de la galería de captación.

Por ende, la velocidad en cada punto de la galería se determinará mediante la expresión:

$$V_x = \frac{V_f - V_0}{b} + V_0 \quad (2-33)$$

Donde:

V_x es la velocidad en la coordenada X de la galería de captación

V_f es la velocidad al final de la galería de captación

V_0 es la velocidad al inicio de la galería de captación

La relación entre el caudal y la velocidad determina el área y por ende el calado necesario para el caudal de cada punto de la galería.

Asumiendo que toda la energía del agua cae a través de la rejilla y esta se disipa en la mezcla turbulenta del agua dentro de la galería. El movimiento se produce por tanto, únicamente por el efecto de la gradiente hidráulica en la galería, para determinar esta gradiente usaremos la fórmula de Chezy:

$$J = \frac{V_x^2}{C^2 * R} \quad (2-34)$$

Donde:

J es el valor de la gradiente hidráulica en cada punto de la galería de captación

V_x es la velocidad en de flujo en cada punto de la galería de captación

C es el coeficiente de rugosidad de Manning

R es el radio hidráulico de la sección en cada punto de la galería de captación

Los valores de C pueden obtenerse de la fórmula de Manning donde R representa el radio hidráulico del canal y n_m es el valor del coeficiente de Manning determinado en la tabla 2.1. (Krochin, 1986).

$$C = \frac{1}{n_m} R^{1/6} \quad (2-35)$$

Tabla 2.1: Valores del coeficiente de rugosidad n_m para los materiales más comunes en obras hidráulicas

Tipo de canal descripción		Mínimo	Normal	Máximo
1	Conductos de metal que fluyen parcialmente llenos			
	Metal			
	Latón liso	0,009	0,01	0,013
	Metal corrugado	0,021	0,024	0,03
	Cemento			
	Superficie pulida	0,01	0,011	0,013
	Mortero	0,011	0,013	0,015
	Arcilla			
	Alcantarilla vitrificada	0,011	0,014	0,017
2	Canales revestidos			
	Metal			
	Superficie lisa de acero sin pintar	0,011	0,012	0,014
	Superficie lisa de acero pintada	0,012	0,013	0,017
	Corrugado	0,021	0,025	0,03
	Madera			
	Cepillada, sin tratar	0,01	0,012	0,014
	Cepillada creosotada	0,011	0,012	0,015
	Forrada con impermeabilizante	0,01	0,014	0,017
	Concreto			
	Terminado con llana metálica	0,011	0,013	0,015
	Terminado con llana de madera	0,013	0,015	0,016
	Asfalto			
	Liso	0,013	0,013	
	Rugoso	0,016	0,016	

3 Excavación o dragado				
En tierra, recto y uniforme				
	Limpio, recién terminado	0,016	0,018	0,02
	Con pastos cortos y malezas	0,022	0,027	0,033
En tierra, sinuoso y lento				
	Sin vegetación	0,023	0,025	0,03
	Fondo pedregoso y bancas con maleza	0,025	0,35	0,04
Con pala o dragado				
	Sin vegetación	0,025	0,028	0,033
	Matorrales ligeros	0,035	0,05	0,06
Cortes en roca				
	Lisos y uniformes	0,025	0,035	0,04
	Afilados e irregulares	0,035	0,04	0,05

Fuente: (Chow, 1994)

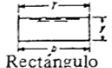

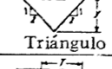
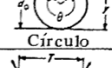
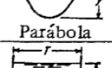
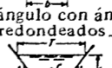
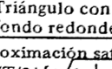
El valor del radio hidráulico (R), se define mediante la relación entre el área mojada y el perímetro mojado de la sección de flujo sobre un canal, de esta manera el radio hidráulico se define mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{A_m}{P_m} \quad (2-36)$$

En esta expresión, el término A_m corresponde al área mojada transversal del canal, mientras que el término P_m es el perímetro mojado del canal analizado.

En la tabla 2.2 se resumen las principales características geométricas de varias secciones típicas de canales abiertos, características que permitirán determinar el radio hidráulico de estas secciones. (Giles, 2003).

Tabla 2.2: Características geométricas para varias secciones de canales

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superior T	Profundidad hidráulica D	Factor de la sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.48}$
 Trapezoide	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{1.48}$
 Círculo	$\frac{3}{8}(\theta - \text{sen } \theta)d^3$	$\frac{1}{2}\theta d$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)d$	$\frac{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)d}{2\sqrt{y(d-y)}}$ or $\frac{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)d}{2\sqrt{y(d-y)}}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2}\theta}\right)d$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2}\theta}\right)^{1.48}d^{2.48}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2Ty}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{3}{8}y$	$\frac{3}{8}\sqrt{6}Ty^{1.48}$
 Rectángulo con ángulos redondeados	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{y^2}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2[x(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

*Aproximación satisfactoria para el intervalo $0 < x \leq 1$, donde $x = 4y/T$. Cuando $x > 1$, use la expresión exacta.
 $P = (T/2) [\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$.

Fuente: (Chow, 1994)

El coeficiente n se debe tomar con valores altos, entre 0.035 a 0.045 para tomar en cuenta las pérdidas adicionales que se producen por el flujo espinal y altamente turbulento dentro de la galería. Para facilitar la entrada del caudal captado a veces a la pared de aguas abajo de la galería esta describirá una curva. Las cotas de fondo de la galería se determinarán mediante la aplicación de la ecuación de Bernoulli en los puntos definidos como coordenadas X. (Krochin, 1986)

La ecuación de Bernoulli para dos puntos del flujo es:

$$\frac{V_1^2}{2 \cdot g} + d_1 + i_{\Delta x} = \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + d_2 + \sum h_f \quad (2-37)$$

Al simplificar términos bajo las condiciones de la galería y despejando $i_{\Delta x}$ como el valor de la profundidad del calado para la coordenada X. (Krochin, 1986).

$$i_{\Delta x} = \frac{V_2^2}{2 * g} + d_2 + \sum h_f \quad (2-38)$$

Las pérdidas estarán expresadas en función de la fórmula de Manning. (Giles, 2003)

Expresándose de la siguiente manera:

$$h_f = \frac{V^2}{R^{4/3}} * L \quad (2-39)$$

Las coordenadas finales de la galería son los valores de la sumatoria del calado, carga de velocidad, y pérdidas hasta el punto considerado. (Krochin, 1986).

2.5. Diseño del desripiador

El proceso de cálculo para este elemento comprende, las dimensiones (largo, ancho y profundidad) además de la energía y gradiente necesarios para el lavado de los sedimentos almacenados en esta cámara, de esta manera, el proceso de cálculo se realizará de la siguiente manera:

Debemos determinar el ancho del vertedero de salida mediante la expresión de vertederos sumergidos 2.15.

$$Q = k * S * c_0 * b_d * H_0^{3/2} \quad (2-15)$$

Al despejar la variable b_d determinaremos el ancho del vertedero de salida, el coeficiente k que representa la obstrucción de los barrotos se elimina de la ecuación, debido a que en el vertedero sumergido de salida del desripiador no se colocan barras o algún elemento que funcione como una rejilla.

$$b_d = \frac{Q}{S * C_0 * H^{3/2}} \quad (2-40)$$

Este de manera general tendrá dimensiones menores a las de la rejilla de captación y permitirá que a partir de este se coloquen los demás elementos que componen una captación. (Ortiz, 2001).

La longitud del desripiador se determinará como el necesario para la colocación de una transición entre el ancho de la rejilla y el del vertedero de salida del desripiador. Esta transición se logra al aplicar la expresión:

$$L = \frac{(b_1 - b_2)}{2 * \tan(12.5^\circ)} \quad (2-41)$$

Se determina el ángulo de transición con el valor de 12.5° , esto se explicará con más detalle en la sección correspondiente a transiciones del presente documento.

El ancho nominal del desripiador será el determinado como ancho de la rejilla calculada con la expresión 2.18 en el caso de rejillas laterales o con la expresión 2.26 para rejillas de fondo siendo entonces b_1 reemplazado por el valor del ancho del desripiador (b_d) siendo b_2 el ancho del canal de transición. (Krochin, 1986).

La profundidad de este elemento se define al determinar el calado mínimo para el lavado de esta cámara en las operaciones de limpieza de la misma.

La profundidad del desripiador se define en función de la profundidad necesaria para la operación de limpieza del mismo, esta operación se realiza mediante una compuerta colocada en el margen más cercano al cauce del río, aguas abajo del azud de derivación. Dependiendo de las características de esta compuerta se determina la altura necesaria en el desripiador para la limpieza del mismo. (Sotelo Avila, 1997).

Esta dimensión se define mediante la siguiente expresión:

$$h_d = \frac{Q^2}{c_c^2 * b_c^2 * a_c^2 * 2 * g} \quad (2-42)$$

Donde:

h_d Es la profundidad del desripiador.

Q Es el caudal del diseño de la compuerta de limpieza del desripiador.

c_c Es el coeficiente de descarga para compuertas determinado en la figura 2.21

b_c Es el ancho de la compuerta de limpieza de desripiador.

a_c Es la apertura de la compuerta.

g Es la aceleración de la gravedad.

La apertura de la compuerta deberá ser la suficiente para poder evacuar los sólidos decantados en el desripiador.

2.6. Diseño de canales y transiciones

Cada uno de estos elementos conectará a los diferentes componentes de la captación entre sí, permitiendo el paso del caudal de diseño hacia las demás obras del proyecto, obras de conducción, almacenamiento o distribución según sea el caso específico de un proyecto.

2.6.1. Canal de transición

Este elemento permite el paso del caudal captado desde el desripiador hacia las cámaras de desarenación con pendientes bajas y dimensiones suficientes para mantener características de flujo favorables para el posterior proceso de limpieza en el desarenador, este se presenta como un elemento de control del flujo y del caudal captado debido a que este presenta una sección definida y de ser necesario se podría colocar instrumental para la realización de mediciones en el mismo. Este canal generalmente, tendrá la misma sección que la definida en la ventana de salida del desripiador, salvo en algún caso específico en el que esta sección deberá someterse a un proceso de cálculo al ser necesario una sección de este canal diferente a la

determinada por la ventana de salida del desripador. Este proceso de cálculo se limita a la aplicación de la ecuación de continuidad hidráulica en condiciones controladas, esta expresión es:

$$Q = A * V \quad (2-43)$$

En esta expresión se conoce que Q es el valor del caudal, A es el valor del área transversal del flujo y V es la velocidad de flujo; esta relación es constante en todos los puntos del flujo.

Se aprovecha esta expresión debido a las condiciones específicas del régimen de flujo en este canal, estas características son: régimen permanente y uniforme (en fase de operación).

Es responsabilidad del ingeniero diseñador definir la velocidad del flujo, ya que este será el parámetro de control para este elemento de la captación, se recomienda que la velocidad de este canal oscile entre 0.7m/s a 2.0m/s para evitar la sedimentación y la erosión dentro del mismo. (Ortiz, 2001).

Este elemento tomará los criterios de diseño de conducciones en canales abiertos, para facilitar la selección de secciones, velocidades máximas, y altura de seguridad para evitar la fuga del caudal captado por sobre las orillas del canal. De esta manera se presenta la tabla 2.3 con valores recomendados de velocidad máxima para diferentes materiales y condiciones.

Tabla 2.3: Velocidades límites para el flujo en canales.

Tipo de suelo	Velocidad máxima (m/s)	
	Agua limpia	Material en suspensión
Lodo	0.10	0.15
Barro suelto	0.15	0.20
Arena fina (0.02-0.2 mm)	0.30	0.40
Arena mediana (0.2-0.5mm)	0.35	0.50
Limo arenoso (Natural)	0.40	0.60
Arena gruesa (2-5mm)	0.45	0.65
Grava muy arenosa	0.60	0.80
Limo compactado (natural)	0.70	1.00
Grava media (5-20mm)	0.80	1.15
Tierra arcillosa grasosa (natural)	1.00	1.30
Grava gruesa, piedras (20-50mm)	1.40	1.60
Piedras (50-75mm)	1.70	1.80
Cantos rodados (75-100mm)	1.90	2.00
Césped, prado, bien raciado	1.80	1.80
Tipo de revestimiento		
Concreto (materia en suspensión, mucha arena)	-	2.00
Concreto (agua sin arena)	4.00	-
Mampostería con piedras sentadas y mortero	5.00	-

Fuente: (Ortiz, 2001).

Este canal debe cumplir las siguientes recomendaciones:

- Pendiente del canal baja.
- Longitud del canal corta, de no ser así este elemento se deberá diseñar como un elemento de conducción. (Krochin, 1986).

2.6.2. Transiciones

Para reducir las pérdidas de carga originadas por el paso de una sección ancha y de poco calado, o un vertedero, a una obra de mayor calado y más estrecha, se recomienda ubicar entre ellos una transición, una estructura que progresivamente cambiará la sección de flujo del caudal captado. (Ortiz, 2001).

Se recomienda que el ángulo máximo entre el eje del canal y la línea que une los lados de la transición de salida no exceda de un valor de 12.5° . (Chow, 1994).

Este elemento deberá estar ubicado entre el desripiador y el canal de transición, de la misma manera se ubicará una transición entre el canal de transición y el desarenador. La expresión que determina la longitud de la transición se definió en la ecuación 2-44, misma que expresada de manera general será:

$$L_{tr} = \frac{b_1 - b_2}{2 * \tan(12.5^\circ)} \quad (2-44)$$

Donde:

L_{tr} Es la longitud de la transición.

b_1 Es el ancho de la sección inicial de la transición.

b_2 Es el ancho de la sección final de la transición.

La geometría final de la transición deberá ser determinada por las condiciones topográficas y específicas de un proyecto de aprovechamiento, de esta manera, se consideran tres posibles opciones de realizar esta transición:

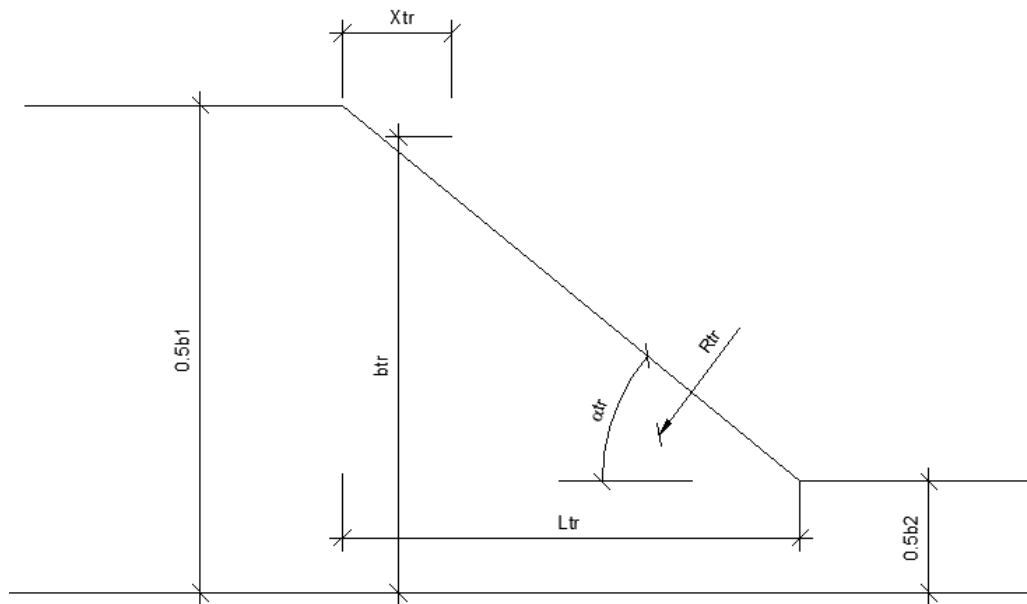
- Transición recta.
- Transición mediante cuadrantes de circunferencia.
- Transición mediante dos curvas circulares.

Cada una de la opciones se regirá a las mismas condiciones generales de funcionamiento, mismo ángulo máximo de inclinación de la transición, longitud de la transición, excepto en el caso de la transición mediante cuadrantes de circunferencia, debido a las condiciones geométricas particulares de este caso y mismas condiciones de flujo en general; la selección de uno u otro método estará determinado como se mencionó anteriormente, por las condiciones específicas de un proyecto, a continuación, se muestran las metodologías para la terminación de las coordenadas y características generales de cada uno de estos tipos de transición.

2.6.3. Transiciones Rectas

Este tipo de transiciones únicamente unen las secciones de los canales mediante el trazo de una sección de transición linealmente variada, respetando las condiciones básicas de funcionamiento generales de las transiciones, es decir, el ángulo en el que se realizará la transición y la longitud de la transición determinada en la expresión 2.44. (Krochin, 1986).

Figura 2.15: Esquema de transición recta (desarrollo personal)



Fuente: El Autor

Las expresiones utilizadas para la determinación del ancho en los puntos de la transición se muestran a continuación:

Para la primera mitad de la transición se utilizará la expresión:

$$b_x = 2 * (b_1 - X * tg(\alpha)) \quad (2-45)$$

Y para la segunda mitad de la transición se utilizará la expresión:

$$b_x = b_2 + 2 * X * tg(\alpha) \quad (2-46)$$

De estas expresiones sabemos que:

b_x Es el ancho de la transición en el punto X .

b_1 Es el ancho inicial de la transición.

b_2 Es el ancho final de la transición.

X Es el valor de la longitud de la transición donde se va a determinar el ancho de la misma.

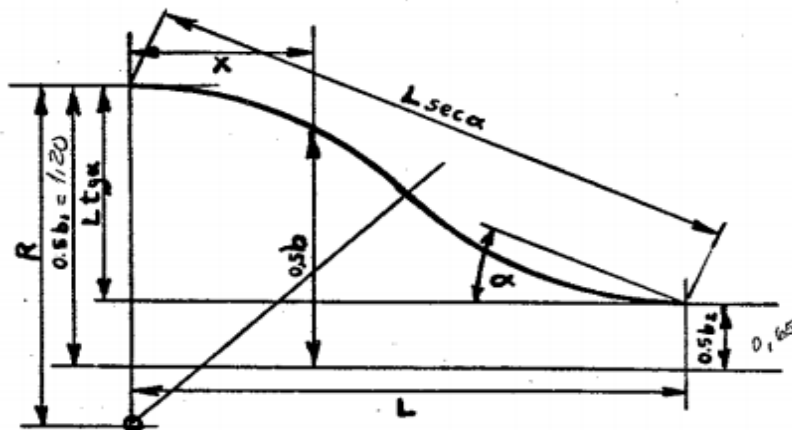
α Es el ángulo de la transición con un valor de 12.5° .

Estas ecuaciones han sido desarrolladas para el caso en el que el ancho inicial es mayor que el ancho final, es decir, una transición de mayor a menor; para el caso contrario, cuando la transición sea de menor a mayor el orden de uso de las expresiones será invertido, para la primera mitad se utilizará la expresión 2.46 mientras que para la segunda mitad de la transición se utilizará la expresión 2.45. (Krochin, 1986).

2.6.4. Transición curva

Este tipo de transición es la más recomendada en la bibliografía especializada debido a que el flujo por esta sección produce una pérdida menor de energía en el flujo comparada con las otras dos opciones, esta se compone de dos curvas de circunferencia tangentes entre sí en el punto medio de la transición. Y se apegan a la siguiente geometría general.

Figura 2.16: Geometría general de una transición



Fuente: (Krochin, 1986).

Con el propósito de reducir las pérdidas resulta conveniente no dejar cambios de dirección bruscos debido a esto se recomienda redondear las esquinas. O realizar una transición a manera de una curva compuesta de arcos de círculo tangentes a las paredes de entrada y salida de las alineaciones del canal. Esto reduce considerablemente las pérdidas, pero aumenta los costos finales de la obra de conducción. (Krochin, 1986).

De esta geometría se define la siguiente relación que permite la determinación del radio de curvatura para la transición, esta expresión que define el radio de curvatura es:

$$R_t = \frac{L_{tr}}{2 * \text{sen}(2 * \alpha)} \quad (2-47)$$

Las expresiones para determinar los valores del ancho de la transición se muestran a continuación:

Para la primera mitad de la transición:

$$b_x = 2 * \left[L_{tr} * \operatorname{tg}(\alpha) - \left(R_t - \sqrt{R_t^2 - X^2} \right) \right] + b_2 \quad (2-48)$$

Para la segunda mitad de la transición:

$$b_x = 2 * \left(R_t - \sqrt{R_t^2 - (L_{tr} - X)^2} \right) + b_2 \quad (2-49)$$

En estas expresiones sabemos que:

L_{tr} Es la longitud de la transición.

R_t Es el radio de curvatura de las circunferencias de la transición.

b_x Es el ancho de la transición en el punto X.

b_1 Es el ancho mayor de la transición.

b_2 Es el ancho menor de la transición.

X Es el valor de la longitud de la transición donde se va a determinar el ancho de la misma.

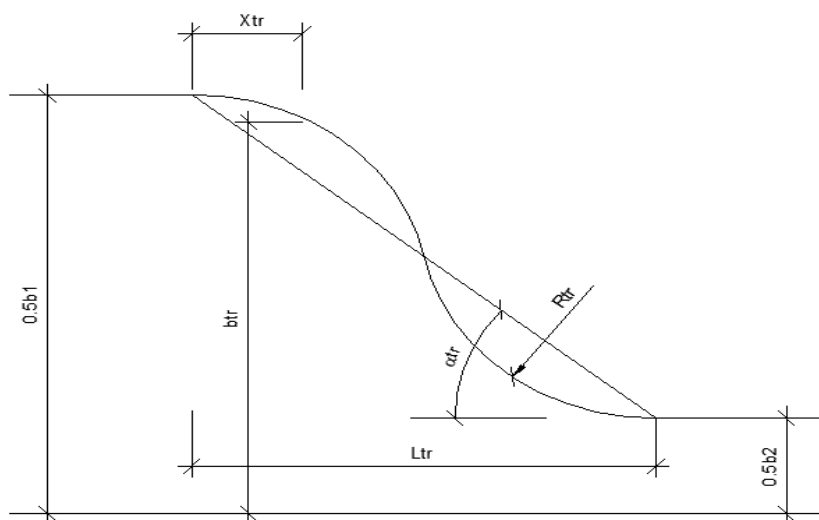
α Es el ángulo de la transición con un valor de 12.5°

De la misma manera que en los otros tipos de transiciones en el caso de ser una transición de menor a mayor se invertirá el uso de las expresiones, es decir, se utilizará la expresión 2-49 para la primera mitad de la transición mientras que para la segunda mitad se utilizará la expresión 2-48.

2.6.5. Transición mediante cuadrantes de circunferencia

Este tipo de transiciones se realiza mediante dos cuadrantes de circunferencia tangentes el uno del otro. Esta transición reduce considerablemente la longitud de la transición aumentando las pérdidas por el paso en esta transición.

Figura 2.17: Esquema de transición mediante cuadrante de circunferencia.



Fuente: El Autor.

Las expresiones necesarias para determinar las variaciones en el ancho en la transición son las siguientes:

Para la primera mitad de la transición se utiliza la siguiente expresión:

$$b_x = b_2 + R_t * (1 + \cos(\varphi)) \quad (2-50)$$

Para la segunda mitad se utilizará la expresión:

$$b_x = b_2 + R_t * (1 - \cos(\varphi)) \quad (2-51)$$

El valor del ángulo de inclinación respecto del centro del primer cuadrante (φ) se determina mediante la expresión:

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{X}{R_t} \right) \quad (2-52)$$

Mientras que para determinar el ángulo de inclinación para la segunda parte del cuadrante se aplicará la siguiente expresión:

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{R_t - (X - R_t)}{R_t} \right) \quad (2-53)$$

Para este caso específico las condiciones geométricas, colocar dos cuadrantes de circunferencia, modifica la determinación de las condiciones geométricas de la transición, estas condiciones son: longitud y radio de curvatura de la transición. Teniendo estas condiciones específicas de este tipo de transición, las expresiones que determinan los valores de estas condiciones serán:

La longitud de la transición será:

$$L_{tr} = 2 * R_t \quad (2-54)$$

Mientras que el radio de curvatura estar determinado mediante la expresión:

$$R_t = \frac{b_1 - b_2}{2} \quad (2-55)$$

Donde:

L_{tr} Es la longitud de la transición.

R_t Es el radio de la transición.

b_x Es el ancho de la transición en el punto X.

b_1 Es el ancho mayor de la transición.

b_2 Es el ancho menor de la transición.

X Es el valor de la longitud de la transición donde se va a determinar el ancho de la misma.

φ Es el ángulo correspondiente a la coordenada X.

De la misma manera que en los casos anteriores para el caso en el que la transición sea de menor a mayor, el orden de las expresiones a utilizarse se invertirá, es decir, para la primera mitad de la transición la expresión 2-51, mientras que para la segunda mitad se utilizará la expresión 2-50.

Las pérdidas en el paso del caudal por la transición se deben a la fricción y al cambio de velocidad, en cuyo caso las pérdidas por fricción se pueden considerar despreciables en cálculos preliminares; mientras que las pérdidas por velocidad se determinarán mediante la expresión:

$$Z = (1 \pm c) * h \quad (2-56)$$

El signo de la expresión 2.56 se determinará conociendo al tipo de transición, este signo es positivo si la transición se orienta de una sección mayor a una menor, (contracción); y es negativo si la transición se orienta de menor a mayor (expansión) estos revisados en el sentido de flujo dentro de la transición.

Siendo h la diferencia de carga de cinética entre los puntos 1 y 2 (antes y después de la transición).

$$h_{ft} = \frac{V_{t1}^2 - V_{t2}^2}{2 * g} \quad (2-57)$$

El coeficiente C se determina dependiendo del tipo de transición, estos valores toman los valores mostrados a continuación:

- Transición en curva $C=0.10$
- Transición mediante cuadrantes de círculo $C=0.15$
- Transición recta $C=0.30$. (Krochin, 1986).

2.7. Diseño del desarenador.

Teniendo en cuenta que, en la mayoría de obras de toma, la velocidad de entrada es lo suficientemente importante como para arrastrar partículas sólidas, especialmente en eventos de crecida del cauce, las partículas sólidas que pueden entrar en grandes cantidades a la obra de captación.

Se ha observado que durante crecientes la cantidad de sólidos en ríos de montaña puede llegar a ser del 4% al 6% del volumen del caudal y del 0.2% al 1.0% en ríos de llanura. Haciendo necesaria la construcción de estas obras para mejorar la calidad del caudal captado para su posterior aprovechamiento.

Entre los perjuicios ocasionados por los sólidos ocasionados a las obras de captación se pueden enumerar los siguientes:

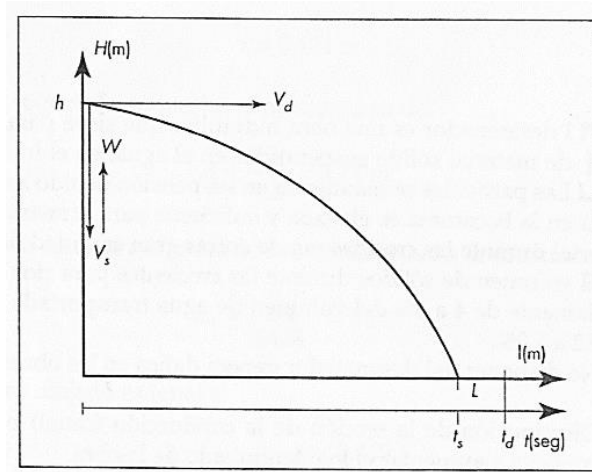
- Gran parte del material sólido se va depositando en el fondo de los canales y cámaras disminuyendo su sección. Con el tiempo estos modifican las secciones de las mismas disminuyéndolos llegando a momentos en los que el agua captada desbordaría por los aliviaderos haciendo necesario el establecimiento de operaciones de mantenimiento que provocarían interrupciones en el funcionamiento integral del proyecto.
- Los procesos de sedimentación de partículas dentro de tanques de presión y reservorios de regulación producirían el llenado de estas estructuras con arenas, debido a las bajas velocidades de trabajo de estas estructuras disminuyendo su

capacidad de regulación e incrementando la probabilidad de daños a equipos y otros elementos colocados a continuación de estos tanques.

- En proyectos hidroeléctricos, específicamente, el material sólido arrastrado hacia las turbinas por el agua genera desgaste lo que deriva en una reducción del rendimiento de las turbinas y en la vida útil de estos equipos, llegándose a tener casos en los que se han tenido que realizar reparaciones a las turbinas 3 o 4 veces al año y reduciendo el rendimiento entre 10% hasta un 50% en períodos cortos como 3 meses.

Para que las partículas sólidas se sedimenten es necesario disminuir la velocidad del flujo en el desarenador, este efecto se logra al aumentar la sección transversal en las cámaras del desarenador, el esquema dinámico de sedimentación se muestra en la figura 2.13. (Ortiz, 2001).

Figura 2.18: Esquema del proceso de sedimentación.



Fuente: (Ortiz, 2001).

Se recomienda velocidades de flujo no mayores a 0.5 m/s debido a que a velocidades mayores a esta las partículas de arena no se detienen en superficies lisas, como las de un desarenador, de esta manera, Dubuat definió las velocidades límite por las cuales el agua deja de arrastrar partículas sólidas, estas velocidades son:

- Para arcilla 0.081 m/s.
- Para arena fina 0.16 m/s.
- Arena gruesa 0.216 m/s.

De manera correspondiente los desarenadores se deben diseñarse para velocidades entre 0.1 m/s hasta 0.4 m/s, teniendo profundidades entre los 1.5m hasta los 4 m. (Krochin, 1986).

La geometría de las cámaras podría ser cualquiera, escogiéndose las secciones transversales rectangulares o trapezoidales compuestas, siendo las rectangulares las que brindan mayores facilidades constructivas pero presentan complicaciones en la parte estructural, debido a que estas paredes deben soportar cargas similares a las de muros de contención, encareciendo el presupuesto del proyecto, mientras que las secciones trapezoidales compuestas presentan una sección más eficiente y permiten la recolección de las partículas decantadas en el fondo de una manera más eficiente optimizando la operación de limpieza de cada cámara. Para facilitar esta recolección de las partículas en el fondo las secciones inclinadas de la cámara suelen definirse usando pendientes entre 1:5 a 1:8. (Krochin, 1986).

En la parte final de cada cámara, se coloca un vertedero sobre el cual pasará el caudal captado ya limpio, este vertedero se calcula con una velocidad de aproximación máxima de 1 m/s, recomendándose un calado máximo en el vertedero de 25cm.

Por último, dentro de cada cámara se debe colocar una compuerta en el fondo de la misma que permita la limpieza de la cámara. (Krochin, 1986). Esta compuerta se estudiará más a fondo en el capítulo correspondiente de la presente disertación.

Existen dos tipos generales de desarenadores mencionados en la bibliografía especializada, el desarenador de lavado intermitente y el de lavado continuo estos difieren en el método en el que se realiza las operaciones de limpieza y mantenimiento de los mismos, la presente disertación se enfoca en los desarenadores de lavado intermitente debido a que estos presentan una mayor aplicabilidad en proyectos

desarrollados en los últimos años, debido a que estos presentan la facilidad para programar las operaciones de limpieza y mantenimiento de estas cámaras y permiten que no se suspendan las operaciones y el funcionamiento de la obra de captación durante la limpieza y mantenimiento de estas.

El diseño específico de un desarenador se realiza para un diámetro nominal definido de partícula.

Como se muestra en la figura 2.18, la teoría de desarenación se basa en la descomposición de velocidades. En la que una partícula suspendida a cierta altura cae hacia el fondo bajo la acción de la gravedad con una velocidad, esta velocidad de decantación puede determinarse mediante la ecuación de Stokes.

El tiempo necesario para que esta partícula caiga al fondo está determinado mediante la siguiente expresión:

$$T_s = \frac{h}{w} \quad (2-58)$$

Esta misma partícula posee una velocidad horizontal V debido a esto en el mismo tiempo T_s la partícula recorre una distancia L_s de esta manera y asumiendo que la partícula se encuentra en la lámina más superficial del flujo, es decir, que la altura h es el calado en la cámara de desarenación, tendremos que la longitud de la cámara será determinada de la siguiente expresión:

$$L_s = \frac{h \cdot v}{w} \quad (2-59)$$

De manera general Arkhangelski en 1935 determinó esta velocidad para diferentes diámetros, estos valores están descritos en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Velocidades de sedimentación según Arkhangelski.

VELOCIDADES DE SEDIMENTACION	
d en mm.	W en cm/s
0,05	0,178
0,10	0,692
0,15	1,560
0,20	2,160
0,25	2,700
0,30	3,240
0,35	3,780
0,40	4,320
0,45	4,860
0,50	5,400
0,55	5,940
0,60	6,480
0,70	7,320
0,80	8,070
1,00	9,44
2,00	15,29
3,00	19,25
5,00	24,90

Fuente: (Krochin, 1986).

Debido a que los valores de estas velocidades fueron determinadas en aguas tranquilas se debe adaptar teniendo la expresión corregida:

$$L_s = \frac{h*v}{w-u} \quad (2-60)$$

Varios autores han tratado de encontrar de manera experimental el valor de la componente normal de turbulencia (u) de esta manera la expresión más simple es la desarrollada por Sokolov esta expresión es:

$$u = 0.152w \quad (2-61)$$

Aplicando a la expresión 2.49 la expresión de Sokolov 2.51 se tiene:

$$L_s = 1.18 \frac{h*v}{w} \quad (2-62)$$

Misma que se expresa de manera general como:

$$L_s = \frac{k_d * h * v}{w} \quad (2-63)$$

Donde el valor del coeficiente de decantación (k_d) varía entre 1.2 a 1.5 dependiendo de la importancia de la obra.

Otros autores han desarrollado expresiones para el valor de u , pero para el caso de la presente disertación utilizaremos la desarrollada por Sokolov debido a que esta expresión permite determinar valores de L_s no muy grandes. (Krochin, 1986).

La bibliografía recomienda que para caudales mayores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ el desarenador sea dimensionado con dos o más cámaras para la realización de este proceso, motivo por el cual necesario definir el número de cámaras con las que el desarenador va a trabajar, además de reducir el tamaño de la obra de captación este permite que las operaciones de limpieza y mantenimiento sean realizadas sin la necesidad de detener el funcionamiento de la obra de captación; teniendo en cuenta esto, el

dimensionamiento del desarenador dependerá del número de cámaras (n_c) además de las variables mencionadas anteriormente, de esta manera el dimensionamiento de este elemento, se realizará en función del dimensionamiento de una cámara de desarenación; de esta manera el caudal de diseño para una cámara de desarenación es:

$$Q_c = \frac{Q_D}{n_c - 1} \quad (2-64)$$

La relación calado – ancho de la cámara como la relación r.

$$r = \frac{h_c}{b_c} \quad (2-65)$$

De la ecuación de continuidad 2-43 se sabe que el área transversal de la cámara será:

$$A_c = \frac{Q_c}{v} \quad (2-66)$$

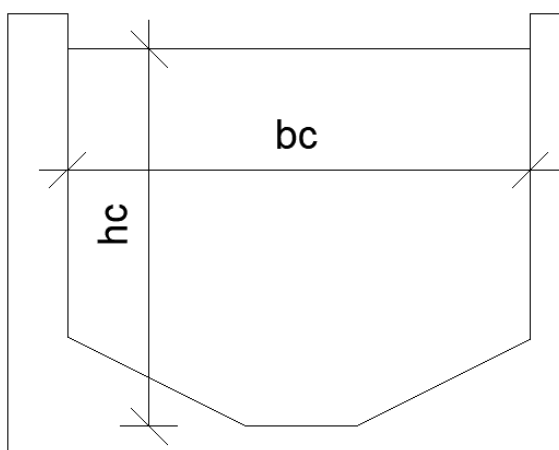
Se determinará el ancho de la cámara de desarenación mediante la expresión:

$$b_c = \sqrt{\frac{A_c}{r}} \quad (2-67)$$

Como siguiente paso se determina el calado en la cámara de desarenación despejándola del área útil, de esta manera se tiene:

$$h_c = \frac{A_c}{b_c} \quad (2-68)$$

Figura 2.19: Esquema general del corte transversal de una cámara de desarenación.



Fuente: El Autor.

2.8. Diseño del tanque recolector.

Este elemento constituye una cámara en la que el agua captada será derivada hacia el sistema de conducción para un proyecto específico, se dimensionará en función de los tiempos de retención o vaciado de esta cámara y permitirá la recolección del caudal de diseño, además de un punto de estabilización del flujo desde la captación hacia la conducción de un proyecto específico. El proceso de diseño será el siguiente:

- El ancho de este tanque será el ancho total del desarenador, es decir, ancho de las cámaras más el ancho de las paredes internas del desarenador; de esta manera se podrá mantener una geometría consistente en la obra de captación facilitando la construcción del mismo.
- Se deberá mantener una velocidad de flujo relativamente baja para permitir que el flujo dentro de esta cámara no produzca erosión o salida del caudal captado por turbulencias en el flujo, por lo que se recomiendan velocidades no mayores a 1 m/s, teniendo en cuenta estas premisas, el calado del tanque recolector es determinado al despejar esta variable de la ecuación de continuidad 2-43.

$$h_t = \frac{Q_D}{b_t * v_t} \quad (2-69)$$

Se determinará la longitud del tanque en función de este tiempo de retención, mediante la expresión:

$$L_t = \frac{Q_D * t_r}{b_t * h_t} \quad (2-70)$$

De estas expresiones sabemos que:

h_t Es la altura del tanque recolector.

Q_D Es el caudal de diseño del tanque recolector.

b_t Es el ancho del tanque recolector.

v_t Es la velocidad de flujo en el tanque recolector.

L_t Es la longitud del tanque recolector.

t_r Es el tiempo de retención en el tanque recolector.

2.9. Diseño de elementos de control y limpieza.

Estos elementos son aquellos colocados para permitir la limpieza de las cámaras de la obra de captación, son un conjunto de vertederos y compuertas que desalojan los residuos sólidos decantados en las cámaras de la captación.

2.9.1. Vertederos de exceso.

Elementos que permiten el control de los niveles de operación dentro de la obra de captación, funcionan como vertederos de pared delgada, mismas que son estructuras que obligan a la corriente de flujo pasar sobre este. De esta manera estos elementos tendrán una capacidad máxima de desfogue calculándose mediante la fórmula 2.14, misma que determina el caudal máximo de desfogue en este y se colocará a una altura que permita la salida de los excesos de flujo dentro de la obra de captación.

$$Q_e = c_0 * L * H_0^{3/2} \quad (2-15)$$

Donde:

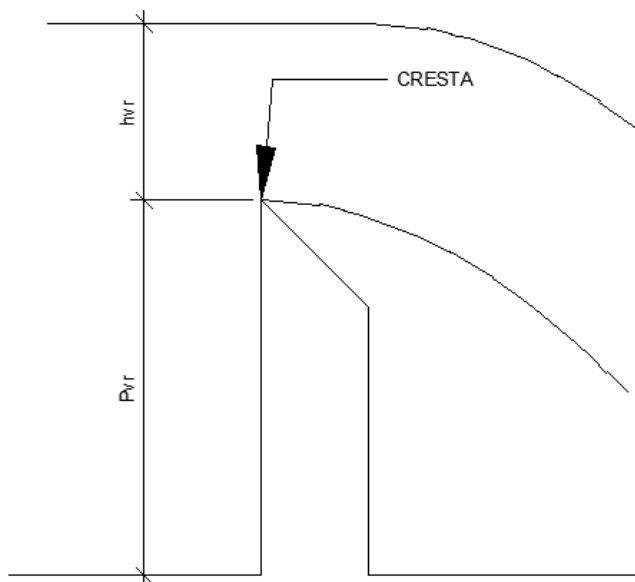
Q_e Es el caudal de diseño del vertedero.

c_0 Es el coeficiente de descarga de vertederos.

L Es la longitud del vertedero.

H_0 Es el calado sobre el vertedero.

Figura 2.20: Esquema general de un vertedero.



Fuente: El Autor.

Tomando como referencia las recomendaciones sobre vertederos en desarenadores de Krochin se definirá como recomendación general que el calado máximo en estos vertederos sea de 25cm sobre el umbral de estos vertederos se colocará al nivel máximo de operación de la cámara donde se colocará este elemento. (Krochin, 1986).

De la misma manera, al dimensionar la rejilla de captación, se toma un caudal de seguridad del 10% del caudal de diseño, mismo que deberá ser recogido por la rejilla y derivado hacia las demás cámaras de la obra de captación. Teniendo esta premisa el vertedero de excesos deberá evacuar un caudal igual a este 10% del caudal de diseño.

$$Q_e = 0.1 * Q_{dis} \quad (2-71)$$

Teniendo conocimiento de estas premisas, la dimensión a determinarse en estos elementos será la longitud del mismo, que deberá ser despejado de la ecuación 2.14 y permitirá el control de caudal captado para aprovechamiento mediante una obra de captación.

2.9.2. Compuertas de limpieza.

Las compuertas son elementos planos o curvos móviles que al levantarse permiten graduar la altura del orificio que se descubre a la vez que controla la descarga producida. (Sotelo Avila, 1997).

Estos elementos deberán evacuar al menos el caudal de diseño de la cámara en la que esta compuerta evacuará los materiales sólidos depositados en el fondo de esta cámara. (Krochin, 1986).

Estos elementos se colocarán en las cámaras desarenadoras, desripiador tanque de control para la realización de las operaciones de limpieza de las mismas.

El dimensionamiento de la compuerta dependerá de muchas condiciones, motivo por el cual el ingeniero deberá definir principalmente el ancho de la compuerta, para poder determinar la apertura en la cual el caudal es evacuado. La expresión para determinar la apertura de una compuerta está determinada en la ecuación:

$$Q_D = c_c * b_{com} * a_{com} * \sqrt{2 * g * h_{com}} \quad (2-72)$$

Donde:

Q_D Es el caudal de diseño.

c_c Es el coeficiente de descarga determinado en la figura 2.21.

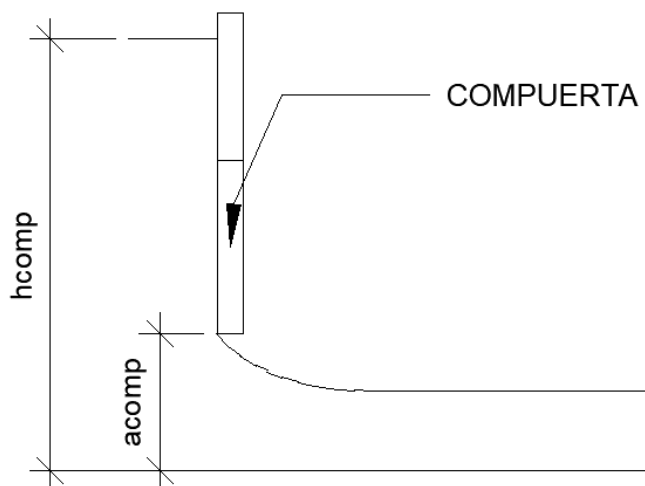
b_{com} Es el ancho de la compuerta.

a_{com} Es la apertura de la compuerta.

g Es la aceleración de la gravedad.

h_{com} Es la carga de agua sobre la compuerta.

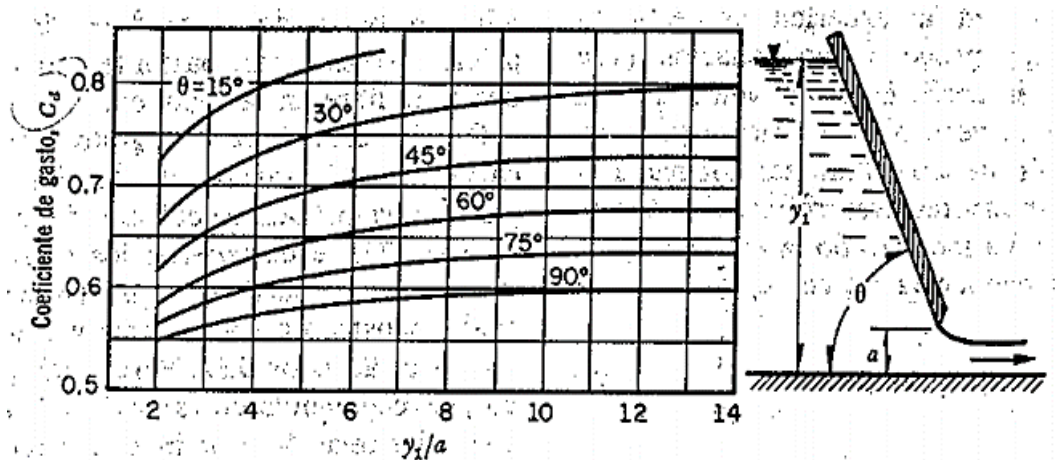
Figura 2.21: Esquema transversal de una compuerta (desarrollo personal).



Fuente: El Autor.

La carga sobre la compuerta corresponde al calado del elemento donde se ubica la misma; mientras que, el valor del coeficiente de descarga se determina en el ábaco de la figura 2.22.

Figura 2.22: Coeficientes de descarga (gasto) para compuertas planas.



Fuente: (Sotelo Avila, 1997).

La descripción completa de cada uno de los procesos de diseño está descrito en el capítulo 5.2 donde se describe el algoritmo de cálculo de estos. De manera resumida iniciaremos calculando las dimensiones del azud de derivación, forma del perfil Kreager, altura del paramento, etc.; se continúa con el dimensionamiento del cuenco disipador de energía, determinando la longitud del resalto, la altura del dintel de salida, y demás dimensiones necesarias para el dimensionamiento de este elemento. Se debe definir el tipo de rejilla a utilizarse y dependiendo de este, se dimensionará la rejilla del proyecto. Una vez dimensionados estos elementos se procede a con las dimensiones del desripador, desarenador, transiciones, canales, vertederos y compuertas, para finalizar dimensionando el taque recolector del proyecto.

3. Ejemplos de diseño.

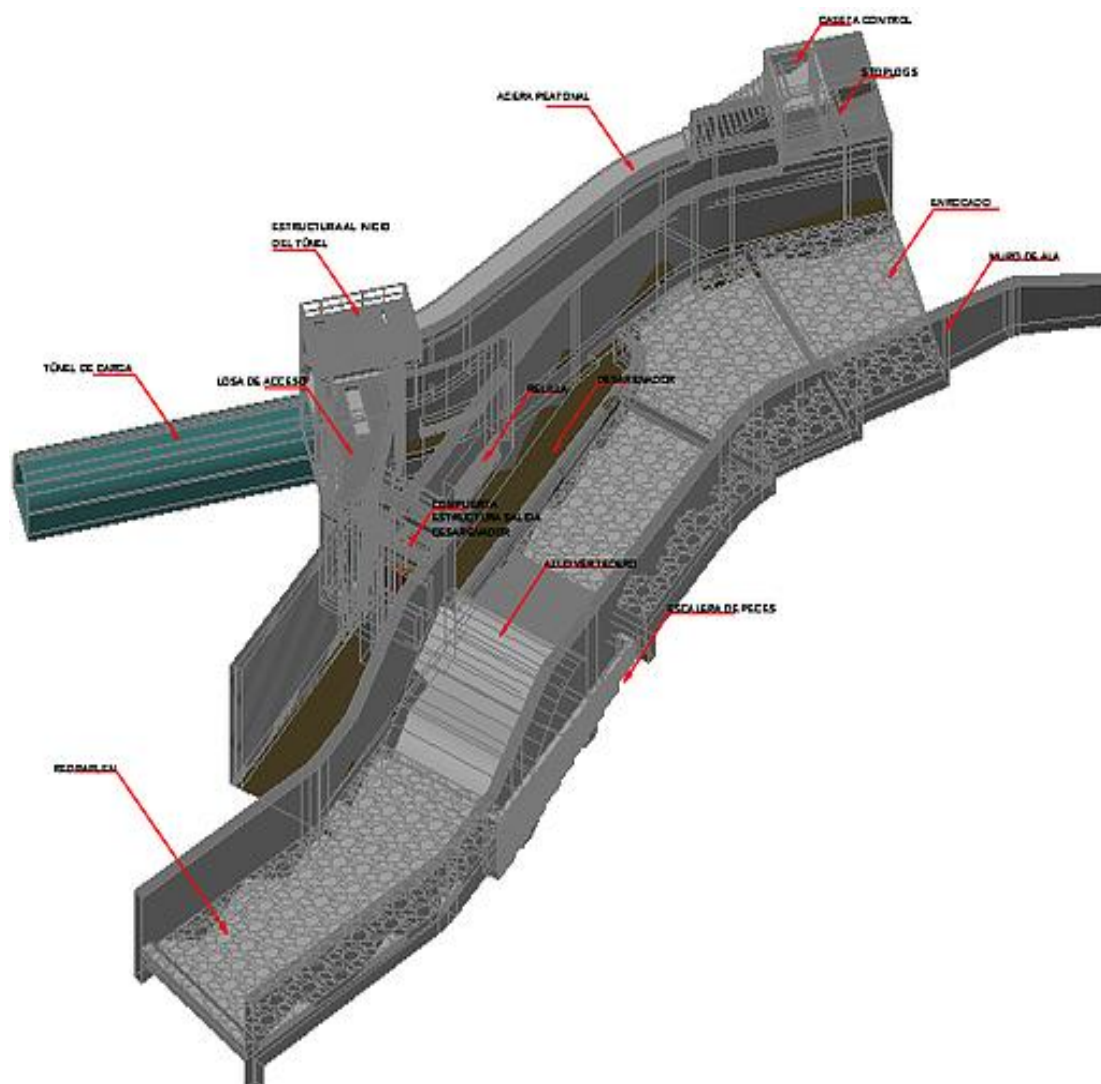
El presente capítulo desarrollará el diseño mediante la metodología propuesta en el capítulo 5.2 en un ejemplo de cada tipo de captación, de manera que, durante el desarrollo de este capítulo se determine las dimensiones de los ejemplos, además de brindar una herramienta para la comparación de resultados de los capítulos posteriores a este.

La disertación se enfoca en dos ejemplos de diseño, uno por cada tipo de rejilla a diseñarse, el primer caso de estudio se referirá al diseño de las obras de captación para la central hidroeléctrica “Victoria”, proyecto desarrollado por “Empresa Eléctrica Quito”; así mismo, el segundo caso de estudio corresponde al proyecto hidroeléctrico “Cochapata” proyecto desarrollado con propósitos académicos, donde se empleará una rejilla de fondo.

3.1. Captación lateral.

Para el desarrollo del ejemplo de diseño para captaciones laterales se tomará un conjunto de características de un proyecto específico, para de esta manera determinar las dimensiones necesarias para el diseño hidráulico de los elementos que componen una captación.

Figura 3.1 Esquema general del caso de estudio.



Fuente: ("Empresa Electrica Quito" S. A., 2018).

3.1.1. Características iniciales del proyecto.

Para el desarrollo de este caso de estudio nos referiremos a la información básica obtenida del proyecto hidroeléctrico “Victoria”, información obtenida de la red (Word Wide Web). Estas características son:

Tabla 3.1: Información básica para el caso de estudio.

Ítem	Característica	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	2.74	m ³ /s
2	Caudal de máxima crecida	89.00	m ³ /s
3	Ancho del río	12.00	m

Fuente: ("Empresa Electrica Quito" S. A., 2018).

Para este caso de estudio, debido a que este proyecto ya se encuentra en la fase de ejecución, se pretenderá presentar un diseño de las estructuras que componen la captación del proyecto, de manera alternativa, utilizando la metodología desarrollada en la presente, además de la información previa mostrada en la tabla 3.1.

3.1.2. Azud de derivación.

El valor de la altura del paramento se determinará mediante iteraciones, hasta obtener los valores del paramento (P), el calado sobre el vertedero (H_o) y el coeficiente de descarga (c_o). Los resultados se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Determinación del coeficiente de descarga.

P/Ho	c	Ho	P/Ho
1,60	2,18	2,26	1,01
1,50	2,17	2,27	1,01
1,30	2,16	2,27	1,01
1,00	2,14	2,29	1,00

Fuente: El Autor.

Una vez determinado estos valores, se debe determinar el valor de la carga cinética (h_o) mismo que es determinado mediante la ecuación 2-2, para determinar el valor de la relación (h_o/Ho) misma que permite determinar los valores de los coeficientes n y k necesarios para definir la ecuación del perfil Kreager que evacuará el caudal de máxima crecida, estos coeficientes se determinan con el uso de los ábacos mostrados en las figuras 2.4 y 2.5, mediante observación. Los resultados son los siguientes:

Tabla 3.3: Condiciones de diseño para el perfil Kreager.

Ítem	Característica	Valor	Unidad
1	Altura del paramento	2,29	m
2	Calado máximo	2,29	m
3	Carga cinética	0,39	m
4	Coeficiente n	1,81	
5	Coeficiente k	0,485	
6	Longitud total del vertedero	3,5	M

Fuente: El Autor.

Una vez determinados los valores de los coeficientes n y k se determina la ecuación del perfil reemplazando los valores de estos coeficientes en la ecuación 2.1, ya para obtener las coordenadas del perfil se iniciará en el vértice con coordenadas (0,0) aumentando el valor de la coordenada X hasta obtener un valor del mismo en el cual el valor de la coordenada Y sea muy cercana al valor del paramento del proyecto, para el caso del valor será de $P=3.5m$.

De esta manera se obtiene la siguiente tabla de coordenadas:

Tabla 3.4: Coordenadas del perfil Kreager medidas desde el vértice.

x	y
0	0
0,2	-0,01
0,4	-0,05
0,6	-0,10
0,8	-0,17
1	-0,25
1,2	-0,34
1,4	-0,46
1,6	-0,58
1,8	-0,72
2	-0,87
2,2	-1,03
2,4	-1,21
2,6	-1,40
2,8	-1,60
3	-1,81
3,2	-2,04
3,4	-2,27
3,5	-2,39

Fuente: El Autor.

3.1.3. Cuenco dissipador de energía.

Para el dimensionamiento de este elemento se tomará en cuenta las condiciones más críticas de diseño a la que la obra de captación estará sometida dentro de su vida útil, es decir, deberá tener la capacidad de disipar la energía de flujo para el caudal de máxima crecida de un proyecto, como se muestra en la tabla 3.1, este valor de caudal será de $89 \text{ m}^3/\text{s}$, además de estar condicionados a utilizar el mismo ancho con el que se dimensiono el perfil Kreager de 12 m, bajo estas condiciones iniciales, utilizando la metodología definida en el capítulo 5.2, el dimensionamiento del cuenco presenta los siguientes resultados:

Tabla 3.5: Resultados del diseño del cuenco dissipador de energía.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Calado critico	Yc	1,78	m
2	Carga energética crítica	Hc	2,66	m
3	Energía total	E	4,95	m
4	Calado contraído	Y1	0,87	m
5	Calado conjugado	Y2	3,18	m
6	Longitud del resalto	Lr	7,32	m
7	Velocidad en la contracción	V1	8,43	m/s
8	Número de Froude	F1	0,99	

Fuente: El Autor.

De la gráfica 2.8 determinamos la relación h/y_1 misma que nos permite dimensionar el dintel de salida del cuenco, esta relación dependerá del número de Froude determinado según el procedimiento mostrado en el capítulo 5.2 en la sección correspondiente.

Al determinarse un número de Froude menor a dos, se decide trabajar con el valor de h/y_1 correspondiente al número de Froude de valor dos, este valor corresponde a un valor de 0.3; de esta manera el valor final de la altura del dintel de salida del azud será de un 30% del valor del calado conjugado. Para el caso de estudio será entonces:

$$h_d = 0.3 * Y_1$$

$$h_d = 0.26m$$

Las dimensiones finales del cuenco se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Dimensiones del cuenco dissipador de energía.

Ítem	Dimensión	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del cuenco	Br	12	m
2	Longitud final del cuenco	Lr	4,61	m
3	Calado contraído	Y1	0,87	m
4	Calado conjugado	Y2	3,18	m
5	Altura del dintel de salida	Hdr	0,26	m

Fuente: El Autor.

3.1.4. Rejilla lateral.

Este tipo de rejilla de captación se utiliza debido a las condiciones específicas del caso de estudio. La información necesaria para el dimensionamiento de la rejilla lateral se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Datos de ingreso para el diseño de la rejilla.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	2.74	m ³ /s
2	Altura de la rejilla	Hr	1.00	m
3	Coefficiente de pérdida	K	0.85	
4	Altura del paramento	P	2.29	m
5	Espesor de los barrotes	T	0.03	m
6	Pérdida esperada por sumergencia	Hfn	0.10	m
7	Porcentaje de obstrucción	F	30.00	%
8	Espaciamiento entre barrotes	S	0.04	m
9	Velocidad del río	Vr	0.09	m/s
10	Inclinación con la horizontal	α	75.00	°

Fuente: El Autor.

Para determinar la velocidad promedio del río en el punto de captación se determina el caudal medio del mismo, además se aproxima el perímetro mojado del río en la zona de captación con una sección rectangular, esta sección se define debido a que esta será la sección transversal existente durante la vida útil del proyecto.

El caudal medio del río en el punto de la captación será de 2.4 m³/s mientras que la base de la sección rectangular será de 12m y el calado será de 2.29 m, sección correspondiente a la altura del paramento con que se realizará el diseño del azud del proyecto. La velocidad se determinará mediante el uso de la ecuación de continuidad (2-43) despejando la velocidad de esta ecuación, mientras que el área será el producto de la base del azud (Br), multiplicado por la altura del paramento (P).

$$Q = P * B_r * V_r$$

$$V_r = \frac{Q}{P * B_r}$$

$$V_r = \frac{2.4}{2.43 * 12}$$

$$V_r = 0.09 \text{ m/s}$$

El proceso de diseño estará guiado mediante el proceso definido en el capítulo 5.2 de la presente disertación y se aplicará el mismo a las condiciones de diseño mostradas en la tabla 3.7, de esta manera el proceso arroja los siguientes resultados:

Tabla 3.8: Resumen de valores determinados para la rejilla lateral.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Coeficiente de descarga	Co	2.11	Adim
2	Coeficiente de sumergencia	S	0.99	Adim
3	Longitud efectiva	Le	34.038	m
4	Longitud libre	Lr	1.70	m
5	Número de espacios	N	17.00	Uni
6	Número de barrotes	N	16.00	Uni
7	Pérdida en la rejilla	Hfr	0.0004	m
8	Ángulo con respecto al río	D	0.0266	°

Fuente: El Autor.

Una vez realizados estos cálculos, las dimensiones finales de la rejilla se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Resumen de valores determinados para la rejilla lateral.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	0.90	m ³ /s
2	Altura de la rejilla	Hr	1.00	m
3	Espesor de los barrotes	t	0.05	m
4	Espaciamiento entre barrotes	s	0.10	m
5	Inclinación con la horizontal	a	75.00	°
6	Velocidad del río	Vr	0.09	m/s
7	Longitud efectiva	Le	34.04	m
8	Longitud libre	Lr	1.70	m
9	Número de espacios	N	17.00	uni
10	Número de barrotes	n	16.00	uni
11	Ángulo con respecto al río	d	0.03	°

Fuente: El Autor.

3.1.5. Canal de transición y desripiador.

El diseño de estos elementos es realizado de manera conjunta, teniendo en cuenta las condiciones de diseño del desripiador, mismo que depende de las dimensiones finales del canal de transición, permitiendo un mejor manejo de las condiciones de diseño y de las dimensiones finales de ambos elementos.

Siguiendo el proceso de diseño sugerido en el capítulo 5.2 se deberá tener en cuenta los valores iniciales mostrados en la tabla 3.10.

Tabla 3.10: Datos iniciales para el diseño del desripiador y canal de transición.

ítem	Nombre	símbolo	valor	unidad
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s
2	Tipo de rejilla	Lateral		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	br	2.50	m
5	Ancho del canal recolector		1.88	m
6	Coeficiente de descarga	Co	2.00	
7	Coeficiente de sumergencia	S	0.96	
8	Calado de la galería	Hreg	0.55	m

Fuente: El Autor.

Se inicia determinando las dimensiones del canal de transición, permítenos el diseño del desripiador, al tener en cuenta que la longitud del desripiador se determina mediante la metodología de transiciones, y esta metodología se determina usando las dimensiones de los canales a “unir” mediante esta transición, para el caso del desripiador se debe tener las dimensiones del ancho del desripiador y del ancho del canal de transición, para ser “unidos” mediante una transición.

Los resultados del diseño del canal de transición se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11: Dimensiones del canal de transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s
2	Tipo de rejilla	lateral		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	br	2.50	m
5	Calado de control	hct	0.80	m
6	Revestimiento	Concreto con material en suspensión		
7	Velocidad de control	vct	2.00	m/s
8	Ancho del canal recolector	bct	1.88	m

Fuente: El Autor.

A continuación, se muestran los resultados del diseño del desripador en la tabla 3.12.

Tabla 3.12: Dimensiones del desripiador.

Dimensionamiento horizontal				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud del desripiador		4.43	m
2	Ancho del desripiador	bd	3.85	m
Dimensionamiento vertical				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
3	Altura del desripiador	hd	3.21	m
4	Apertura de la compuerta	ac	0.75	m
5	Ancho de la compuerta	bc	0.90	m
6	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56	
7	Relación altura apertura	hd/ac	4.00	
8	Inclinación de la compuerta		90.00	°

Fuente: El Autor.

3.1.6. Desarenador.

El dimensionamiento de este elemento se realiza siguiendo el capítulo 5.2 de la presente. Para el dimensionamiento de un desarenador se deberán definir las condiciones bajo las cuales este desarenador trabajará. Estos datos se presentan en la tabla 3.13.

Tabla 3.13: Datos iniciales para el diseño del desarenador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Diámetro de partícula		0.25	mm	
3	Número de cámaras	nc	2	unidad	
4	Relación ancho-calado	r	1.6		
5	Velocidad de sedimentación	w	2.70	cm/s	
6	Factor de seguridad		10	%	
7	Coeficiente del desarenador	kd	1.3		
8	Velocidad de flujo	vh	0.15	m/s	Entre 0.1 a 0.4 m/s

Fuente: El Autor.

Los resultados se muestran en la tabla 3.13, se tuvo en cuenta que no existen limitaciones topográficas para la colocación de este elemento, inmediatamente, después del canal de transición y la transición de este canal hacia las cámaras desarenadoras.

Tabla 3.14: Resultados del diseño del desarenador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de cada cámara	Qc	3.01	m ³ /s
2	Área útil de desarenación	Ac	20.09	m ²
3	Ancho	Bc	3.54	m
4	Calado	Hc	5.67	m
5	Longitud de la cámara	Ls	40.95	m

Fuente: El Autor

De estos cálculos se redondeará a las dimensiones para facilitar la fase de ejecución del proyecto, además se colocará una pared divisora entre cámaras de 40 cm para facilitar el armado estructural del mismo.

3.1.7. Transición hacia el desarenador.

El diseño de este elemento seguirá el método definido en el capítulo 5.2. Para el desarrollo del ejemplo se ha decidido utilizar una transición mediante dos curvas, debido a las ventajas que presenta realizar una transición de este tipo debido a las ventajas que brinda utilizar este tipo de transición.

Los datos necesarios para el diseño de este elemento se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Datos para el diseño de la transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Ancho de entrada	B1	3.90	m	Canal de transición
3	Ancho de salida	B2	7.60	m	Total, desarenador
4	Tipo de transición		Curva		
5	Número de divisiones		10.00		
6	Ángulo de la transición	α	12.50	°	
7	Longitud exacta	Lt	8.34	m	Calculado
8	Longitud final	Lt	8.50		
9	Radio de giro	Rt	10.06	m	

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados se muestran en la tabla 3.16.

Tabla 3.16: Diseño de la transición.

Ítem	x_i	x_i^2	$(L-x_i)^2$	raíz	R-raíz	$0.5(b-b^2)$	b	UNIDAD
1	0.00	0.00		10.06	0.00	1.88	7.67	m
2	0.85	0.72		10.02	0.04	1.85	7.60	m
3	1.70	2.89		9.91	0.14	1.74	7.38	m
4	2.55	6.50		9.73	0.33	1.56	7.01	m
5	3.40	11.56		9.46	0.59	1.29	6.48	m
6	4.25	18.06	18.06	9.11	0.94	0.94	5.78	m
7	5.10		11.56	9.46	0.59	0.59	5.08	m
8	5.95		6.50	9.73	0.33	0.33	4.56	m
9	6.80		2.89	9.91	0.14	0.14	4.19	m
10	7.65		0.72	10.02	0.04	0.04	3.97	m
11	8.50		0.00	10.06	0.00	0.00	3.90	m

Fuente: El Autor.

Se debe destacar que las dimensiones de los anchos de la transición correspondientes a cada coordenada están medidos desde el ancho mayor hacia el ancho menor de la transición, como se muestra en la tabla 3.16.

3.1.8. Tanque de recolección.

Los cálculos para el diseño de este elemento están mostrados en la tabla 3.17.

Tabla 3.17: Diseño del tanque recolector.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Factor de seguridad		10.00	%	
3	Ancho	bt	7.60	m	
4	Velocidad de flujo	vt	0.10	m/s	
5	Tiempo de retención	tr	60.00	s	
6	Longitud	Lt	6.00	m	Calculado
7	Profundidad	ht	3.97	m	Calculado

Fuente: El Autor.

Este elemento contempla el diseño del volumen efectivo del tanque, con una forma cúbica y se debe tener en cuenta los empalmes hacia este tanque desde el vertedero del desarenador.

3.1.9. Vertedero de control.

Para el caso de estudio se colocará un vertedero en el tanque de recolección de manera que se determine un calado con el que se pueda evacuar un 10 % del caudal de diseño del proyecto. Bajo estas condiciones en la tabla 3.18 se muestra el diseño de este elemento. Se determina el valor del coeficiente de descarga en un valor de 2 debido a que este valor permite una aproximación coherente a la realidad del caso de estudio.

Tabla 3.18: Diseño del vertedero de control.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.27	m ³ /s	
2	Longitud	L	2.50	m	
3	Calado	h	0.14	m	Calculado
4	Coefficiente de descarga	co	2.00		

Fuente: El Autor.

3.1.10. Compuertas de limpieza.

La tabla 3.19 muestra la lista de compuertas de control además de las ubicaciones de las mismas dentro de toda la obra de captación para este caso.

Tabla 3.19: Ubicación de las compuertas de limpieza.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Azud	Limpieza	1.00	1.00	m
2	Desripador	Limpieza	1.00	0.50	m
3	Desarenador	Limpieza	2.00	1.00	m
4	Tanque recolector	Limpieza	1.00	1.00	m

Fuente: El Autor.

El diseño de estas compuertas seguirá el proceso definido en el capítulo 5.2 y pretenderá determinar la apertura, con la cual la compuerta es capaz de evacuar el caudal de diseño de la misma, bajo las condiciones específicas de uso de cada una de ellas. Los cálculos realizados se muestran en las tablas correspondientes a cada

compuerta, estas tablas además de su correspondiente curva de descarga se muestran a continuación:

- Compuerta de limpieza del azud de derivación.

Tabla 3.20: Diseño de la compuerta de limpieza del azud.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	3.00	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	5.50	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.51	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m	
5	Coeficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
6	Relación altura apertura	h/ac	4.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

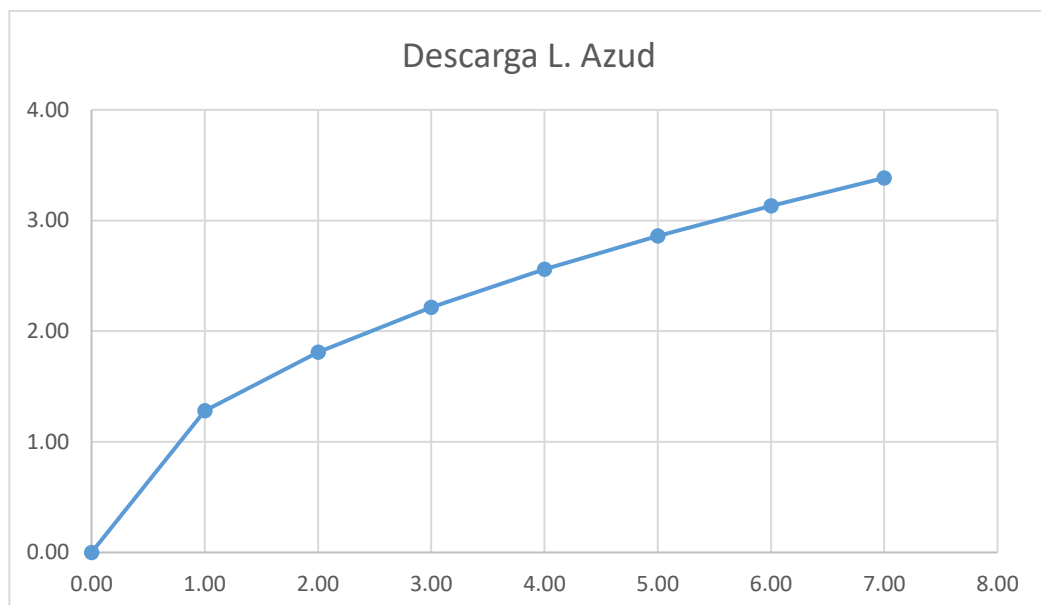
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.21 y la figura 3.1.

Tabla 3.21: Descarga de la compuerta de descarga para el azud.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m³/s)
0.00	0.00
1.00	1.28
2.00	1.81
3.00	2.22
4.00	2.56
5.00	2.86
6.00	3.13
7.00	3.38

Fuente: El Autor.

Figura 3.2: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza del desripiador.

Tabla 3.22: Diseño de la compuerta de limpieza del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Altura del desripiador	Hd	3.20	m	
3	Apertura de la compuerta	Ac	0.69	m	
4	Ancho de la compuerta	Bc	0.90	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	Cc	0.56		
6	Relación altura apertura	hd/ac	4.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

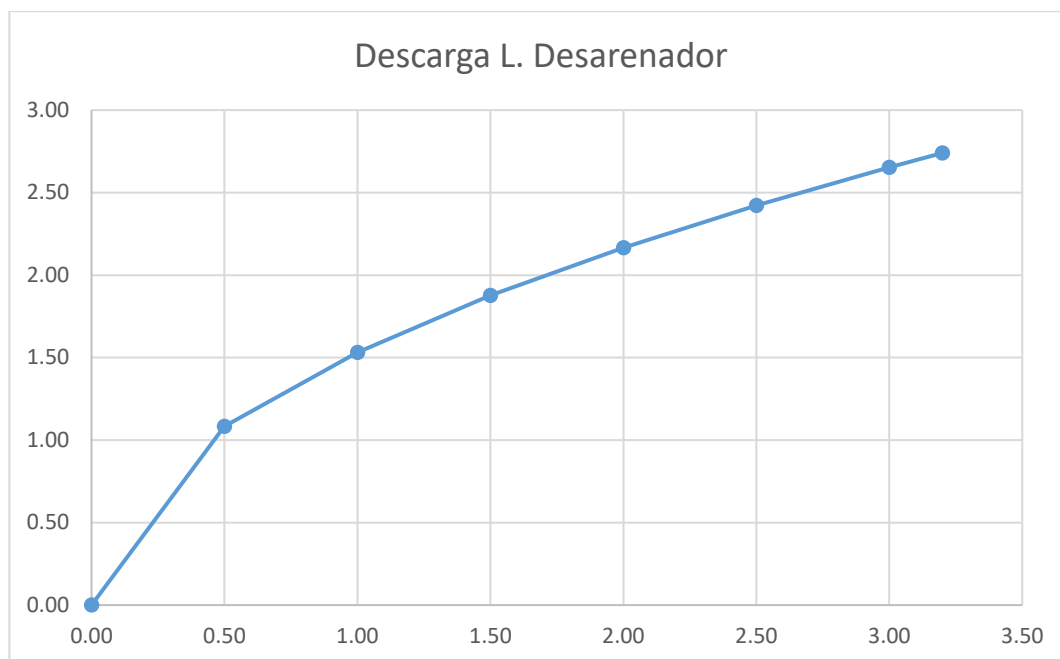
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.23 y la figura 3.2.

Tabla 3.23: Descarga de la compuerta de limpieza del desripiador.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	1.08
1.00	1.53
1.50	1.88
2.00	2.17
2.50	2.42
3.00	2.65
3.20	2.74

Fuente: El Autor.

Figura 3.3: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desarenador.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Tabla 3.24: Diseño de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	5.70	m	
3	Apertura de la compuerta	Ac	0.43	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	Bc	1.00	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	Cc	0.60		
6	Relación altura apertura	h/ac	6.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

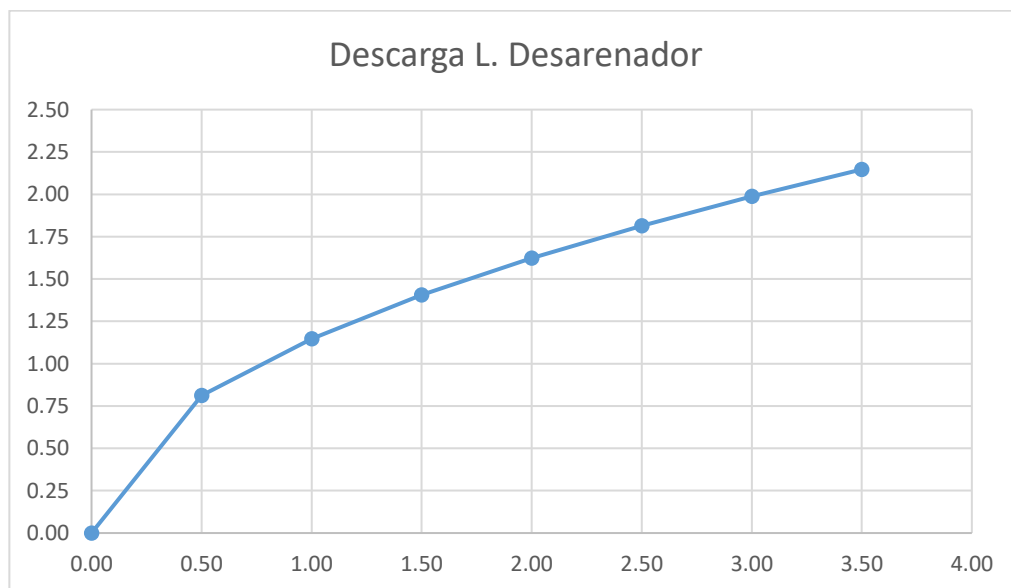
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.25 y la figura 3.3.

Tabla 3.25: Descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.81
1.00	1.15
1.50	1.41
2.00	1.62
2.50	1.81
3.00	1.99
3.50	2.15

Fuente: El Autor.

Figura 3.4: Curva de descarga de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza del tanque recolector.

Tabla 3.26: Diseño de la compuerta de limpieza del tanque recolector.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	4.00	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.52	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.60		
6	Relación altura apertura	h/ac	6.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

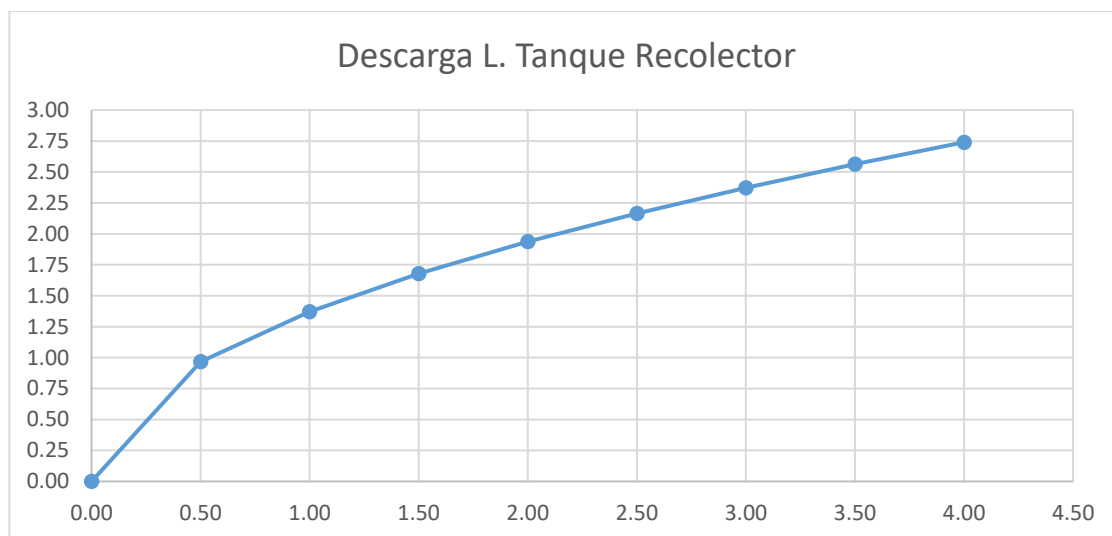
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.27 y la figura 3.4.

Tabla 3.27: Descarga de la compuerta de limpieza del tanque recolector.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.97
1.00	1.37
1.50	1.68
2.00	1.94
2.50	2.17
3.00	2.37
3.50	2.56
4.00	2.74

Fuente: El Autor.

Figura 3.5: curva de descarga de la compuerta de limpieza del tanque recolector.



Fuente: El Autor.

3.1.11. Compuertas de control.

Estas se muestran en las ubicaciones mencionadas en la tabla 3.29, además se presentan las principales características de las mismas.

Tabla 3.28: Ubicación de las compuertas de control.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Canal de transición	Control	1.00	1.00	m
2	Desarenador	Control	1.00	0.75	m

Fuente: El Autor.

Los cálculos realizados se muestran en las tablas correspondientes a cada compuerta, estas tablas además de su correspondiente curva de descarga se muestran a continuación:

- Compuerta de control del canal de transición

Tabla 3.29: Diseño de la compuerta de control de canal de transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	2.74	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.80	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.66	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	1.90	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

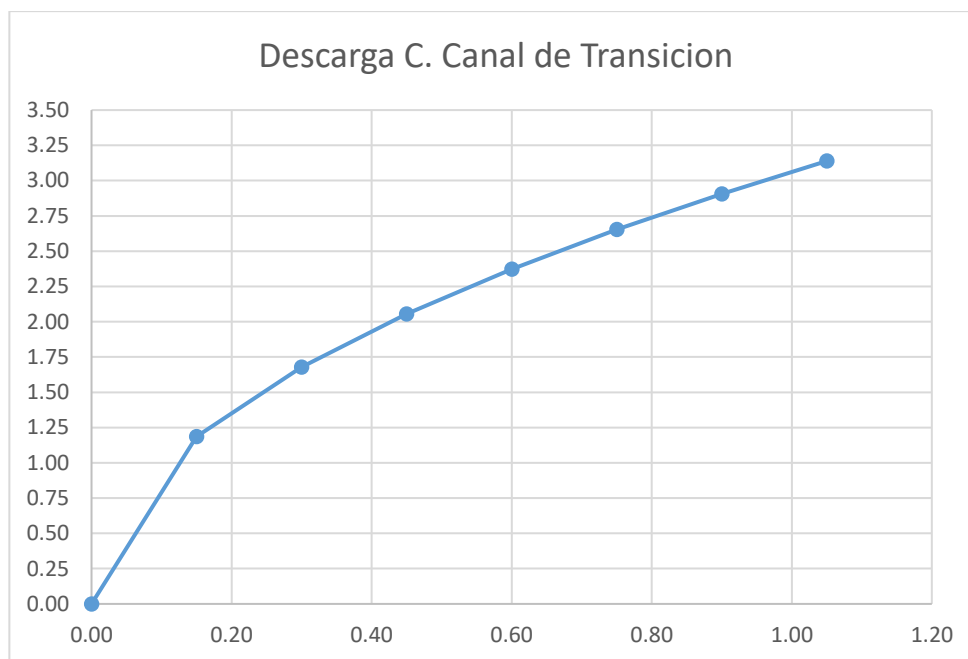
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.31 y la figura 3.5.

Tabla 3.30: Descarga de la compuerta de control del canal de transición.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	1.19
0.30	1.68
0.45	2.06
0.60	2.37
0.75	2.65
0.90	2.91
1.05	3.14

Fuente: El Autor.

Figura 3.6: Curva de descarga de la compuerta de control del canal de transición.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de control del desarenador.

Tabla 3.31: Diseño de la compuerta de control del desarenador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	3.01	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	1.40	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.51	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	2.00	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

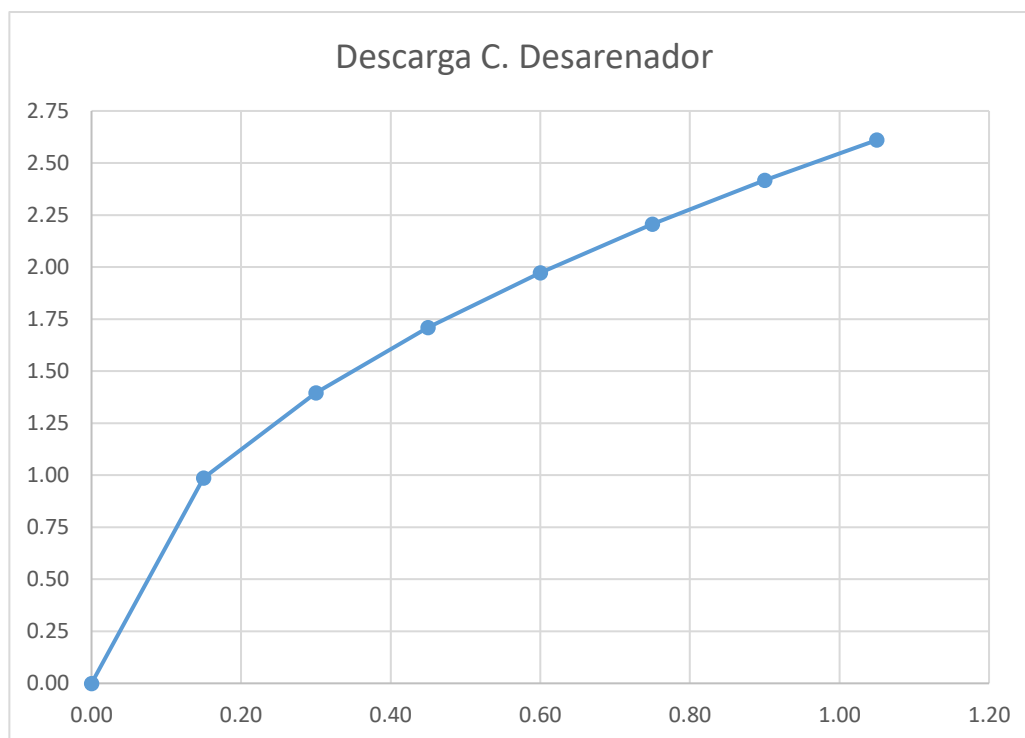
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.33 y la figura 3.6.

Tabla 3.32: Descarga de la compuerta de control del desarenador.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.99
0.30	1.40
0.45	1.71
0.60	1.97
0.75	2.21
0.90	2.42
1.05	2.61

Fuente: El Autor.

Figura 3.7: Curva de descarga de la compuerta de control del desarenador.

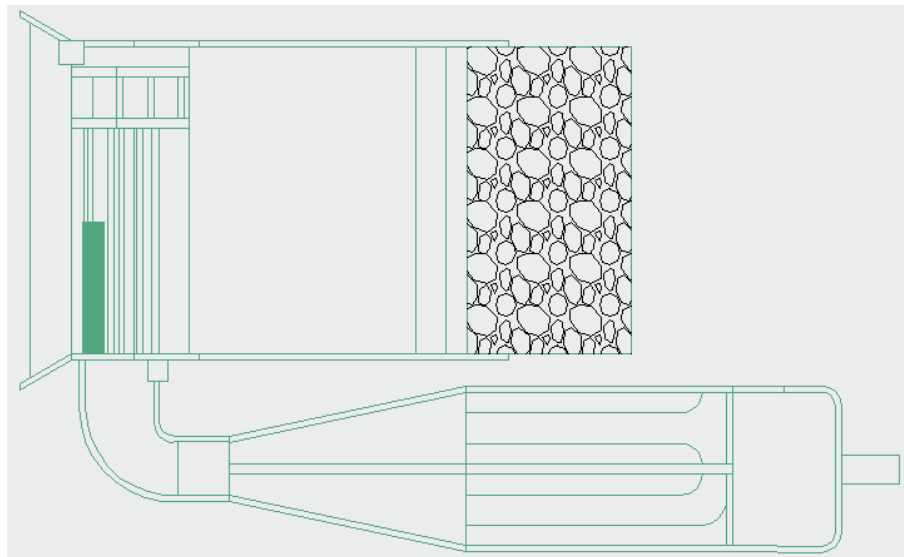


Fuente: El Autor.

3.2. Captación caucásica (de fondo).

Para el desarrollo del ejemplo de diseño para captaciones de fondo se tomará un conjunto de características de un proyecto específico, para determinar las dimensiones necesarias para el diseño hidráulico de los elementos que componen una captación, para el caso específico, de fondo utilizando la metodología descrita en el capítulo 5.2.

Figura 3.8: Esquema general del caso de estudio.



Fuente: El Autor.

3.2.1. Características iniciales para el diseño.

Los valores característicos que han de utilizarse se presentan en la tabla 3.34.

Tabla 3.33: Información básica para el caso de estudio.

Ítem	Característica	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	0.90	m ³ /s
2	Caudal de máxima crecida	263.90	m ³ /s
3	Ancho del río	10.00	m
4	Altura del paramento	5.50	m

Fuente: El Autor.

3.2.2. Azud de derivación:

Para la determinación de las dimensiones del azud de derivación se utilizará el proceso determinado en el capítulo 5.2 de la presente, iniciando por la determinación de la altura del paramento y el coeficiente de descarga mediante las expresiones descritas en el capítulo dos de la presente disertación.

El valor de la altura del paramento se determinará mediante iteraciones consecutivas hasta obtener los valores de el paramento (P), el calado sobre el vertedero (H_o) y el coeficiente de descarga (c_o). Los resultados se muestran en la tabla 3.35.

Tabla 3.34: Resultados de la altura del paramento, coeficiente de descarga, y calado máximo.

P/Ho	c	Ho	P/Ho
1,00	2,14	5,33	1,03
1,05	2,15	5,33	1,03
1,04	2,15	5,33	1,03
1,03	2,14	5,33	1,03

Fuente: El Autor.

Una vez determinado estos valores se debe determinar el valor de la carga cinética (h_o) mismo que es determinado mediante la ecuación 2.2 (que se muestra a continuación), para determinar el valor de la relación (h_o/Ho) misma que permite determinar los valores de los coeficientes n y k necesarios para definir la ecuación del perfil Kreager que evacuará el caudal de máxima crecida, estos coeficientes se determinan con el uso de los ábacos mostrados en la gráfica 2.5 a través de observación. Los resultados son los siguientes:

Tabla 3.35: Condiciones de diseño para el perfil Kreager.

Ítem	Característica	Valor	Unidad
1	Altura del paramento	5.50	M
2	Calado máximo	5.30	M
3	Carga cinética	0.87	M
4	Coeficiente n	0.49	
5	Coeficiente k	1.83	
6	Longitud total del vertedor Kreager	8.00	M

Fuente: El Autor.

Una vez determinados los valores de los coeficientes n y k se determina la ecuación del perfil reemplazando los valores de estos coeficientes en la ecuación 2.1, para obtener las coordenadas del perfil, se iniciará en el vértice con coordenadas (0,0) aumentando el valor de la coordenada X hasta obtener un valor del mismo en el cual el valor de la coordenada Y sea muy cercana al valor del paramento del proyecto, para el caso del valor será de cinco punto cinco metros ($P=5.5m$).

De esta manera se obtiene la siguiente tabla de coordenadas:

Tabla 3.36: Coordenadas del perfil Kreager medidas desde el vértice.

X	Y
0	0
0.5	-0.03
0.75	-0.07
1	-0.12
1.5	-0.26
2	-0.43
2.5	-0.65
3	-0.91
3.5	-1.21
4	-1.54
4.5	-1.92
5	-2.32
5.5	-2.77
6	-3.24
6.5	-3.76
7	-4.30
7.5	-4.88
8	-5.49

Fuente: El Autor.

3.2.3. Diseño del cuenco disipador de energía.

Para el dimensionamiento de este elemento se tomará en cuenta las condiciones más críticas de diseño a la que la obra de captación estará sometida dentro de su vida útil, es decir, deberá tener la capacidad de disipar la energía de flujo para el caudal de máxima crecida de un proyecto, como se muestra en la tabla 3.38, este valor de caudal será de 263.90 m³/s, además de estar condicionados a utilizar el mismo ancho con el que se dimensionó el perfil Kreager de diez metros (10 m), bajo estas condiciones iniciales y utilizando la metodología definida en el capítulo 5.2 de la presente, el dimensionamiento del cuenco presenta los siguientes resultados:

Tabla 3.37: Resultados del diseño del cuenco disipador de energía.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Calado critico	yc	4.14	m
2	Carga energética crítica	hc	6.21	m
3	Energía total	E	11.71	m
4	Calado contraído	Y1	2.01	m
5	Calado conjugado	Y2	7.47	m
6	Longitud del resalto	Lr	10.46	m
7	Velocidad en la contracción	V1	12.99	m/s
8	Número de Froude	F1	0.66	

Fuente: El Autor.

De la gráfica 2.8 determinamos la relación h/y_1 misma que nos permite dimensionar el dintel de salida del cuenco, esta relación dependerá del número de Froude

determinado según el procedimiento mostrado en el capítulo 5.2 en la sección correspondiente.

Al determinarse un número de Froude menor a dos, se decide trabajar con el valor de h/Y_1 correspondiente al número de Froude de valor dos; de esta manera se asegurará un colchón de agua constante mediante el cual se permita la disipación de energía de manera constante durante la vida útil del proyecto, este valor corresponde a un valor de 0.3; de esta manera el valor final de la altura del dintel de salida del azud será de un 30% del valor del calado conjugado. Para el caso de estudio será entonces:

$$h_d = 0.3 * Y_1$$

$$h_d = 1.24m$$

Las dimensiones finales del cuenco se muestran en la tabla 3.39.

Tabla 3.38: Resumen dimensiones cuenco.

Ítem	Dimensión	Símbolo	Valor	Unidad
1	Ancho del cuenco	Br	10	m
2	Longitud final del cuenco	Lr	11	m
3	Calado contraído	Y1	2.01	m
4	Calado conjugado	Y2	7.47	m
5	Altura del dintel de salida	hd	1.25	m

Fuente: El Autor.

3.2.4. Rejilla de fondo.

Este tipo de rejilla de captación se utiliza debido a las condiciones específicas del caso de estudio, condiciones como el bajo contenido de sólidos de tamaños importantes suspendidos en el cauce del río y las fluctuaciones en el régimen de caudal que pasa en el sector donde se ha decidido realizar el cierre para el aprovechamiento del mismo. La información necesaria para el dimensionamiento de la rejilla de fondo se muestra en la tabla 3.39.

Tabla 3.39: Datos de ingreso para el diseño de la rejilla de fondo.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	0.90	m ³ /s
2	Longitud de la rejilla	Lrf	4.20	m
3	Inclinación con la horizontal	α	12.00	°
4	Separación entre los barrotes	s	0.04	m
5	Espesor de los barrotes	t	0.03	m
6	Ancho de los barrotes	eb	0.03	m
7	Porcentaje de obstrucción	f	30.00	%

Fuente: El Autor.

El proceso de diseño estará guiado mediante el proceso definido en el capítulo 5.2 de la presente disertación y se aplicará el mismo a las condiciones de diseño mostradas en la tabla 3.40, de esta manera el proceso arroja los siguientes resultados:

Tabla 3.40: Resumen de valores determinados para la rejilla de fondo.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Coeficiente de contracción	crf	0.43	adim
2	Coeficiente de obstrucción	krf	0.40	adim
3	Ancho de la rejilla	brf	0.50	m
4	Relación s/t	s/t	1.33	m/m
5	Coeficiente de contracción	Cor	0.50	adim
6	Pendiente de la rejilla	i	0.21	adim

Fuente: El Autor.

Una vez realizados estos cálculos, las dimensiones finales de la rejilla se muestran en la tabla 3.41.

Tabla 3.41: Resumen de valores determinados para la rejilla de fondo.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	0.90	m ³ /s
2	Longitud de la rejilla	Lrf	4.20	m
3	Inclinación con la horizontal	α	12.00	°
4	Separación entre los barrotes	s	0.04	m
5	Espesor de los barrotes	t	0.03	m
6	Ancho de los barrotes	eb	0.03	m
7	Porcentaje de obstrucción	f	30.00	%
8	Ancho de la rejilla	brf	0.55	m

Fuente: El Autor.

3.2.5. Galería de captación.

Se inicia determinando un número finito de divisiones para la longitud de la galería, misma que se determina desde el extremo opuesto a la salida de la galería, hasta la

salida de la misma hacia el siguiente elemento de la captación, a continuación, se determina un valor de velocidad máxima dentro de la galería esta velocidad está determinada mediante la ecuación 2.32, y deberá estar dentro de los valores mínimos y máximos recomendados en el método. Para el caso de estudio se determinó una velocidad máxima de 3 m/s, además se definió como material a utilizarse el hormigón de acabado liso minimizando las pérdidas por fricción en la galería definiendo el coeficiente de Manning en un valor de 0.013, esas condiciones, además de la ubicación de la rejilla de fondo en la cresta del vertedero, orientan al uso de una sección rectangular para facilitar el proceso de construcción de la galería en la fase de ejecución del proyecto objeto de estudio. Una vez definidas de manera general, estas características de la galería de captación, se procede a determinar las cotas finales de la galería, la tabla 3.44 muestra los valores de las características iniciales de la galería.

Tabla 3.42: Características iniciales de la galería.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud de la galería	Lgal	7	m
2	Número de divisiones	ndrf	5	adim
3	Coeficiente de Manning	C	0.013	adim
4	Cota de la cresta de la rejilla	Niv	1000	msnm
5	Tipo de sección		rectangular	
6	Velocidad mínima	Vo	1	m/s
7	Velocidad máxima	Vf	3	m/s
8	Ancho de la rejilla	brf	0.55	m
9	Aceleración de la gravedad	g	9.81	m/s

Fuente: El Autor.

Siguiendo el proceso definido en el capítulo 5.2, se determinan los valores necesarios para la determinación de la cota final de la galería, los resultados se presentan en la tabla 3.44 mostrada a continuación:

Tabla 3.43: Resultados del diseño de la galería de captación.

Punto	X_i	Q_i	V_i	A_{gal}	d_{gal}	P_{gal}	r_{hgal}	C_m	J_{gal}	h_{fgal}	Suma de perdidas	h_{vgal}	Sh_{fgal}	Cota
1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	-	-	0.0000	0.05	0.05	999.95
2	1.40	0.20	1.20	0.17	0.31	1.15	0.143	49.95	0.0040	0.0056	0.0056	0.07	0.39	999.61
3	2.80	0.40	1.40	0.28	0.52	1.59	0.18	52.42	0.0040	0.0112	0.0168	0.10	0.64	999.36
4	4.20	0.59	1.60	0.37	0.69	1.92	0.19	53.42	0.0046	0.0195	0.0363	0.13	0.86	999.14
5	5.60	0.79	1.80	0.44	0.82	2.17	0.20	53.95	0.0055	0.0308	0.0671	0.17	1.05	998.95
6	7.00	0.99	2.00	0.50	0.92	2.38	0.21	54.29	0.0065	0.0456	0.1126	0.20	1.23	998.77

Fuente: El Autor.

Para finalizar, en la tabla 3.45 se muestran los valores finales para el diseño de la galería de captación:

Tabla 3.44: Características para el diseño de la galería.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	0.90	m ³ /s
2	Longitud de la rejilla	Lrf	4.00	m
3	Inclinación con la horizontal	α	12.00	°
4	Separación entre los barrotes	s	0.04	m
5	Espesor de los barrotes	t	0.03	m
6	Ancho de los barrotes	eb	0.03	m
7	Porcentaje de obstrucción	f	30.00	%
8	Ancho de la rejilla	brf	0.55	m
9	Longitud de la galería	Lgal	7.00	m
10	Coefficiente de Manning	C	0.013	adim
11	Tipo de sección		rectangular	

Fuente: El Autor.

Y las coordenadas finales de la galería se muestran en la tabla 3.46.

Tabla 3.45: Coordenadas de la galería de captación.

Punto	Xi	Cota
1	0.00	999.95
2	1.40	999.89
3	2.80	999.82
4	4.20	999.72
5	5.60	999.60
6	7.00	999.45

Fuente: El Autor.

3.2.6. Desripiador y canal de transición.

El diseño de estos elementos es realizado de manera conjunta, teniendo en cuenta las condiciones de diseño del desripiador, mismo que depende de las dimensiones finales del canal de transición, permitiendo un mejor manejo de las condiciones de diseño y de las dimensiones finales de ambos elementos.

Siguiendo el proceso de diseño sugerido en el capítulo 5.2 de la presente se deberá tener en cuenta los valores iniciales mostrados en la tabla 3.47.

Tabla 3.46: Datos iniciales para el diseño del desripiador y el canal de transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s
2	Tipo de rejilla	de fondo		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	br	0.55	m
5	Ancho del canal recolector		0.71	m
6	Coefficiente de descarga	Co	2.00	
7	Coefficiente de sumergencia	S	0.96	
8	Calado de la galería	Hreg	0.55	m

Fuente: El Autor.

Se han determinado las dimensiones del canal de transición, permitiendo el diseño del desripiador, al tener en cuenta que la longitud del desripiador se determina mediante la metodología de transiciones y esta metodología se determina usando las dimensiones de los canales a “unir” mediante esta transición, para el caso del

desripiador se debe tener las dimensiones del ancho del desripiador y del ancho del canal de transición, para ser “unidos” mediante una transición.

Los resultados del diseño del canal de transición se muestran en la tabla 3.48.

Tabla 3.47: Dimensiones del canal de transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s
2	Tipo de rejilla	de fondo		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	br	0.55	m
5	Calado de control	hct	0.70	m
6	Revestimiento	Concreto con material en suspensión		
7	Velocidad de control	vct	2.00	m/s
8	Ancho del canal recolector	bct	0.75	m

Fuente: El Autor.

A continuación, se muestran los resultados del diseño del desripiador en la tabla 3.48.

Tabla 3.48: Dimensiones del desripiador.

Dimensionamiento horizontal				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud del desripiador		1.26	m
2	Ancho del desripiador	bd	1.26	m
Dimensionamiento vertical				
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
3	Altura del desripiador	hd	2.55	m
4	Apertura de la compuerta	ac	0.50	m
5	Ancho de la compuerta	bc	0.50	m
6	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56	
7	Relación altura apertura	hd/ac	4.00	
8	Inclinación de la compuerta		90.00	°

Fuente: El Autor.

3.2.7. Desarenador.

El dimensionamiento de este elemento se realiza siguiendo las definiciones en el capítulo 5.2 de la presente. Para el dimensionamiento de un desarenador se deberán definir las condiciones bajo las cuales este desarenador trabajará, estos datos se presentan en la tabla 3.49.

Tabla 3.49: Condiciones iniciales para el diseño del desarenador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.9	m ³ /s	
2	Diámetro de partícula		0.25	mm	
3	Número de cámaras	nc	2	unidad	
4	Relación ancho-calado	r	1		
5	Velocidad de sedimentación	w	2.7	cm/s	
6	Factor de seguridad		10	%	
7	Coefficiente del desarenador	kd	1.3		
8	Velocidad de flujo	vh	0.15	m/s	entre 0.1 a 0.4 m/s

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados se muestran en la tabla 3.50, se tuvo en cuenta que no existen limitaciones topográficas para la colocación de este elemento, inmediatamente después del canal de transición y la transición de este canal hacia las cámaras desarenadoras.

Tabla 3.50: Resultados del diseño del desarenador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de cada cámara	Qc	0.99	m ³ /s
2	Área útil de desarenación	Ac	6.60	m ²
3	Ancho	bc	2.57	m
4	Calado	hc	2.57	m
5	Longitud de la cámara	Ls	18.55	m

Fuente: El Autor.

De estos cálculos se redondearán las dimensiones para facilitar la fase de ejecución del proyecto, además, se colocará una pared divisora entre cámaras de 40 cm para facilitar el armado estructural del mismo.

3.2.8. Transición hacia el desarenador.

El diseño de este elemento seguirá el método definido en el capítulo 5.2 de la presente. Para el desarrollo del ejemplo, se ha decidido utilizar una transición mediante dos curvas, debido a las ventajas que presenta realizar una transición de este tipo.

Los datos necesarios para el diseño de este elemento se muestran en la tabla 3.52.

Tabla 3.51: Datos iniciales para el diseño de la transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.9	m ³ /s	
2	Ancho de entrada	B1	0.8	m	canal de transición
3	Ancho de salida	B2	9.2	m	total, desarenador
4	Tipo de transición		curva		
5	Número de divisiones		10		
6	Ángulo de la transición	α	12.5	°	
7	Longitud exacta	Lt	18.9449757	m	calculado
8	Longitud final	Lt	19		
9	Radio de giro	Rt	22.478915	m	

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados se muestran en la tabla 3.53.

Tabla 3.52: Diseño de la transición.

Ítem	X_i	x_i^2	$(L-x_i)^2$	raíz	R-raíz	$0.5(b-b_2)$	b	Unidad
1	0.00	0.00		22.48	0.00	4.21	9.22	m
2	1.90	3.61		22.40	0.08	4.13	9.06	m
3	3.80	14.44		22.16	0.32	3.89	8.58	m
4	5.70	32.49		21.74	0.73	3.48	7.76	m
5	7.60	57.76		21.16	1.32	2.89	6.58	m
6	9.50	90.25	90.25	20.37	2.11	2.11	5.01	m
7	11.40		57.76	21.16	1.32	1.32	3.45	m
8	13.30		32.49	21.74	0.73	0.73	2.27	m
9	15.20		14.44	22.16	0.32	0.32	1.45	m
10	17.10		3.61	22.40	0.08	0.08	0.96	m
11	19.00		0.00	22.48	0.00	0.00	0.80	m

Fuente: El Autor.

Se debe destacar que las dimensiones de los anchos de la transición correspondientes a cada coordenada están medidas desde el ancho mayor hacia el ancho menor de la transición, como se muestra en la tabla 3.52.

3.2.9. Tanque de recolección.

Los cálculos para el diseño de este elemento están mostrados en la tabla 3.54.

Tabla 3.53: Diseño del volumen específico del tanque de recolección.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s	
2	Factor de seguridad		10.00	%	
3	Ancho	bt	6.00	m	
4	Velocidad de flujo	vt	0.10	m/s	
5	Tiempo de retención	tr	60.00	s	
6	Longitud	Lt	6.00	m	Calculado
7	Profundidad	ht	1.65	m	Calculado

Fuente: El Autor.

Este elemento contempla el diseño del volumen efectivo del tanque, con una forma cúbica y se debe tener en cuenta los empalmes hacia este tanque desde el vertedero del desarenador.

3.2.10. Vertederos de control.

Para el caso de estudio se colocará un vertedero en el tanque de recolección de manera que se determine un calado con el que se pueda evacuar un 10 % del caudal de diseño del proyecto. Bajo estas condiciones, en la tabla 3.55 se muestra el diseño de este elemento. Se determina el valor del coeficiente de descarga en un valor de 2 debido a que este valor permite una aproximación coherente a la realidad del caso de estudio.

Tabla 3.54: Diseño del vertedero de control.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.09	m ³ /s	
2	Longitud	L	2.00	m	
3	Calado	h	0.08	m	Calculado
4	Coefficiente de descarga	co	2.00		

Fuente: El Autor.

3.2.11. Compuertas de limpieza.

La tabla 3.56 muestra la lista de compuertas de control además de las ubicaciones de las mismas dentro de toda la obra de captación para este caso.

Tabla 3.55: Ubicación de las compuertas de limpieza.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Azud	Limpieza	1.00	1.00	m
2	Desripiador	Limpieza	1.00	0.50	m
3	Desarenador	Limpieza	2.00	1.00	m

Fuente: El Autor.

El diseño de estas compuertas seguirá el proceso definido en el capítulo 5.2 de la presente y pretenderá determinar la apertura con la cual la compuerta es capaz de evacuar el caudal de diseño de la misma, bajo las condiciones específicas de uso de cada una de ellas. Los cálculos realizados se muestran en las tablas correspondientes a cada compuerta, estas tablas además de su correspondiente curva de descarga se muestran a continuación:

- Compuerta de limpieza de azud de derivación.

Tabla 3.56: Diseño de la compuerta de limpieza del azud.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	3.00	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	5.50	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.51	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m	
5	Coeficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
6	Relación altura apertura	h/ac	4.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

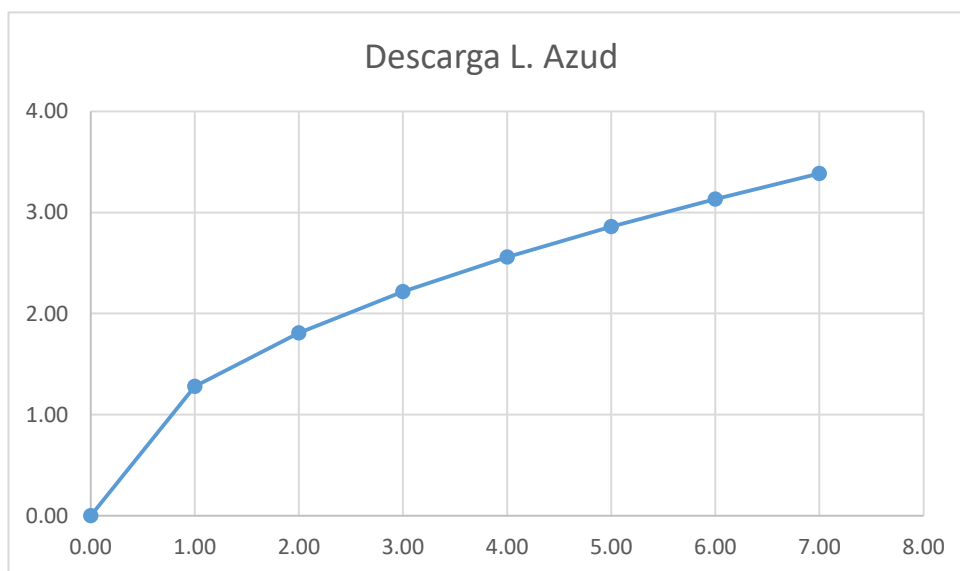
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 3.58 y la figura 3.7.

Tabla 3.57: Descarga de la compuerta de limpieza para el azud.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
1.00	1.28
2.00	1.81
3.00	2.22
4.00	2.56
5.00	2.86
6.00	3.13
7.00	3.38

Fuente: El Autor.

Figura 3.9: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza del desripiador.

Esta compuerta ya fue diseñada en el capítulo 3.2.5 capítulo correspondiente al desripiador, de manera que a continuación se muestra el mencionado diseño de la compuerta, además de la tabla y gráfica correspondientes a la curva de descarga para esta compuerta.

Tabla 3.58: Diseño de la compuerta de limpieza del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s	
2	Altura del desripiador	hd	2.55	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.50	m	
4	Ancho de la compuerta	bc	0.50	m	
5	Coeficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
6	Relación altura apertura	hd/ac	4.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

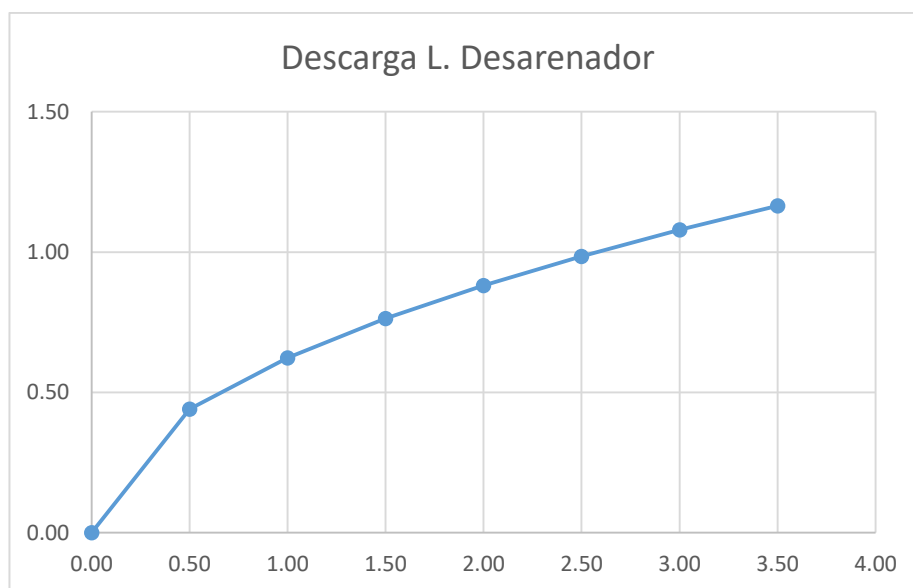
La curva de descarga para esta compuerta se muestra en la tabla 3.59 y la gráfica 3.10.

Tabla 3.59: Descarga de la compuerta de limpieza del desripiador.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.44
1.00	0.62
1.50	0.76
2.00	0.88
2.50	0.98
3.00	1.08
3.50	1.17

Fuente: El Autor.

Figura 3.10: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desripiador.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza de una cámara desarenadora.

Estas dos compuertas se ubican al final de desarenador y permiten evacuar los sólidos recolectados en la una cámara durante las operaciones de mantenimiento del desarenador.

Tabla 3.60: Diseño de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	3.40	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.20	m	Calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m	
5	Coeficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

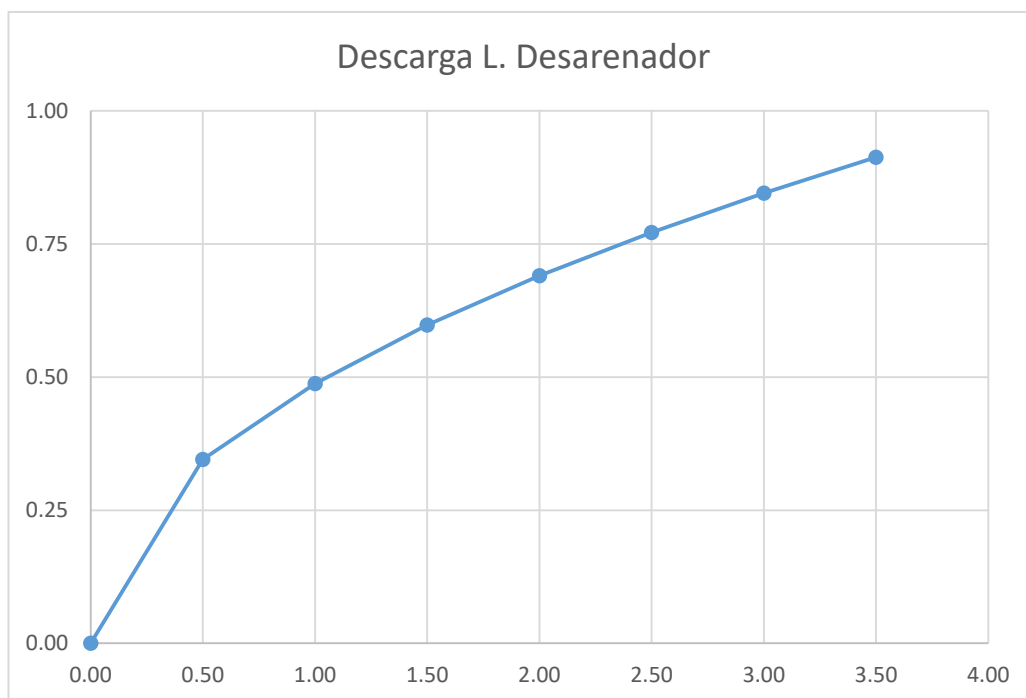
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 3.62 y la figura 3.11.

Tabla 3.62: Descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.35
1.00	0.49
1.50	0.60
2.00	0.69
2.50	0.77
3.00	0.85
3.50	0.91

Fuente: El Autor.

Figura 3.11: Curva de descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

3.2.12. Compuertas de control.

Estas compuertas tienen como objeto impedir el paso del caudal derivado por la rejilla hacia algún elemento de la obra de captación. Estas se muestran en las ubicaciones mencionadas en la tabla 3.63, además se presentan las principales características de las mismas.

Tabla 3.613: Ubicación de las compuertas de control.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Galería de captación	Control	1.00	1.00	m
2	Canal de transición	Control	1.00	0.75	m
3	Desarenador	Control	2.00	1.00	m

Fuente: El Autor.

- Compuerta de control de la galería de captación.

Esta compuerta permitirá el cierre del caudal captado por la rejilla y recogido en la galería de captación, para las operaciones de mantenimiento del desarenador. El diseño de esta compuerta se muestra en la tabla 3.64.

Tabla 3.624: Diseño de la compuerta de control de la galería de captación.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.80	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.75	m	calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	0.55	m	
5	Coeficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

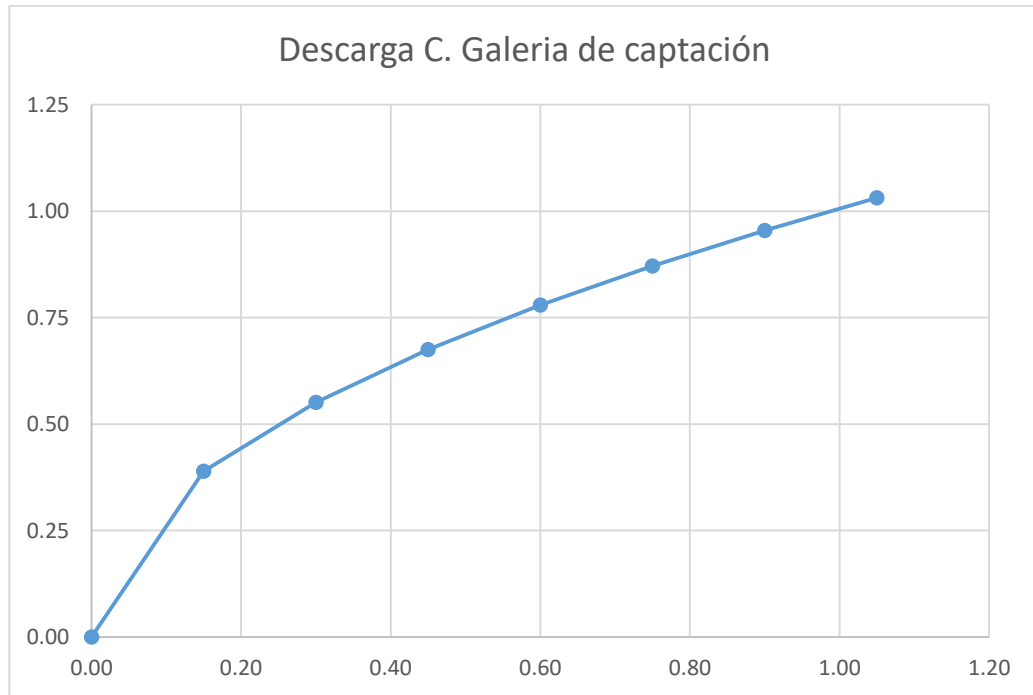
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 3.65 y la figura 3.12.

Tabla 3.635: Descarga para la compuerta de control de la galería de captación.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.39
0.30	0.55
0.45	0.68
0.60	0.78
0.75	0.87
0.90	0.95
1.05	1.03

Fuente: El Autor.

Figura 3.12: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de control del desripador.

El cierre de esta compuerta permite las operaciones de mantenimiento sobre el canal de transición y la transición hacia las cámaras desarenadoras. El diseño de esta compuerta se muestra en la tabla 3.66.

Tabla 3.646: Diseño de la compuerta de control del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.60	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.64	m	calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	0.75	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

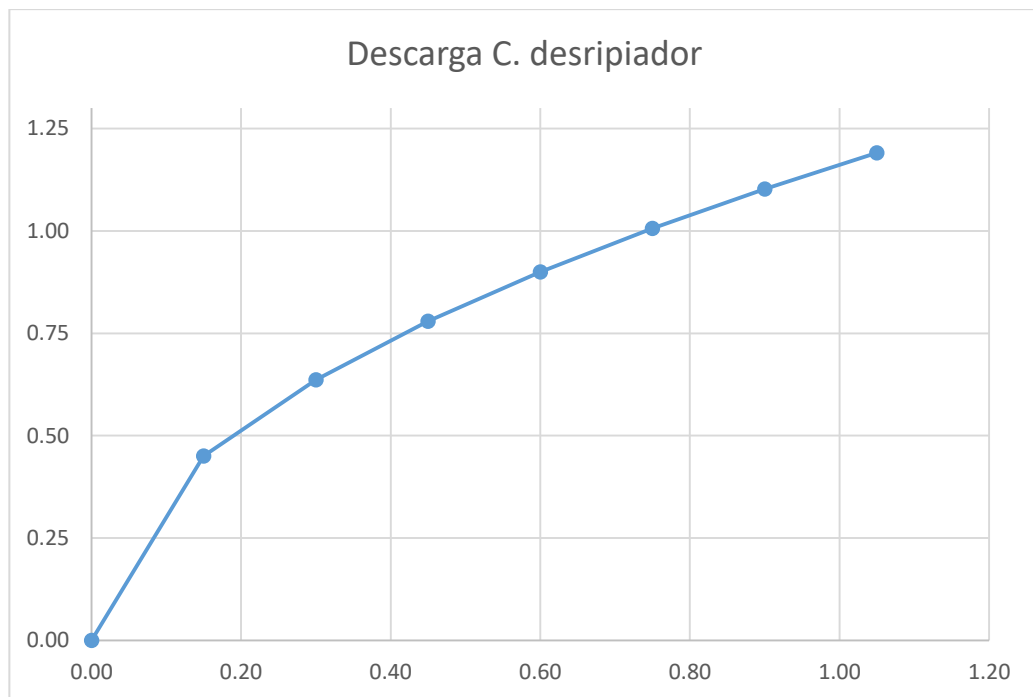
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 3.67 y la figura 3.13.

Tabla 3.657: Descarga de la compuerta de control del desripiador.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.45
0.30	0.64
0.45	0.78
0.60	0.90
0.75	1.01
0.90	1.10
1.05	1.19

Fuente: El Autor.

Figura 3.13: Curva de descarga de la compuerta de control del desripiador.



Fuente: El Autor.

- Compuertas de control en las cámaras desarenadoras.

Estas dos compuertas se ubican a 3.50m después de iniciada la transición hacia el desarenador, ubicación en la que el calado será muy cercano a 95cm, permitiendo de esta manera, el diseño de esta compuerta, mismo que se muestra en la tabla 3.68.

Tabla 3.668: Diseño de la compuerta de control de las cámaras desarenadoras.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.95	m	
3	Apertura de la compuerta	ac	0.37	m	calculado
4	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
6	Relación altura apertura	h/ac	4.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

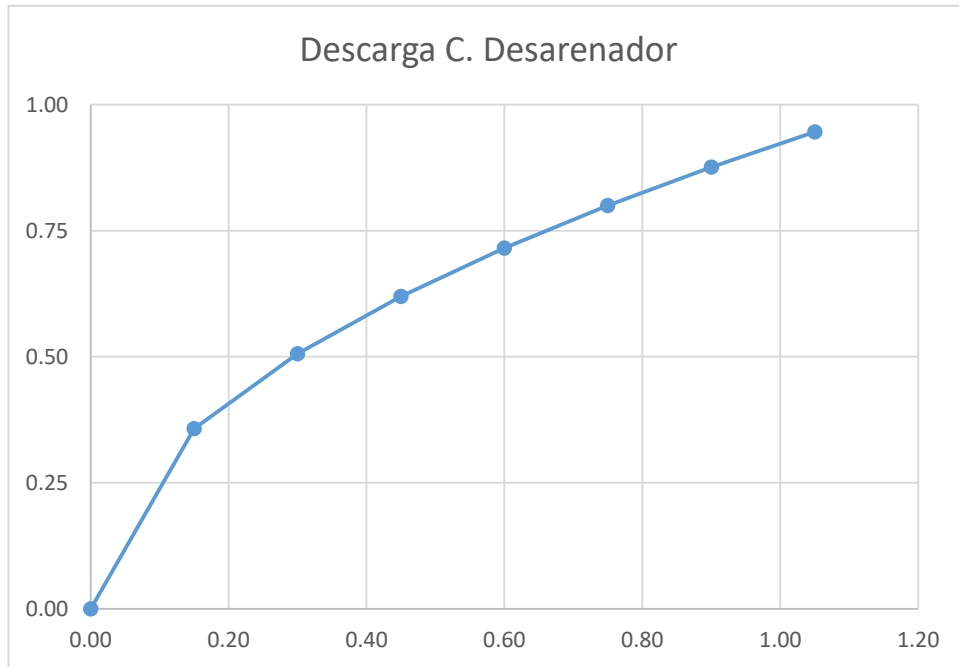
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 3.69 y la figura 3.15.

Tabla 3.679: Descarga para la compuerta de control de las cámaras desarenadoras.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.36
0.30	0.51
0.45	0.62
0.60	0.72
0.75	0.80
0.90	0.88
1.05	0.95

Fuente: El Autor.

Figura 3.14: Curva de descarga de las compuertas de control de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

4. Introducción a Matlab.

Matlab es un paquete computacional que permite la programación mediante un lenguaje de programación de alto nivel, desarrollado y orientado al cálculo técnico con un entorno de visualización amigable, además de la codificación de programas.

El nombre Matlab proviene de “Matrix Laboratory” (laboratorio de matrices), debido a las etapas iniciales, fue codificado como un software para la realización de operaciones con matrices.

Matlab se ha desarrollado desde 1984, iniciando como un programa para la realización de operaciones con matrices, hasta convertirse en el lenguaje técnico para cálculo y desarrollo de aplicaciones que hoy conocemos, en base a las necesidades de los usuarios del mismo, abarcando ámbitos académicos como empresariales. (Baez, 2010).

4.1. Características principales de Matlab.

Matlab ha integrado aspectos como la visualización, compilación y programación para producir una herramienta poderosa para un grupo importante de diferentes aplicaciones en matemáticas. (Baez, 2010).

De manera general Matlab ofrece un conjunto de características útiles para el desarrollo de aplicaciones y para la aplicación del mismo como herramienta para el

cálculo técnico de alto nivel. Las principales características que ofrece Matlab se pueden enumerar:

- Leguaje de programación de alto nivel técnico.
- Entorno de desarrollo para gestión de datos, archivos y código de programación.
- Herramientas interactivas para la exploración, diseño y resolución de problemas interactivos.
- Funciones matemáticas para algebra lineal. Estadística, optimización, integración numérica y análisis de Fourier.
- Funciones para la visualización de gráficas en 2 y 3 dimensiones.
- Herramientas para la generación de interfaces gráficas de usuario personalizadas.
- Funciones para integrar algoritmos basados en Matlab con aplicaciones y lenguajes de programación externos, lenguajes como FORTRAN, Java, C/C++, etc.
- Análisis de datos.
- Herramientas para la modelación y simulación.
- Desarrollo de interfaces gráficas.

Estas características, entre muchas otras, convierten a Matlab en una herramienta válida para la aplicación y desarrollo de aplicaciones con usos dentro de numerosos campos.

4.2. Selección de Matlab como lenguaje de programación.

Conociendo el objetivo principal de la presente disertación, el lenguaje de programación a utilizarse debe permitir el desarrollo de aplicaciones, mismas que permitan al usuario final la comprensión del mismo, esta característica, se presenta dentro de la mayoría de lenguajes de programación utilizados en la actualidad.

La aplicación a desarrollarse debe permitir el diseño hidráulico de los diferentes elementos que componen una captación, el desarrollo de procesos iterativos y operaciones matemáticas complejas; debido a esto, el lenguaje de programación deberá poseer sentencias de programación que permitan la realización de estas operaciones.

Matlab ofrece un conjunto de sentencias de programación tanto lógicas como matemáticas, que facilitan el desarrollo de estas operaciones al optimizar el número de sentencias usadas para la realización de estas.

Otros lenguajes de programación poseen sentencias lógicas y matemáticas simples haciendo necesario el desarrollo de sentencias similares a las ya desarrolladas por Matlab, haciendo más complejo el desarrollo de la aplicación y aumentando el riesgo de errores en la codificación del programa.

Además, se deberá conformar una base de datos inicial presente dentro del programa a desarrollarse, de esta manera Matlab ofrece el acceso y administración de bases de datos como parte de las rutinas básicas del paquete Matlab.

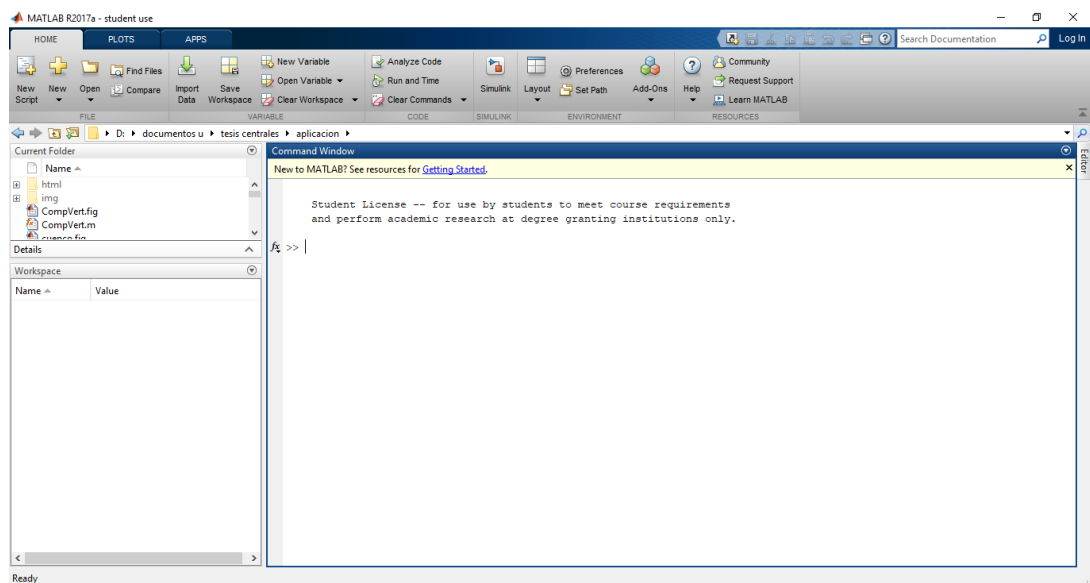
De manera resumida, se selecciona a Matlab como la herramienta que permita el desarrollo del programa objeto de la presente disertación, debido a la importante cantidad de rutinas para el desarrollo de procesos matemáticos complejos, además de brindar acceso a herramientas básicas para el desarrollo de aplicaciones comunes dentro de otros lenguajes de programación, es decir, Matlab presenta varias características que para el desarrollo del programa objeto de la presente, mismas que, permitirán un manejo más eficiente del conjunto final de sentencias de programación, el manejo necesario de las bases de datos utilizadas en la fase de desarrollo del programa como en el uso final del mismo, una interfaz gráfica sencilla para el desarrollo de aplicaciones como para el uso por parte del usuario final.

4.3. Entorno de trabajo de Matlab.

El entorno de trabajo es el conjunto de ventanas, menús y sub menús que ofrece un paquete computacional para el uso por parte del usuario. Matlab presenta un escritorio mediante el cual se tiene acceso a estos elementos para su uso por parte del usuario. Se iniciará por definir cada uno de los elementos presentes en el mismo para enumerar de manera general los usos que brindan estos dentro de Matlab como un programa.

La ventana principal de Matlab muestra el conjunto de menús, barras de acción y ventanas de trabajo desde las cuales se desarrollan cálculos como aplicaciones, esta ventana se muestra en la figura 4.1.

Figura 4.1: Entorno de trabajo de Matlab, ventana inicial.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab. (Versión: 2017a).

En la figura 4.1 se presenta la ventana principal de Matlab, donde podemos observar las diferentes secciones que posee Matlab.

4.3.1. Barra de menú “Home”.

De manera general las barras de menú permiten el acceso a un conjunto de herramientas que facilitan el trabajo en el entorno de Matlab. Para el desarrollo de la presente los botones utilizados fueron:

- “New”: Este botón permite crear una nueva aplicación, esta puede ser desarrollada en Guide o como aplicación de Matlab, para propósitos de la presente se ha desarrollado el programa en el formato Guide.
- “Open”: Este botón permite abrir una aplicación previamente desarrollada.

Para mayor detalle del funcionamiento de este menú, referirse al capítulo correspondiente del manual de usuario de Matlab.

4.3.2. Barra de menú “Editor”.

Esta barra de menú contiene opciones para el desarrollo de sentencias de programación en general. Los botones utilizados para el desarrollo de la presente fueron:

- “New”: Este botón permite crear una nueva aplicación, esta puede ser desarrollada en Guide o como aplicación de Matlab, para propósitos de la presente se ha desarrollado el programa en el formato Guide.
- “Open”: Este botón permite abrir una aplicación previamente desarrollada.
- “Save”: Este botón permite guardar un documento, Matlab nombra documento a cualquier ventana, script, secuencia de comandos, etc., que puede ser generado dentro de sí mismo.
- “Run”: Este botón permite ejecutar las sentencias colocadas en Matlab, para el caso de la presente este botón permitirá la ejecución de las ventanas desarrolladas para objetivo de la misma.

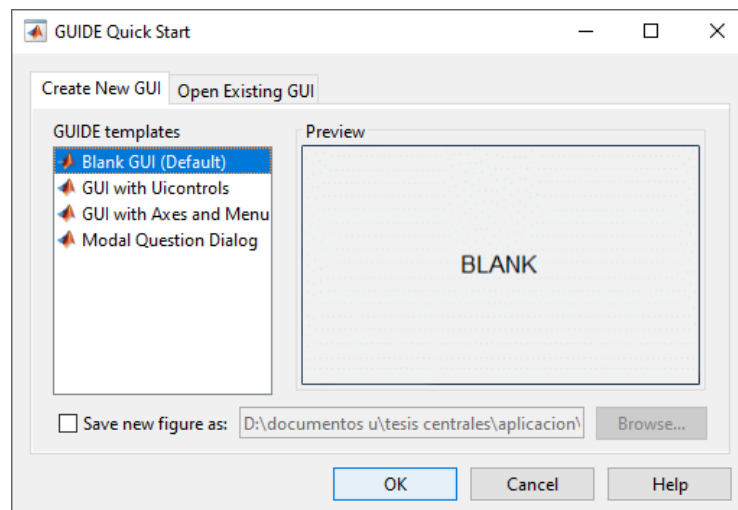
Para mayor detalle del funcionamiento de este menú referirse al capítulo correspondiente del manual de usuario de Matlab.

Dentro de este conjunto de ventanas básicas la aplicación ha de utilizar la interfaz de creación de aplicaciones de Matlab esta interfaz se conoce como GUI.

4.3.3. Interfaz Guide (GUI).

Al iniciar esta interfaz aparece la ventana de inicio rápido donde se puede crear una nueva ventana o abrir una existente. Esta ventana se muestra en la figura 4.2.

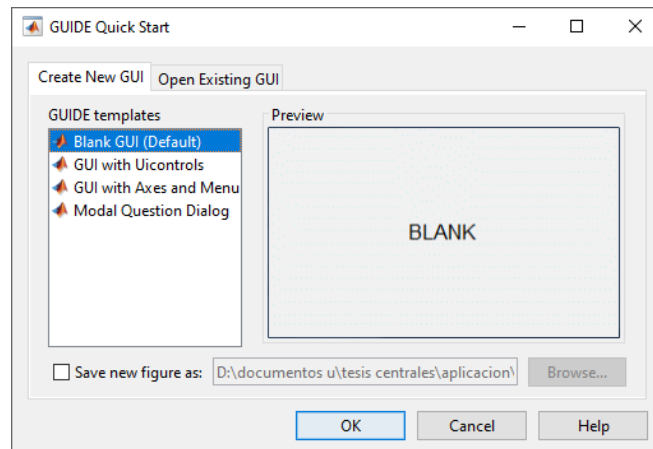
Figura 4.2: Ventana para el diseño de interfaces Guide.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab. (Versión: 2017a).

Cuando se inicia una nueva figura aparece la ventana de entorno de trabajo para la figura que contiene un conjunto de herramientas que permiten el desarrollo de una aplicación. Esta ventana se muestra en la figura 4.2.

Figura 4.3: Ventana de gestión de interfaces Guide, interfaz en blanco.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab. (Versión: 2017a).

Para mayor detalle del funcionamiento de esta interfaz referirse al capítulo correspondiente del manual de usuario de Matlab.

4.4. Programación en Matlab.

El proceso de programación consiste en colocar un conjunto de sentencias en lenguaje de programación Matlab que permitan al computador procesar los datos de entrada y generar los resultados específicos.

Un lenguaje de programación es un conjunto de caracteres y reglas de uso que permiten la comunicación entre el usuario y la computadora. (Prieto, 1995). Este lenguaje de programación ha permitido a una gran cantidad de usuarios el desarrollo de aplicaciones en varios campos, de esta manera, el crecimiento de Matlab como una herramienta útil en cada uno de estos campos ha ido en crecimiento, llegando a tener un repositorio de aplicaciones desarrolladas por usuarios conocidos como “Add-on” mismos que se encuentran avalados por la empresa Mathworks y la marca Matlab

Para el desarrollo de programas Matlab cuenta un el utilitario GUI (interfaz gráfica del usuario, traducido al español) mismo que permite al usuario la interacción con el ordenador de manera rápida, permitiendo una programación orientada a objetos. (Héron, 2005).

Matlab cuenta con su propio lenguaje de programación, conocido como lenguaje “M”. Además, incorpora un conjunto de rutinas de fácil aplicabilidad, que permiten la solución de problemas matemáticos complejos aplicables a la ingeniería civil. (MathWorks, 2016).

4.4.1. Ambiente de desarrollo del programa.

Se conocerá como ambiente de desarrollo del programa al conjunto de elementos utilizados durante este proceso.

- Hardware utilizado: Intel (R) Core I7, 8GB en RAM, 500GB HDD.
- Windows 10 Pro.
- Matlab 2017 a para uso estudiantil.

5. Desarrollo del programa.

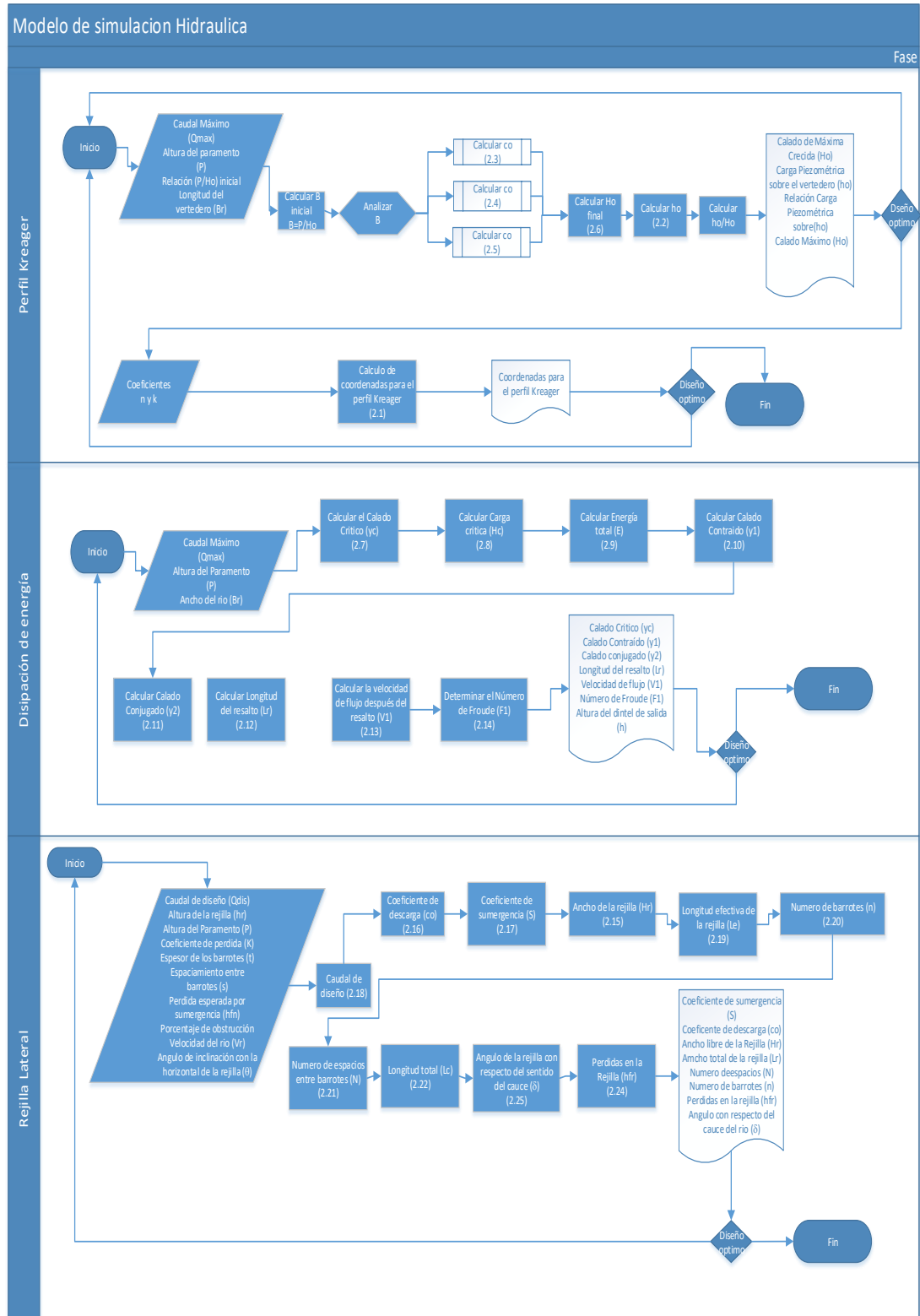
El desarrollo del programa estará dividido en tres instancias que definen el elemento o evento analizado, el algoritmo de cálculo para el mismo y el conjunto de sentencias que permiten el desarrollo del algoritmo.

5.1. Modelo de simulación hidráulica.

El modelo de simulación hidráulica es la aplicación del conjunto de expresiones matemáticas, que permiten la determinación de las dimensiones básicas necesarias para el diseño de los elementos que componen una captación superficial, expresiones mencionadas en el capítulo 5.2 de la presente disertación. Estas expresiones simulan la realidad del comportamiento de los elementos que intervienen en una estructura de captación.

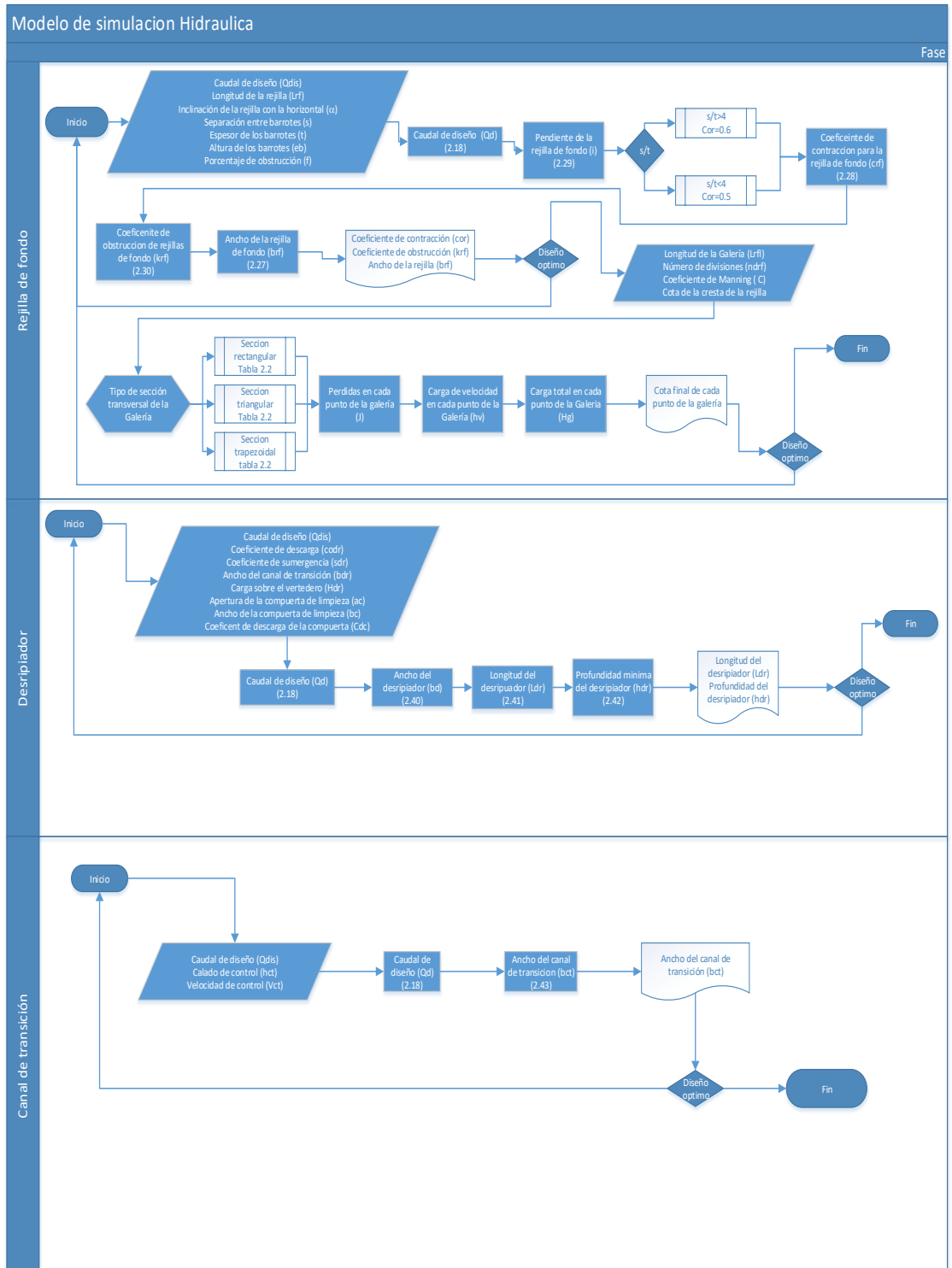
A continuación, se presenta el diagrama de flujo de cada uno de los elementos que se han desarrollado en la presente disertación.

Figura 5.1: Modelo de simulación hidráulica.



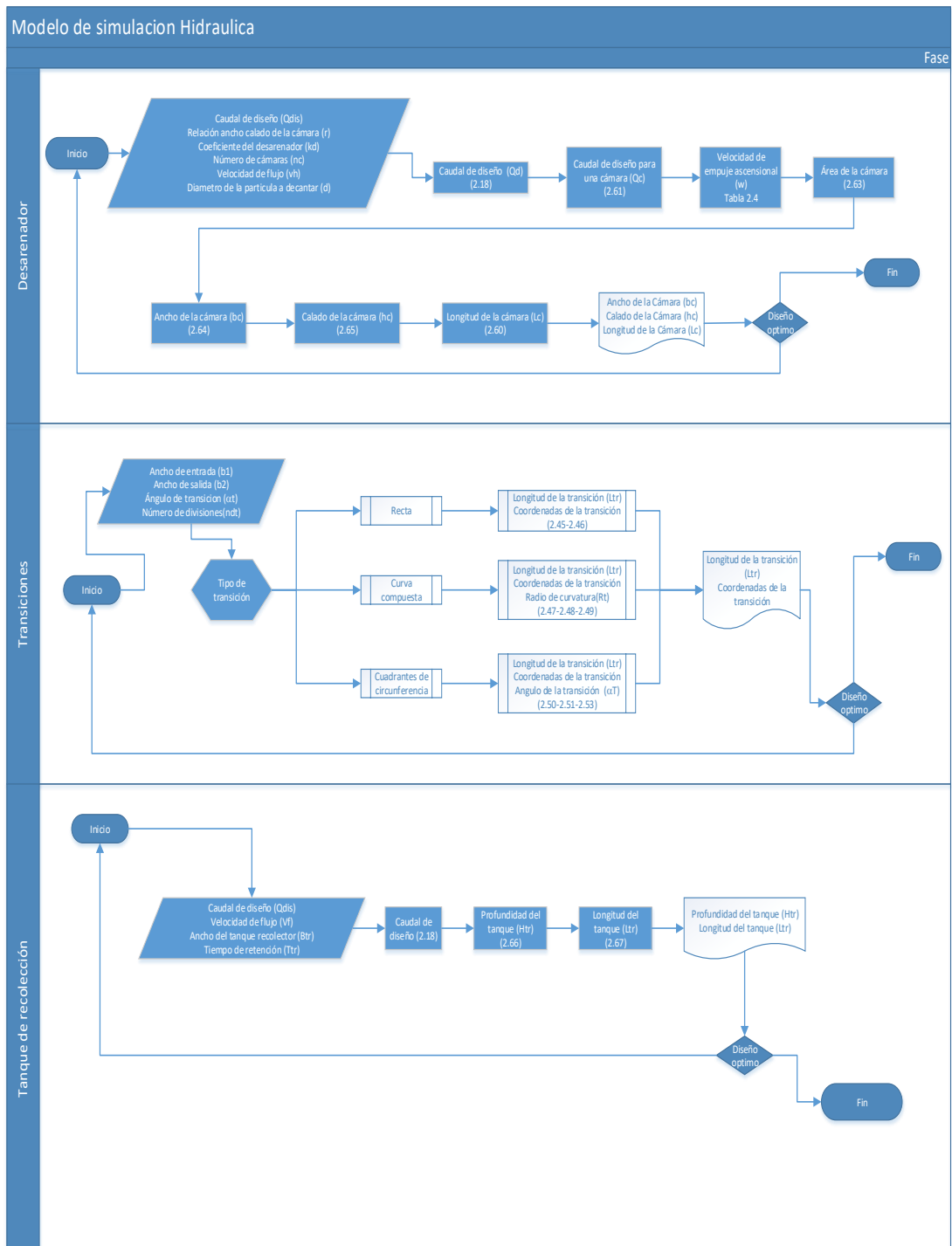
Fuente: El Autor.

Figura 5.2: Modelo de simulación hidráulica.



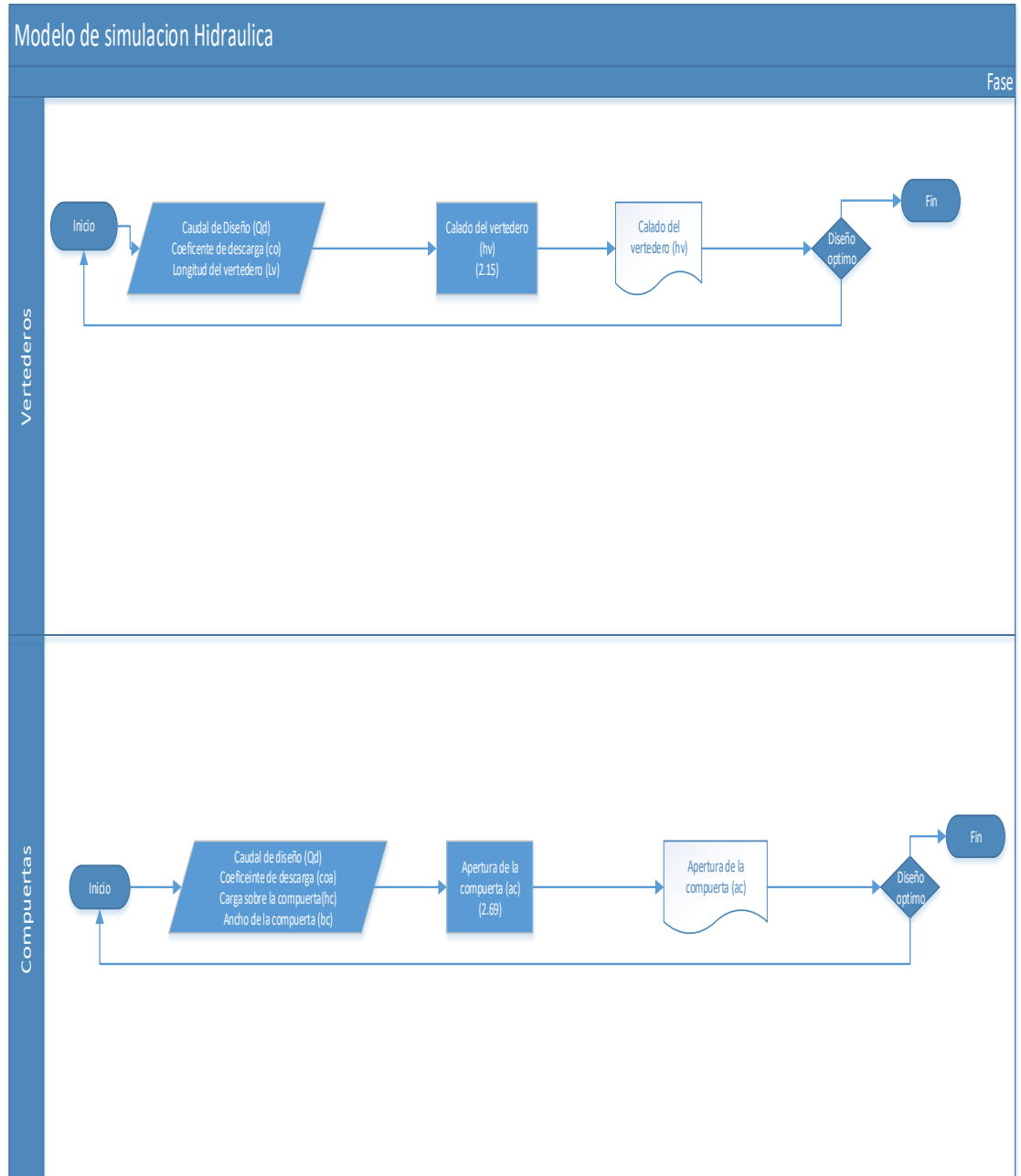
Fuente: El Autor.

Figura 5.3: Modelo de simulación hidráulica.



Fuente: El Autor.

Figura 5.4: Modelo de simulación hidráulica.



Fuente: El Autor.

5.2. Algoritmo de cálculo.

Para el caso de la presente disertación, algoritmo de cálculo es el conjunto ordenado de pasos que permitirán la implementación del modelo de simulación hidráulica dentro del lenguaje de programación de Matlab, este conjunto de pasos estará descrito a detalle en el capítulo correspondiente al desarrollo de la aplicación. El desarrollo del algoritmo corresponderá a la descripción sobre como el programa realiza las rutinas que permiten el cálculo de los resultados que arroja el programa en cada una de sus ventanas.

5.2.1. Perfil Kreager.

El proceso para la determinación de las dimensiones del perfil inicia definiendo los valores correspondientes a la altura del paramento (P), calado de máxima crecida (H_o), y coeficiente de descarga (C_o) aplicando las expresiones 2-3, 2-4, 2-5, según corresponda al caso, estos valores se determinan en base a estos valores. Una vez determinados estos valores se calcula el valor de la carga cinética (h_o) mediante la expresión 2-2 y la relación (h_o/H_o); valor que es requerido para la evaluación de los ábacos de las figuras 2-4 y 2-5, mediante los cuales se determinan los valores de los coeficientes n y k , valores determinados mediante evaluación visual y permiten determinar las coordenadas del perfil medido desde el vértice del vertedero en el sentido de flujo del cauce, es decir, aguas abajo del vértice del vertedero.

5.2.2. Cuenco dissipador de energía.

El proceso inicia tomando los valores de ingreso para poder determinar el valor del calado crítico (y_c) aplicando la expresión 2-7, después se determina el valor correspondiente a la energía crítica sobre el vertedero (h_c) aplicando la expresión 2-8, valor que permite determinar la energía total (E) mediante la expresión 2-9, para continuar determinando el calado contraído (y_1) que es despejado de la expresión 2-10, una vez determinado este valor se determina el calor del calado conjugado (y_2) usando la expresión 2-11, al determinarse los valores correspondientes a los calados contraídos y conjugados del remanso, se determina la longitud necesaria para que se produzca el remanso mediante la expresión 2-12, para continuar con la determinación de la velocidad de flujo (V_1) mediante la expresión 2-13, este valor permite determinar el número de Froude (F_1) calculado mediante la expresión 2-14. El programa arroja los valores de los calados (crítico, contraído y conjugado), la longitud del resalto, la velocidad, la contracción y el número de Froude, para dejar al usuario la determinación de la altura del dintel de salida mediante la evaluación del ábaco de la figura 2.8.

5.2.3. Rejilla lateral.

Dependiendo de las condiciones específicas de un proyecto, se deberá determinar el tipo de rejilla a utilizarse.

Para el caso del diseño de rejillas laterales el proceso inicia determinando el coeficiente de descarga de la rejilla mediante la expresión 2-16 utilizando datos como:

La altura de la rejilla y la altura del paramento, continúa con la determinación del coeficiente de sumergencia aplicando la expresión 2-17. Para propósitos de diseño se ha adoptado como norma de diseño el uso de un 10% del caudal más al caudal de diseño, esto se refleja en la expresión 2.18. Se determina la longitud de la rejilla para una altura definida como dato de ingreso y se determina, al despejar esta variable de la expresión 2-15, continúa determinando la longitud real de la rejilla mediante la expresión 2-19, el proceso continúa determinando el número de espacios y barrotes que se ubicarán en la rejilla, estos valores se determinan mediante las expresiones 2-20 y 2-21, se realiza la comprobación de la longitud mediante la expresión 2-22, para continuar determinando el valor de la pérdida producida en la rejilla por el paso del caudal, este valor se determina mediante la expresión 2-24; se culmina determinando el ángulo que deberá tener la rejilla con respecto al sentido de flujo del cauce natural, este ángulo se determina mediante la aplicación de la expresión 2-25.

5.2.4. Rejilla de fondo.

El proceso inicia tomando los valores colocados en las casillas de ingreso de la ventana, con estos datos iniciales, se determina los valores de los coeficiente de contracción (crf) y de obstrucción (krf) mediante las expresiones 2-28, 2-29, y 2-30, continúa determinando el valor del caudal de diseño mediante la expresión 2-18, para con estos valores determinar el valor del ancho de la rejilla (brf) mediante la expresión 2-27. A continuación, se inicia el proceso para la definición de la galería de captación.

5.2.5. Galería de captación.

La galería inicia su proceso una vez colocados los valores iniciales en las casillas correspondientes de la ventana, con estos valores, se continua determinando los valores del caudal para cada punto de la galería mediante la expresión 2-31, se determina también la velocidad de flujo correspondiente a cada punto de la galería mediante la expresión 2-33, para así, determinar al gradiente hidráulica de la galería en cada punto de la galería usando la expresión 2-34, esto se realiza al determinar el valor del coeficiente de Manning mediante la expresión 2-35, también se determina el valor del radio hidráulico mediante la expresión 2-36 para después determinar el valor de las pérdidas en cada punto de la galería mediante la expresión 2-39, se determina la carga de velocidad de la expresión de Bernoulli 2-38 y se determina el valor de la cota inicial, para de esta manera despejar la coordenada correspondiente a cada punto de la galería mediante 2-38.

5.2.6. Canal de transición.

Para determinar los valores correspondientes a las dimensiones del canal de transición, se determina el valor del ancho del canal mediante la expresión 2-43, para continuar con la resolución de las expresiones que permiten el dimensionamiento del desripiador, para determinar el ancho del vertedero de salida, se aplica la expresión 2-40, continúa determinado el ancho del desripiador mediante la expresión 2-41 y culmina determinando la profundidad del desripiador mediante la expresión 2-42.

5.2.7. Transiciones.

El proceso de cálculo inicia definiendo el tipo de transición a calcularse. Una vez determinado el tipo de transición, se determina la longitud de la transición mediante la expresión 2-44. Se calcula los anchos de la transición dependiendo del tipo de transición, de manera que, para el caso de transiciones rectas, se realiza este cálculo mediante las expresiones 2-44 y 2-45, para transiciones curvas mediante las expresiones 2-47, 2-48 y 2-49 y para transiciones con cuadrantes de circunferencia, con las expresiones 2-50, 2-51, 2-52, 2-53, además, se determina la longitud de la transición mediante cuadrantes utilizando la expresión 2-54.

5.2.8. Desarenador.

Se determina el valor del caudal que desarena una cámara mediante la expresión 2-64, se determina el área de la cámara mediante la expresión 2-66 para de esta manera, determinar el ancho de la cámara mediante la expresión 2-67 y el calado de la cámara mediante la expresión 2-68, para finalizar el proceso se determina la longitud de la cámara mediante la expresión 2-60.

5.2.9. Tanque recolector.

Se determina la profundidad del tanque mediante la expresión 2-69 la longitud del tanque mediante la expresión 2-70.

5.2.10. Vertederos.

El proceso inicia mediante la recolección de la información básica de las casillas correspondientes, el calado del vertedero se determina mediante la expresión 2-15.

5.2.11. Compuertas.

El proceso da inicio al recolectar la información inicial de las casillas correspondientes en la ventana, se determina la apertura de la compuerta despejando esta variable de la ecuación 2-72.

5.3. Desarrollo de la aplicación.

Para efectos de la presente, el desarrollo de la aplicación se describirá como la secuencia ordenada sobre cómo se lleva a cabo los procesos matemáticos y lógicos dentro del programa para obtener un resultado. Las secuencias se muestran a continuación:

5.3.1. Perfil Kreager.

Tabla 5.1: Perfil Kreager.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal máximo	Q_{max} .
3	Ingresar	Altura del paramento	P.
4	Ingresar	Relación P/Ho inicial	P/Ho.
5	Ingresar	Longitud del vertedero	Br.
6	Calcular	B inicial	$B = P/Ho$ inicial ingresado.
7	Cuando	B es mayor a 0 y menor a 0.5	Calcular co mediante la ecuación 2-3.
8	Cuando	B es mayor a 0.5 y menor a 2.5	Calcular co mediante la ecuación 2-4.
9	Cuando	B es mayor a 2.5	Calcular co mediante 2-5.
10	Calcular	Calado de máxima crecida (Ho) final	Mediante 2-6.
11	Calcular	Carga piezométrica sobre el vertedero (ho)	Mediante 2-2.
12	Imprimir	Carga piezométrica sobre el vertedero (ho)	
13	Imprimir	Calado de máxima crecida (Ho) final	
14	Imprimir	Relación P/Ho final (B)	
15	Si	Diseño optimo valido	Avanzar paso 16.
16	Caso contrario	Retornar paso 1	
17	Ingresar	Coeficiente n	
18	Ingresar	Coeficiente k	
19	Generar	Elementos del vector X	Desde 0 hasta P.

20	Calcular	Elementos del vector Y	Mediante 2-1.
21	Imprimir	Coordenadas del perfil Kreager XY	
22	Si	Diseño óptimo válido	Finalizar.
23	Caso contrario	Retornar paso 1	
24	Finalizar.		

Fuente: El Autor.

5.3.2. Cuenco disipador de energía.

Tabla 5.2. Cuenco disipador de energía.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de máxima crecida	Qmax.
3	Ingresar	Altura del paramento	P.
4	Ingresar	Ancho del río	Br.
5	Calcular	Calado critico (yc)	Mediante 2-7.
6	Calcular	Carga energética crítica(hc)	Mediante 2-8.
7	Calcular	Energía total (E)	Mediante 2-9.
8	Calcular	Calado contraído (y1)	Mediante 2-10.
9	Calcular	Calado conjugado (y2)	Mediante 2-11.
10	Calcular	Longitud del resalto (Lr)	Mediante 2-12.
11	Calcular	Velocidad de flujo después del resalto V1	Mediante 2-13.
12	Calcular	Determinar el número de Froude (F1)	Mediante 2-14.
13	Imprimir	Calado crítico (yc)	
14	Imprimir	Carga energética crítica(hc)	
15	Imprimir	Energía total (E)	

16	Imprimir	Calado contraído (y1)	
17	Imprimir	Calado Conjugado (y2)	
18	Imprimir	Longitud del resalto (Lr)	
19	Imprimir	Velocidad de flujo después del resalto V1	
20	Imprimir	Determinar el número de Froude (F1)	
21	Si	Diseño óptimo	Finalizar.
22	Caso contrario	Retornar paso 1	
23	Finalizar.		

Fuente: El Autor.

5.3.3. Rejilla lateral.

Tabla 5.3: Rejilla lateral.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Ingresar	Altura de la rejilla	Hr.
4	Ingresar	Altura del paramento	P.
5	Ingresar	Espesor de los barrotes	t.
6	Ingresar	Espaciamiento entre barrotes	s.
7	Ingresar	Coefficiente de pérdida	k.
8	Ingresar	Pérdida esperada por sumergencia	Hfn.
9	Ingresar	Porcentaje de obstrucción	f.
10	Ingresar	Velocidad del río	Vr.
11	Ingresar	Ángulo de inclinación de la rejilla con la horizontal	θ .
12	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.

13	Calcular	Coeficiente de descarga (co)	Mediante 2-16.
14	Calcular	Coeficiente de sumergencia (s)	Mediante 2-17.
15	Calcular	Ancho de la rejilla (hr)	Mediante 2-15.
16	Calcular	Longitud efectiva de la rejilla (le)	Mediante 2-19.
17	Calcular	Número de barrotes (n)	Mediante 2-21.
18	Calcular	Número de espacios (n)	Mediante 2-20.
19	Calcular	Longitud total (lc)	Mediante 2-22.
20	Calcular	Ángulo de la rejilla con respecto al sentido del cauce (δ)	Mediante 2-25.
21	Calcular	Pérdidas en la rejilla (hfr)	Mediante 2-24.
22	Imprimir	Caudal de diseño de trabajo (qd)	
23	Imprimir	Coeficiente de descarga (co)	
24	Imprimir	Coeficiente de sumergencia (s)	
25	Imprimir	Ancho de la rejilla (hr)	
26	Imprimir	Longitud efectiva de la rejilla (le)	
27	Imprimir	Número de barrotes (n)	
28	Imprimir	Número de espacios (n)	
29	Imprimir	Longitud total (lc)	
30	Imprimir	Ángulo de la rejilla con respecto al sentido del cauce (δ)	
31	Imprimir	Pérdidas en la rejilla (hfr)	
32	Si	Diseño óptimo	Fin.
33	Caso contrario	Retornar al paso 1	
34		Fin.	

Fuente: El Autor.

5.3.4. Rejilla de fondo y galería de captación.

Tabla 5.4: Rejilla de fondo y galería de captación.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Ingresar	Longitud de la rejilla	Lrf.
4	Ingresar	Inclinación de la rejilla con la horizontal	α .
5	Ingresar	Separación entre los barrotes	t.
6	Ingresar	Espaciamiento entre barrotes	s.
7	Ingresar	Altura de los barrotes	Eb.
8	Ingresar	Porcentaje de obstrucción	f.
9	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.
10	Calcular	Pendiente de la rejilla de fondo (i)	Mediante 2-29.
11		Relación s/t	
12	Si	$S/t < 4$	Cor=0,6.
13	Caso contrario		Cor=0,5.
14	Calcular	Coefficiente de contracción para rejilla de fondo (crf)	Mediante 2-28.
15	Calcular	Coefficiente de obstrucción de rejillas de fondo (krf)	Mediante 2-30.
16	Calcular	Ancho de la rejilla (brf)	Mediante 2-27.
17	Imprimir	Coefficiente de contracción para rejilla de fondo (crf)	
18	Imprimir	Coefficiente de obstrucción de rejillas de fondo (krf)	
19	Imprimir	Ancho de la rejilla (brf)	
20	Si	Diseño óptimo	Ir paso22

21	Caso contrario	Retorna a paso 1	
22	Ingresar	Longitud de la galería	Lrfl.
23	Ingresar	Número de divisiones de la galería	Ndrf.
24	Ingresar	Coefficiente de Manning	C.
25	Ingresar	Cota de la cresta de la rejilla	
26	Cuando	Sección transversal de la galería	Rectangular (tabla 2.2)
27	Cuando	Sección transversal de la galería	Triangular
28	Cuando	Sección transversal de la galería	Trapezoidal
29	Calcular	Pérdidas en cada punto de la galería (j)	Mediante 2-39.
30	Calcular	Carga de velocidad en cada punto de la galería (hv)	Mediante 2- 38.
31	Calcular	Carga total en cada punto de la galería (hg)	Mediante 2-37.
32	Calcular	Cota final de cada punto de la galería	
33	Imprimir	Cota final de cada punto de la galería	
34	Si	Diseño óptimo	Fin.
35	Caso contrario	Retornar paso 1	
36	Fin.		

Fuente: El Autor.

5.3.5. Desripiador.

Tabla 5.5: Desripiador.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Ingresar	Coeficiente de descarga	Codr.
4	Ingresar	Coeficiente de sumergencia	Sdr.
5	Ingresar	Ancho del canal de transición	Bdr.
6	Ingresar	Carga sobre el vertedero	Hdr.
7	Ingresar	Apertura de la compuerta de limpieza	Ac.
8	Ingresar	Ancho de la compuerta de limpieza	Bc.
9	Ingresar	Coeficiente de descarga de la compuerta	Cdc.
10	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.
11	Calcular	Ancho del desripiador (bd)	Mediante 2-40.
12	Calcular	Longitud del desripiador (ldr)	Mediante 2-41.
13	Calcular	Profundidad mínima del desripiador (hdr)	Mediante 2-42.
14	Imprimir	Ancho del desripiador (bd)	
15	Imprimir	Longitud del desripiador (ldr)	
16	Imprimir	Profundidad mínima del desripiador (hdr)	
17	Si	Diseño óptimo	Fin.
18	Caso contrario	Retornar al paso 1	
19	Fin.		

Fuente: El Autor.

5.3.6. Canal de transición.

Tabla 5.6: Canal de transición.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Ingresar	Calado de control	Hct.
4	Ingresar	Velocidad de control	Vct.
5	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.
6	Calcular	Ancho del canal de transición (bct)	Mediante 2-43.
7	Imprimir	Ancho del canal de transición (bct)	
8	Si	Diseño óptimo	Fin.
9	Caso contrario	Retornar al paso 1	
10	Fin.		

Fuente: El Autor.

5.3.7. Desarenador.

Tabla 5.7: Desarenador.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Ingresar	Relación ancho-calado	r.
4	Ingresar	Coefficiente del desarenador	Kd.
5	Ingresar	Número de cámaras	Nc.
6	Ingresar	Velocidad de flujo	Vh.
7	Ingresar	Diámetro de la partícula a decantar	d.
8	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.
9	Calcular	Caudal de diseño de cada cámara (qc)	Mediante 2-61.
10	Calcular	Velocidad de empuje ascensional (w)	Mediante tabla 2.4.
11	Calcular	Área de la cámara	Mediante 2-66.
12	Calcular	Ancho de la cámara (bc)	Mediante 2-67.
13	Calcular	Calado de la cámara (hc)	Mediante 2-68.
14	Calcular	Longitud de la cámara (Lc)	Mediante 2-60.

15	Imprimir	Ancho de la cámara (bc)	
16	Imprimir	Calado de la cámara (hc)	
17	Imprimir	Longitud de la cámara (Lc)	
18	Si	Diseño óptimo	Fin.
19	Caso contrario	Retornar al paso 1	
20	Fin		

Fuente: El Autor.

5.3.8. Transiciones.

Tabla 5.8: Transiciones.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.
4	Cuando	Transición recta	Longitud de la transición 2-44 y coordenadas de la transición 2-45 y 2-46.
5	Cuando	Transición mediante curvas compuestas	Longitud de la transición 2-44, coordenadas de la transición 2-48 y 2-49 además radio de curvatura 2-47.
6	Cuando	Transición mediante cuadrantes de circunferencia	Longitud de la transición 2-44, coordenadas de la transición 2-50 y 2-51, Ángulo de la transición 2-52.
7	Imprimir	Longitud de la transición (ltr)	
8	Imprimir	Coordenadas de la transición	
9	Si	Diseño óptimo	Fin.
10	Caso contrario	Retornar al paso 1	
11	Fin		

Fuente: El Autor.

5.3.9. Tanque de recolección.

Tabla 5.9: Tanque de recolección.

Paso	Proceso	Variable	Observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qdis.
3	Ingresar	Velocidad de flujo	Vf.
4	Ingresar	Ancho del tanque recolector	Btr.
5	Ingresar	Tiempo de retención	Ttr.
6	Calcular	Caudal de diseño de trabajo (qd)	Mediante 2-18.
7	Calcular	Profundidad del tanque (htr)	Mediante 2-69.
8	Calcular	Longitud del tanque (ltr)	Mediante 2-70.
9	Imprimir	Profundidad del tanque (htr)	
10	Imprimir	Longitud del tanque (ltr)	
11	Si	Diseño óptimo	Fin.
12	Caso contrario	Retornar al paso 1	
13	Fin		

Fuente: El Autor.

5.3.10. Vertederos.

Tabla 5.10: Vertederos.

Paso	proceso	variable	observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qd.
3	Ingresar	Coefficiente de descarga	Co.
4	Ingresar	Longitud del vertedero	Lv.
5	Calcular	Calado del vertedero (hv)	Mediante 2-15
6	Imprimir	Calado del vertedero (hv)	
7	Si	Diseño óptimo	Fin.
8	Caso contrario	Retornar al paso 1	
9	Fin.		

Fuente: El Autor.

5.3.11. Compuertas.

Tabla 5.11: Compuertas.

paso	proceso	variable	observación
1	Inicio		
2	Ingresar	Caudal de diseño	Qd.
3	Ingresar	Coefficiente de descarga	Coa.
4	Ingresar	Carga sobre la compuerta	Hc.
5	Ingresar	Ancho de la compuerta	Bc.
6	Calcular	Apertura de la compuerta (ac)	Mediante 2-72.
7	Imprimir	Apertura de la compuerta (ac)	
8	Si	Diseño óptimo	Fin.
9	Caso contrario	Retornar al paso 1	
10	Fin.		

Fuente: El Autor.

6. Aplicación del programa y comparación con los casos de estudio.

El uso del programa y la aplicación del mismo en los casos de estudio del capítulo tres de la presente se muestran a continuación. La aplicación del programa se realiza de manera similar a la secuencia mostrada en el capítulo tres de la presente. Además, la aplicación del mismo a cada elemento de los casos de estudio sigue el proceso y las recomendaciones definidas en el manual del usuario del mismo.

6.1. Captación convencional (rejilla lateral).

Para el diseño de los casos de estudio, iniciaremos enumerando las características iniciales que permitirán el diseño aplicando el programa desarrollado. Para el caso de uso de la rejilla lateral usaremos los datos de la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Datos iniciales del caso de estudio.

Ítem	Característica	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	2.74	m ³ /s.
2	Caudal de máxima crecida	89.00	m ³ /s.
3	Ancho del río	12.00	m.

Fuente: El Autor.

6.1.1. Azud de derivación.

Siguiendo el proceso de inicio mostrado en el manual de usuario del programa, iniciamos la ventana que nos permite calcular el perfil Kreager, en esta colocaremos los datos de inicio mostrados en la tabla 6.2.

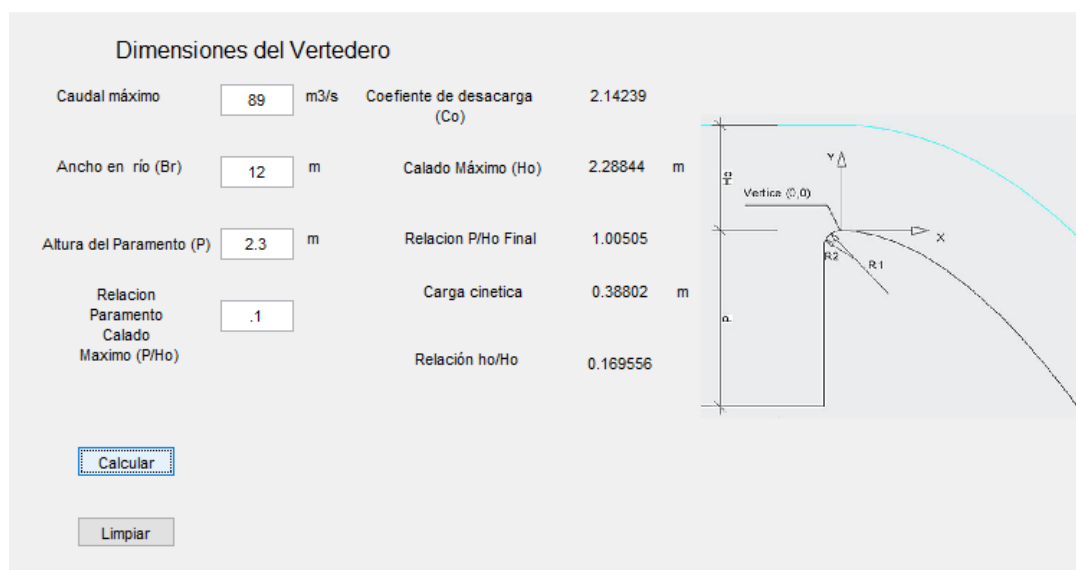
Tabla 6.2: Datos iniciales del azud de derivación.

Ítem	característica	símbolo	valor	unidad
1	Caudal de máxima crecida	Qmax	89	m ³ /s.
2	Ancho del río	Br	12	m.
3	Altura del paramento	P	2.3	m.
4	Relación P/Ho inicial	P/ho	0.1	

Fuente: El Autor.

Una vez colocados estos valores en la ventana, se obtienen los primeros resultados, mismos que se muestran en la figura 6.1.

Figura 6.1: Resultados de la aplicación del programa en la primera parte.



Fuente: El Autor.

Una vez determinados estos valores se procede a determinar los valores de los coeficientes n y k mismos que se presentan en la ventana del programa y serán determinados mediante evaluación visual del usuario, como se recomienda en el manual de usuario.

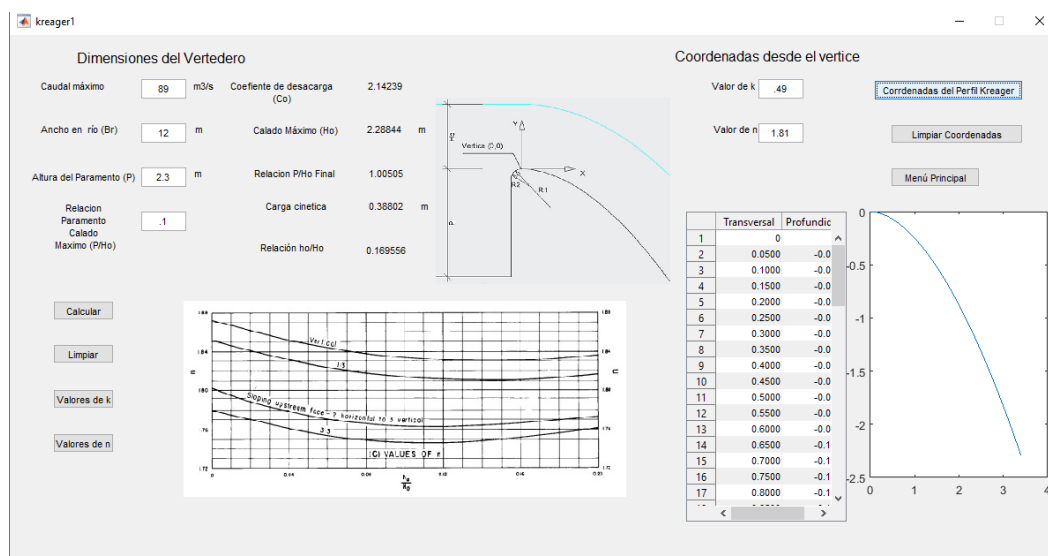
Tabla 6.3: Valores de los coeficientes n y k .

Ítem	Característica	Símbolo	Valor
1	Coficiente n	n	1.81
2	Coficiente k	k	0.49

Fuente: El Autor.

De esta evaluación se definen estos valores en la tabla 6.3. Estos valores son ingresados en las casillas correspondientes del programa para de esta manera determinar las coordenadas del perfil Kreager; siguiendo el proceso descrito en el manual, se obtiene los resultados en la figura 6.2.

Figura 6.2: Resultados finales del diseño en el programa.



Fuente: El Autor.

6.1.2. Cuenco dissipador de energía.

Siguiendo el proceso definido en el manual de usuario, el diseño del cuenco inicia al colocarse los valores de inicio dentro de las casillas de la ventana para el diseño del cuenco. Estos valores están mostrados en la tabla 6.4.

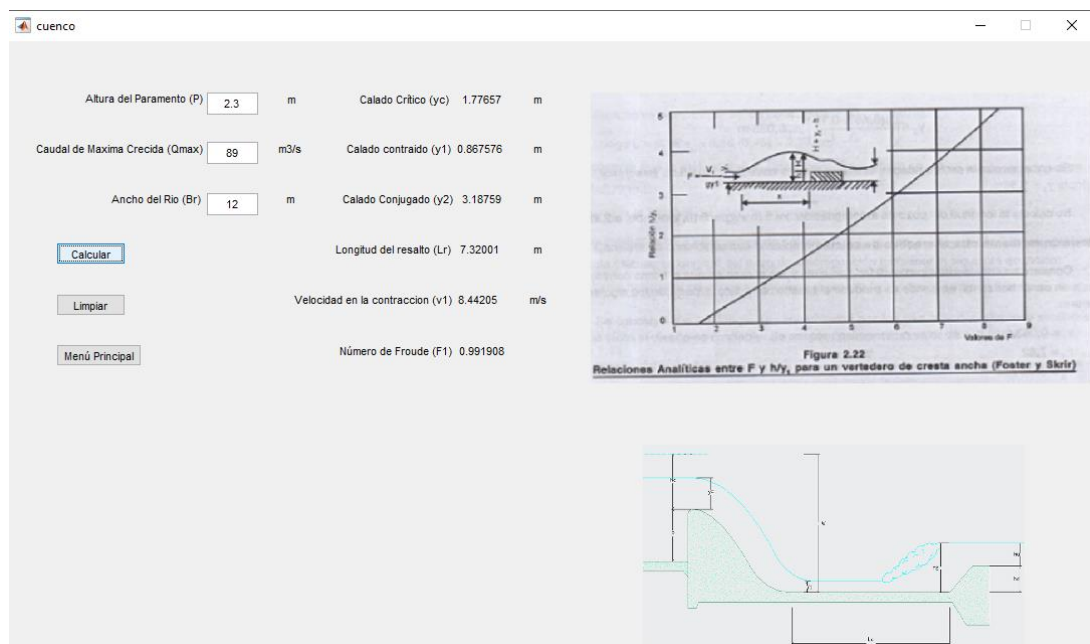
Tabla 6.4: Valores iniciales para el diseño del cuenco dissipador de energía.

Ítem	Dimensión	Símbolo	Valor	Unidad
1	Altura del paramento	P	2.30	m.
2	Caudal de máxima crecida	Qmax	89.00	m.
3	Ancho del río	Br	12.00	

Fuente: El Autor.

Una vez colocados estos valores en la ventana de diseño, se obtienen los resultados mostrados en la figura 6.3.

Figura 6.3: Resultados del diseño del cuenco usando el programa.



Fuente: El Autor.

Una vez determinado el valor del número de Froude es necesario determinar la altura del dintel de salida del cuenco. Como se menciona en el capítulo 3.1.3, se vuelve necesaria una aproximación coherente para la determinación de este valor, de manera que usaremos el mismo criterio mencionado en este capítulo, como se menciona a continuación.

Al determinarse un número de Froude menor a dos, se decide trabajar con el valor de h/y_1 correspondiente al número de Froude de valor dos, este valor corresponde a

un valor de 0.3; de esta manera el valor final de la altura del dintel de salida del azud será de un 30% del valor del calado conjugado. Para el caso de estudio será entonces:

$$h_d = 0.3 * Y_1$$

$$h_d = 0.26m$$

6.1.3. Rejilla lateral.

El cálculo de este elemento mediante el uso del programa sigue las recomendaciones del manual de usuario del mismo. Para el diseño de este elemento se utilizan los datos iniciales mostrados en la tabla 6.5.

Tabla 6.5: Datos de entrada para el diseño de la rejilla lateral con el uso del programa.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	2.74	m ³ /s
2	Altura de la rejilla	Hr	1.00	m.
3	Coeficiente de pérdida	k.	0.85	
4	Altura del paramento	P.	2.29	m.
5	Espesor de los barrotes	t.	0.05	m.
6	Pérdida esperada por sumergencia	Hfn	0.10	m.
7	Porcentaje de obstrucción	f	30.00	%
8	Espaciamiento entre barrotes	s	0.1	m.
9	Velocidad del río	V	0.09	m/s.
10	Inclinación con la horizontal	α	75.00	°

Fuente: El Autor.

Una vez ingresados estos valores en la ventana de diseño se obtiene los resultados mostrados en la figura 6.4.

Figura 6.4: Resultados de diseño de la rejilla lateral mediante el uso del programa.

The screenshot displays the RegLat software interface with the following data:

Parameter	Value	Unit
Caudal de Diseño (Qd)	2.74	m ³ /s
Velocidad del Río	.09	m/s
Altura de la rejilla (Hr)	1	m
Ángulo de inclinación con la horizontal	75	°
Coefficiente de pérdida (k)	.85	
Atura del Paramento (P)	2.29	m
Espesor de los Barrotes (t)	.05	m
Perdida de sumergencia esperada (h _{fn})	.1	m
Porcentaje de obstrucción (f)	30	
Espaciamiento entre Barrotes (s)	.1	m
Coefficiente de sumergencia	0.987705	
Coefficiente de descarga	2.10943	
Ancho Libre	1.70189	m
Ancho total	2.5	m
Número de espacios	17	u
Número de barrotes	16	u
Perdida en la rejilla	1.18783e-	m
Ángulo con respecto al río	0.050819	°

The interface also includes a top diagram of the grille layout, a bottom diagram showing flow velocity vectors (V_0 , V_r , V_v) and angles (α , β), and a side-view diagram of the grille with height H_r and parameter P .

Fuente: El Autor.

6.1.4. Canal de transición y desripador.

El diseño de estos elementos seguirá el proceso sugerido en el manual de usuario del programa. Para realizar los diseños dentro del programa se colocarán los valores correspondientes y necesarios para el diseño.

Para el diseño del canal de transición se hará referencia a los datos mostrados en la tabla 6.6.

Tabla 6.6: Datos de entrada para el diseño del canal de transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.
2	Tipo de rejilla	Lateral.		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	Br.	2.50	m.
5	Calado de control	Hct.	0.80	m.
6	Revestimiento	Concreto con material en suspensión.		
7	Velocidad de control	Vct.	2.00	m/s.

Fuente: El Autor.

La aplicación del programa a los datos de la tabla 6.4 se muestran en la figura 6.5.

Figura 6.5: Resultados de diseño del canal de transición.

Canal de Transición

Caudal de diseño (Qdct) 2.74 m3/s

Velocidad de Control (Vct) 2 m/s

Calado de Control (hct) .8 m

Ancho del Canal (bct) 1.88375 m

Calcular

Limpiar

Menú Principal

Fuente: El Autor.

Mientras que para el diseño del desripiador se requiere la información descrita en la tabla 6.7.

Tabla 6.7: Datos de entrada para el diseño del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.
2	Tipo de rejilla	Lateral.		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	Br.	2.50	m.
5	Ancho del canal recolector		1.88	m.
6	Coefficiente de descarga	Co.	2.00	
7	Coefficiente de sumergencia	S.	0.96	
8	Calado de la galería	Hreg.	0.55	m.

Fuente: El Autor.

Obteniéndose los resultados mostrados en la figura 6.8.

Tabla 6.8: Datos de entrada para el diseño de la compuerta del desripiador.

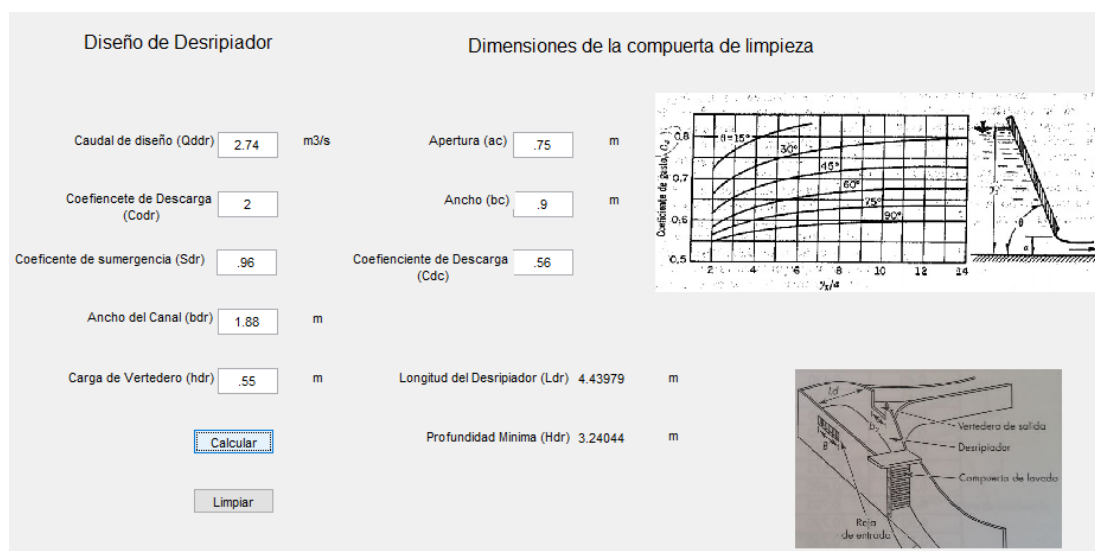
Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Apertura de la compuerta	Ac.	0.75	m.
2	Ancho de la compuerta	Bc.	0.90	m.
3	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc.	0.56	
4	Relación altura apertura	hd/ac.	4.00	
5	Inclinación de la compuerta	0.00	90.00	°

Fuente: El Autor.

Para el diseño de este elemento, se debe realizar el dimensionamiento de la compuerta de limpieza del mismo, de esta manera se requiere la información mostrada en la tabla 6.8.

Una vez colocada la información de las tablas 6.7 y 6.8 en la ventana se obtiene los siguientes resultados:

Figura 6.6: Resultados de diseño del desripiador.



Fuente: El Autor.

6.1.5. Desarenador.

El diseño de las cámaras del desarenador aplicando el programa inicia al colocarse los valores de la tabla 6.9 en las casillas correspondientes de la ventana de trabajo.

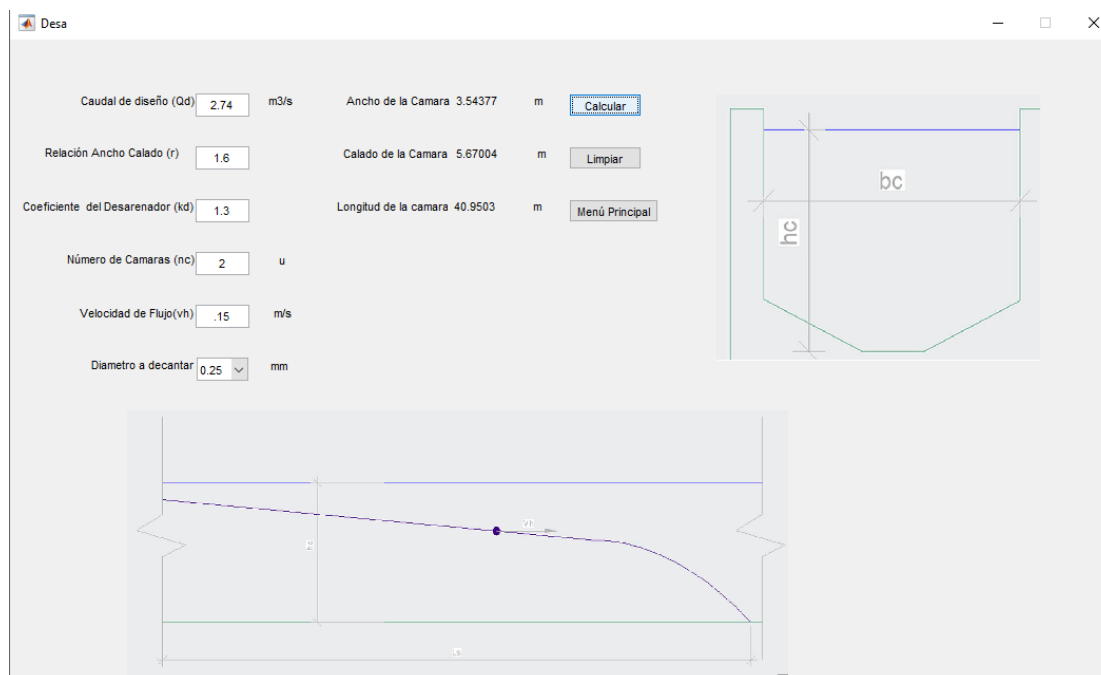
Tabla 6.9: Datos de entrada para el diseño de la compuerta del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.	
2	Relación ancho-calado	r.	1.6		
3	Coeficiente del desarenador	Kd.	1.3		
4	Número de cámaras	Nc.	2	Unidad.	
5	Velocidad de flujo	Vh.	0.15	m/s.	Entre 0.1 a 0.4 m/s.
6	Diámetro de partícula		0.25	mm.	

Fuente: El Autor.

Los resultados del programa, se presentan en la figura 6.7 misma que se presenta a continuación.

Figura 6.7: Resultados de diseño del desarenador.



Fuente: El Autor.

6.1.6. Transiciones.

El diseño de la transición del canal de transición hacia las cámaras desarenadoras, bajo las mismas condiciones de diseño del capítulo tres, es decir se utilizará una transición mediante el empalme de dos curvas circulares para unir los elementos antes mencionados. Para el desarrollo del diseño de este elemento se requieren también los valores descritos en la tabla 6.10.

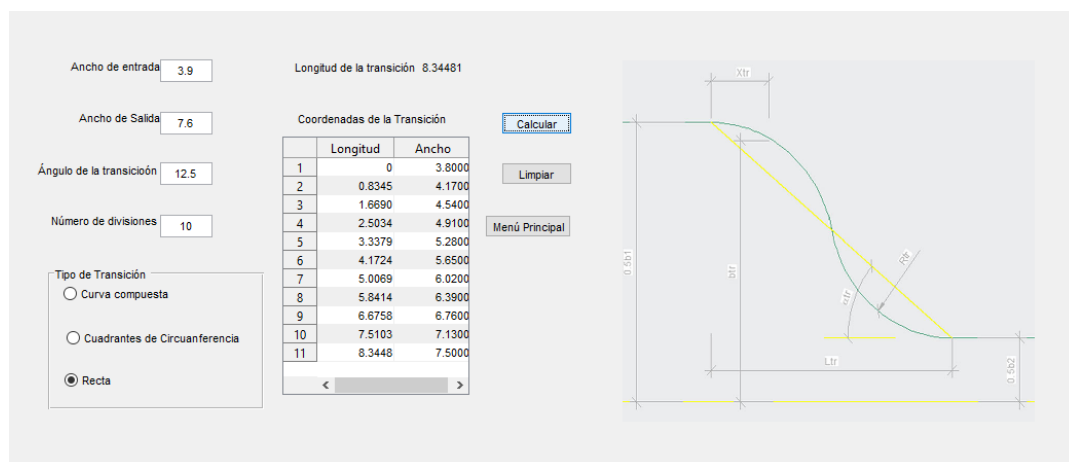
Tabla 6.10: Datos de entrada para el diseño de la transición

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s	
2	Ancho de entrada	B1	3.90	m	Canal de transición
3	Ancho de salida	B2	7.60	m	Total, desarenador.
4	Tipo de transición		Curva.		
5	Número de divisiones		10.00		
6	Ángulo de la transición	α	12.50	°	

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados del diseño aplicando el programa se muestran en la figura 6.8.

Figura 6.8: Resultados de diseño de la transición.



Fuente: El Autor.

6.1.7. Tanque recolector.

Este elemento recoge el caudal que ha pasado por todos los elementos anteriormente diseñados con el objeto de dirigir este por la conducción de un proyecto para su aprovechamiento. Para el dimensionamiento de este elemento, se requiere la información mostrada en la tabla 6.11.

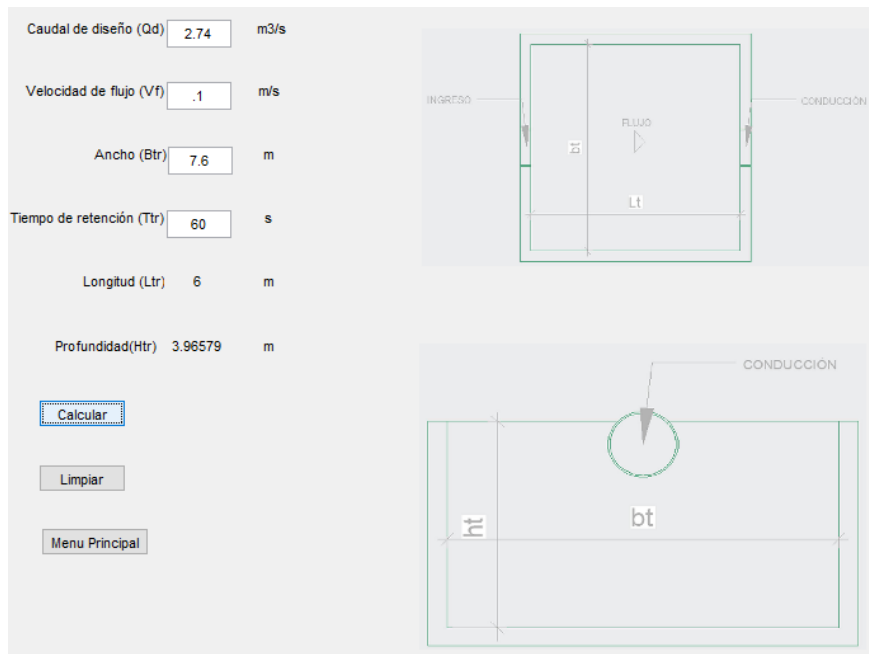
Tabla 6.11: Datos de entrada para el diseño del tanque recolector.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.	
2	Factor de seguridad		10.00	%	
3	Ancho	Bct.	7.60	m.	
4	Velocidad de flujo	Vt.	0.10	m/s.	
5	Tiempo de retención	Tr.	60.00	s.	

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño para este elemento se muestran en la figura 6.9.

Figura 6.9: Resultados de diseño del tanque recolector.



Fuente: El Autor.

6.1.8. Vertedero de control.

Estos elementos permiten el control de los niveles de operación de un proyecto de manera correspondiente al proceso determinado en el capítulo tres de la presente, se procede a diseñar un vertedero para el cual se presentan los valores iniciales necesarios en la tabla 6.12.

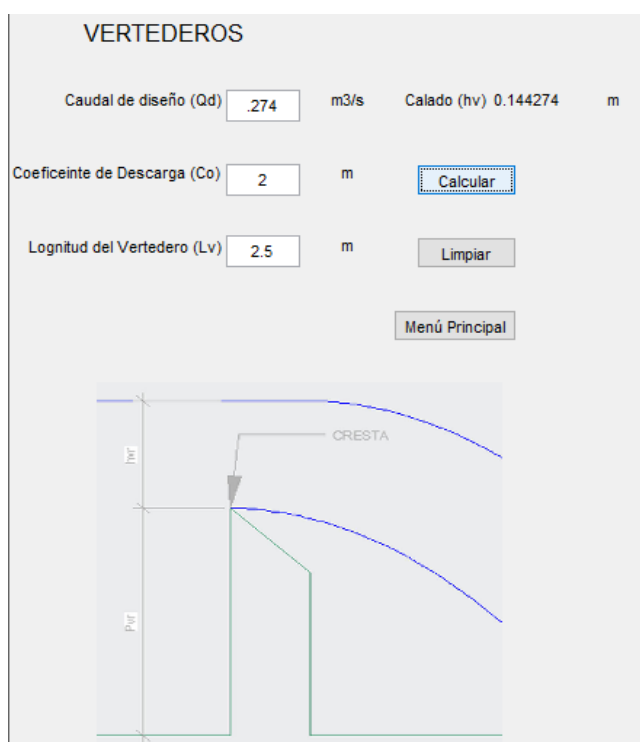
Tabla 6.12: Datos de entrada para el diseño de la compuerta del desripador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd.	0.274	m ³ /s.
2	Longitud	L.	2.50	m.
3	Coefficiente de descarga	Co.	2.00	

Fuente: El Autor.

Los resultados aplicando el programa se muestran en la figura 6.10.

Figura 6.10: Resultados de diseño del tanque recolector.



Fuente: El Autor.

6.1.9. Compuertas de limpieza.

De manera similar al desarrollado en el capítulo tres, se realizará el diseño un conjunto de compuertas. Estas compuertas se muestran en la tabla 6.13, donde se presentan las características básicas de cada una de estas.

Tabla 6.13: Ubicación de las compuertas de limpieza.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Azud	Limpieza	1.00	1.00	m.
2	Desripiador	Limpieza	1.00	0.50	m.
3	Desarenador	Limpieza	2.00	1.00	m.
4	Tanque recolector	Limpieza	1.00	1.00	m.

Fuente: El Autor.

El diseño de cada una de estas compuertas se muestra a continuación:

- Compuerta de limpieza del azud de derivación.

Los valores iniciales para el diseño de este elemento se muestran en la tabla 6.14.

Mismas que se colocarán en la ventana de trabajo del programa.

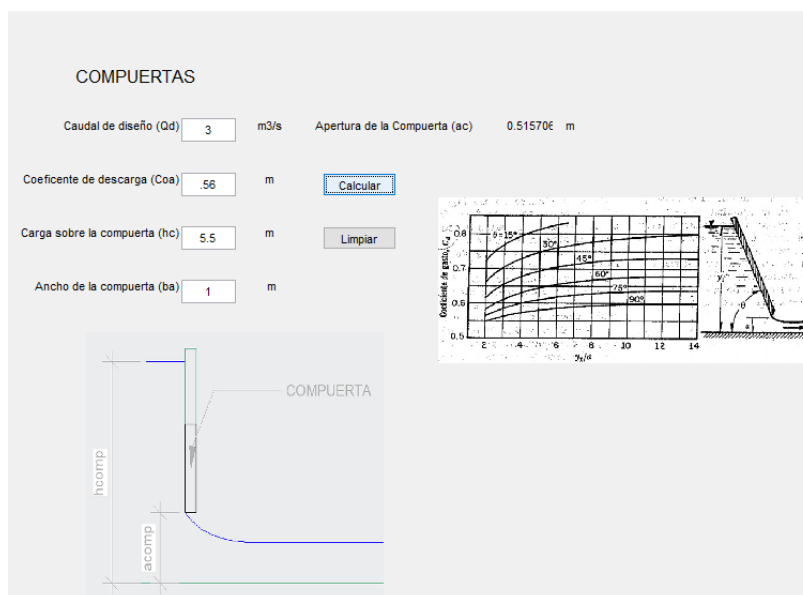
Tabla 6.14: Características de la compuerta de limpieza del azud de derivación.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd.	3.00	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h.	5.50	m.	
3	Ancho de la compuerta	Bc.	1.00	m.	
4	Creciente de descarga de la compuerta	cc.	0.56		
5	Relación altura apertura	h/ac.	4.00		
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño de esta compuerta se muestran en la figura 6.11.

Figura 6.11: Resultados de diseño del tanque recolector.



Fuente: El Autor.

Los valores de la curva de descarga de la compuerta se muestran a continuación.

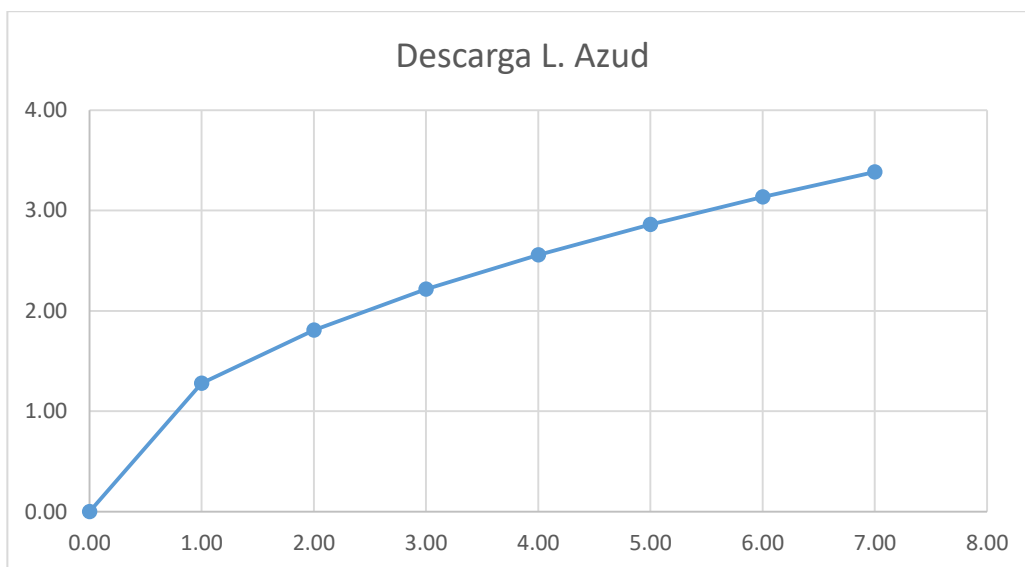
Tabla 6.15: Descarga de la compuerta de limpieza del azud de derivación.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
1.00	1.28
2.00	1.81
3.00	2.22
4.00	2.56
5.00	2.86
6.00	3.13
7.00	3.38

Fuente: El Autor.

La grafica de esta curva se muestra en la figura 6.12.

Figura 6.12: Resultados de diseño del tanque recolector.



Fuente: El Autor.

- Compuertas de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Los valores iniciales para el diseño de este elemento se muestran en la tabla 6.16 mismas que se colocarán en la ventana de trabajo del programa.

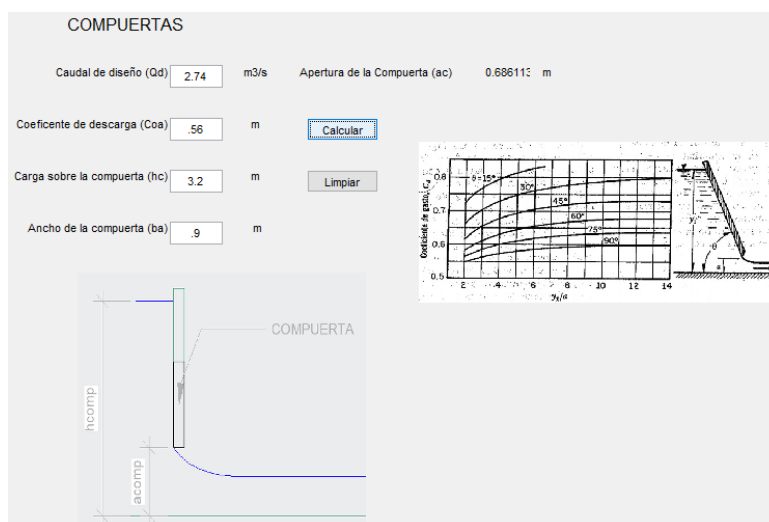
Tabla 6.16: Características de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.
2	Altura del desripiador	Hd.	3.20	m.
3	Ancho de la compuerta	Bc.	0.90	m.
4	Creciente de descarga de la compuerta	cc.	0.56	
5	Relación altura apertura	hd/ac.	4.00	
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño de esta compuerta se muestran en la figura 6.13.

Figura 6.13: Resultados de diseño de las compuertas de limpieza de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

Los valores de la curva de descarga de las compuertas se muestran a continuación en la tabla 6.17.

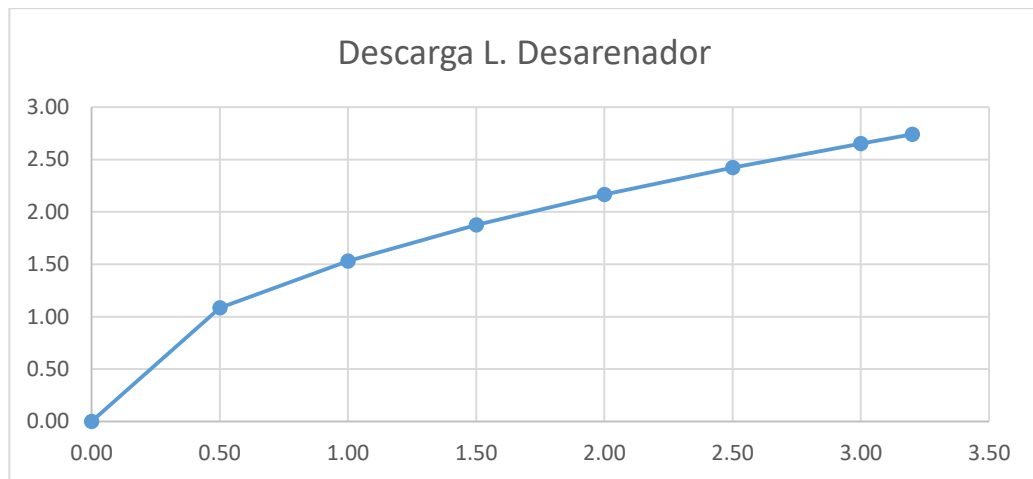
Tabla 6.17: Características de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	1.08
1.00	1.53
1.50	1.88
2.00	2.17
2.50	2.42
3.00	2.65
3.20	2.74

Fuente: El Autor.

La gráfica de la curva de descarga se muestra en la figura 6.14.

Figura 6.14: Resultados de diseño de las compuertas de limpieza de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza del tanque recolector.

Los valores iniciales para el diseño de este elemento se muestran en la tabla 6.18 mismas que se colocarán en la ventana de trabajo del programa.

Tabla 6.18: Características de la compuerta de limpieza del tanque recolector.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.
2	Altura sobre la compuerta	h.	5.70	m.
3	Ancho de la compuerta	Bc.	1.00	m.
4	Creciente de descarga de la compuerta	cc.	0.60	
5	Relación altura apertura	h/ac.	6.00	
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°

Fuente: El Autor.

Los valores de la curva de descarga se muestran en la tabla 6.19.

Tabla 6.19: Características de la compuerta de limpieza del tanque recolector.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.97
1.00	1.37
1.50	1.68
2.00	1.94
2.50	2.17
3.00	2.37
3.50	2.56
4.00	2.74

Fuente: El Autor.

La curva de descarga se muestra en la figura 6.15.

Figura 6.15: Resultados de diseño de las compuertas de limpieza del tanque recolector.



Fuente: El Autor.

6.1.10. Compuertas de control.

Estas compuertas tienen como objeto impedir el paso del caudal derivado hacia algún elemento contiguo, estas compuertas se presentan en la tabla 6.20.

Tabla 6.20: Ubicación de las compuertas de control.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Canal de transición	Control	1.00	1.00	m.
2	Desarenador	Control	1.00	0.75	m.

Fuente: El Autor.

El diseño de estas compuertas seguirá el proceso definido en el capítulo de la presente y pretenderá determinar la apertura con la cual, la compuerta es capaz de evacuar el caudal de diseño de la misma, bajo las condiciones específicas de uso de

cada una de ellas. Los cálculos realizados se muestran en las tablas correspondientes a cada compuerta, estas tablas además de su correspondiente curva de descarga se muestran a continuación.

- Compuertas de control de la transición.

El diseño de esta compuerta debe ser realizado con las condiciones mencionadas en la tabla 6.21.

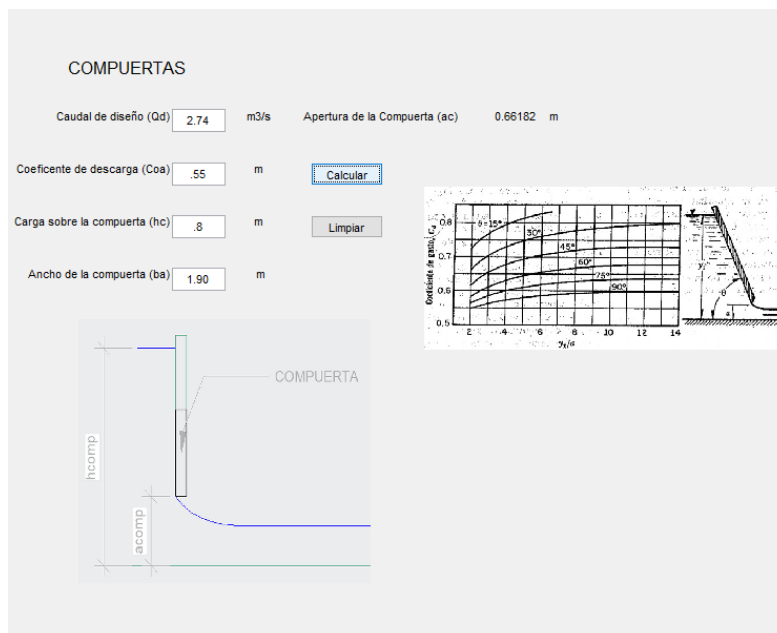
Tabla 6.21: Características de la compuerta de control de la transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd.	2.74	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h.	0.80	m.	
3	Ancho de la compuerta	Bc.	1.90	m.	
4	Creciente de descarga de la compuerta	cc.	0.55		
5	Relación altura apertura	h/ac.	2.00		
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño de esta compuerta se muestran en la figura 6.16.

Figura 6.16: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación.



Fuente: El Autor.

Los valores de la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 6.22.

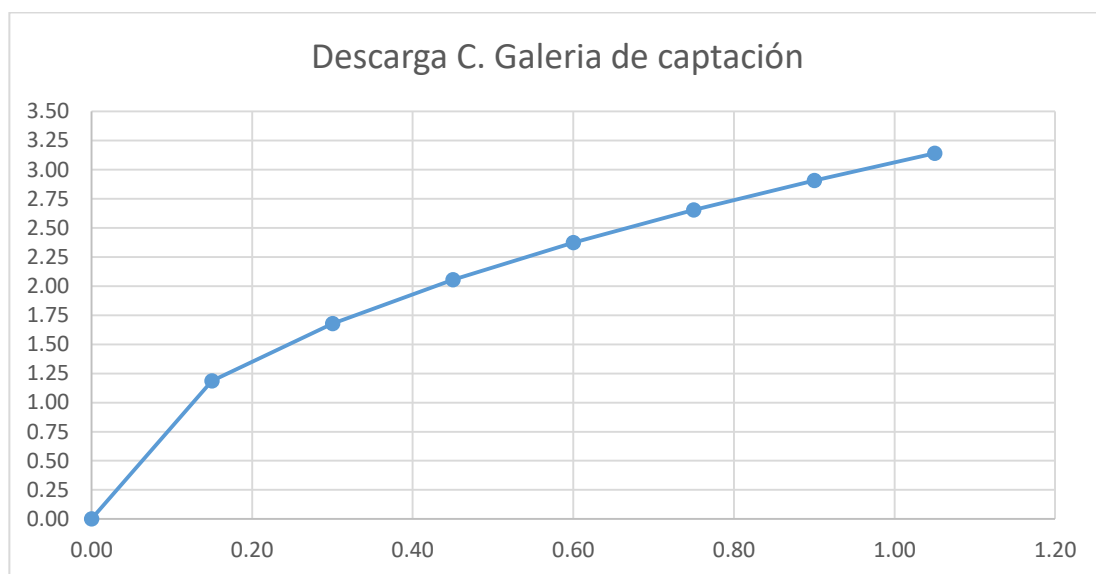
Tabla 6.22: Descarga de la compuerta de control de la transición.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m³/s)
0.00	0.00
0.15	1.19
0.30	1.68
0.45	2.06
0.60	2.37
0.75	2.65
0.90	2.91
1.05	3.14

Fuente: El Autor.

La curva de descarga se presenta en la figura 6.17.

Figura 6.17: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de control del desarenador.

El diseño de esta compuerta debe ser realizado con las condiciones mencionadas en la tabla 6.23.

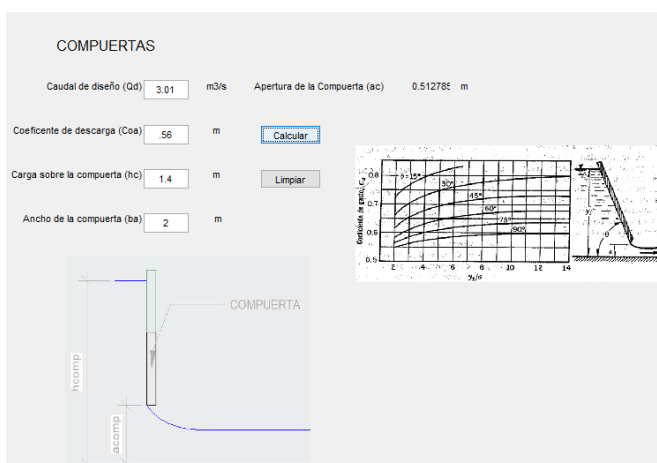
Tabla 6.23: Características de la compuerta de control del desarenador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	3.01	m ³ /s.
2	Altura sobre la compuerta	h	1.40	m.
3	Ancho de la compuerta	bc	2.00	m.
4	Creciente de descarga de la compuerta	cc	0.56	
5	Relación altura apertura	h/ac	2.00	
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°

Fuente: El Autor.

El diseño de la compuerta se muestra en la figura 6.18.

Figura 6.18: Diseño de la compuerta de control del desarenador.



Fuente: El Autor.

Los valores de la curva de descarga de la compuerta se muestran en la tabla 6.24.

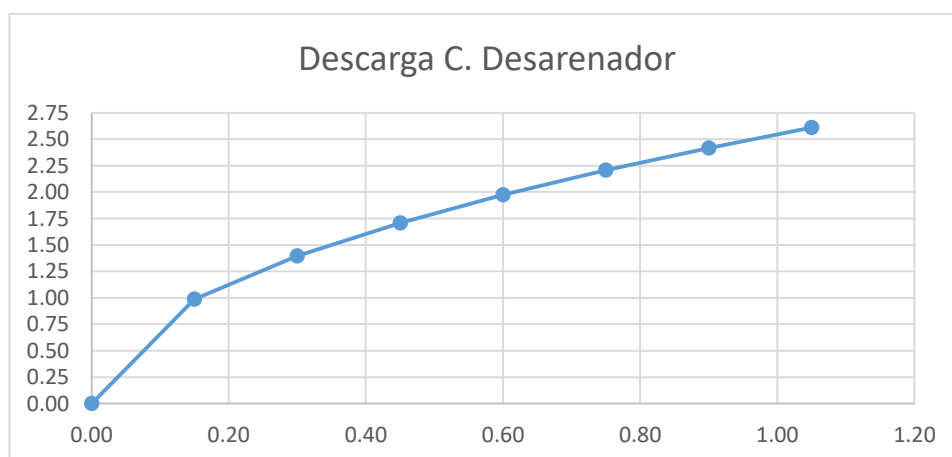
Tabla 6.24: Valores de la curva de descarga de la compuerta de control del desarenador.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.99
0.30	1.40
0.45	1.71
0.60	1.97
0.75	2.21
0.90	2.42
1.05	2.61

Fuente: El Autor.

La curva de descarga se muestra en la figura 6.19.

Figura 6.19: Curva de descarga de la compuerta de control del desarenador.



Fuente: El Autor.

Una vez determinado los valores de las dimensiones de todos los elementos que el programa permite determinar, se establece una comparación entre los resultados obtenidos en el programa y los obtenidos por el método convencional de hojas de cálculo. En la tabla 6.25 se presenta esta comparación.

Tabla 6.25: Comparación final de resultados, caso rejilla lateral.

Ítem	Característica	Valor		Unidad	Elemento
		Convencional	Programa		
1	Altura del paramento	2.2887	2.2998 4	m	Kreager
2	Calado máximo	2.2887	2.2884 0	m	Kreager
3	Carga cinética	0.3903	0.3880 0	m	Kreager
4	Relación h_o/H_o	0.1700	0.1695 0		Kreager
5	Coefficiente n	1.8100	1.8100 0		Kreager
6	Coefficiente k	0.4850	0.4900 0		Kreager
7	Calado critico	1.7766	1.7765 0	m	Cuenco
8	Calado contraído	0.8688	0.8675 0	m	Cuenco
9	Calado conjugado	3.1846	3.1875 0	m	Cuenco
10	Longitud del resalto	7.3159	7.3200 0	m	Cuenco
11	Velocidad en la contracción	8.4304	8.4400 0	m/s	Cuenco

12	Número de Froude	0.9892	0.9914 0		Cuenco
13	Coefficiente de descarga	2.1094	0.9877 0	adim	Rejilla
14	Coefficiente de sumergencia	0.9877	2.1094 0	adim	Rejilla
15	Longitud efectiva/ Ancho total	2.5000	2.5000 0	m	Rejilla
16	Longitud libre	1.7019	1.7010 0	m	Rejilla
17	Número de espacios	17.0000	17.000 00	uni	Rejilla
18	Numero de barrotes	16.0000	16.000 00	uni	Rejilla
19	Pérdida en la rejilla	0.0004	0.0001 2	m	Rejilla
20	Ángulo con respecto al río	0.0266	0.0500 0	°	Rejilla
21	Longitud del desripiador	4.4313	4.3979 0	m	Desripiador
22	Ancho del desripiador	3.8486	3.8485 6	m	Desripiador
23	Altura del desripiador	3.2117	3.2484 0	m	Desripiador
24	Ancho del canal desripiador	1.8838	1.8837 0	m	Canal de transición
25	Ancho de la cámara	3.5438	3.5437 7	m	Desarenador
26	Calado de la cámara	5.6700	5.6700 4	m	Desarenador

27	Longitud de la cámara	40.9503	40.950	28	m	Desarenador
28	Longitud exacta	8.3448	8.3481	0	m	Transición
29	Longitud	6.0000	6.0000	0	m	Tanque recolector
30	Profundidad	3.9658	3.9657	0	m	Tanque recolector

Fuente: El Autor.

6.2. Captación con rejilla de fondo.

Para el diseño de los casos de estudio, iniciaremos numerando las características iniciales que permitirán el diseño aplicando el programa desarrollado. Para el caso de uso de la rejilla lateral usaremos los datos de la tabla 6.26.

Tabla 6.26: Datos iniciales del caso de estudio.

Ítem	Característica	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	2.74	m ³ /s.
2	Caudal de máxima crecida	89.00	m ³ /s.
3	Ancho del río	12.00	m.

Fuente: El Autor.

6.2.1. Azud de derivación.

Siguiendo el proceso de inicio mostrado en el manual de usuario del programa, iniciamos la ventana que nos permite calcular el perfil Kreager, en esta colocaremos los datos de inicio mostrados en la tabla 6.27.

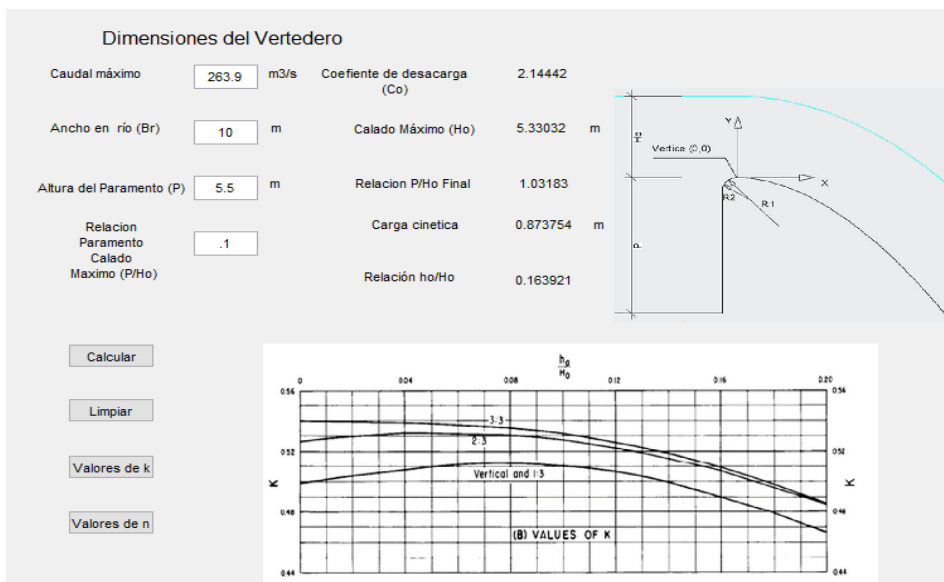
Tabla 6.27: Datos iniciales del azud de derivación.

Ítem	Característica	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de máxima crecida	Qmax	263.85	m ³ /s.
2	Ancho del río	Br	10	m.
3	Altura del paramento	P	5.5	m.
4	Relación P/Ho inicial	P/ho	0.1	

Fuente: El Autor.

Una vez colocados estos valores en la ventana, se obtienen los primeros resultados, los mismos que se muestran en la figura 6.20.

Figura 6.20: Resultados de la primera parte del diseño.



Fuente: El Autor.

Una vez determinados estos valores se procede a determinar los valores de los coeficientes n y k mismos que se presentan en la ventana del programa y serán determinados mediante evaluación visual del usuario, como se recomienda en el manual de usuario.

Tabla 6.28: Valores de los coeficientes n y k .

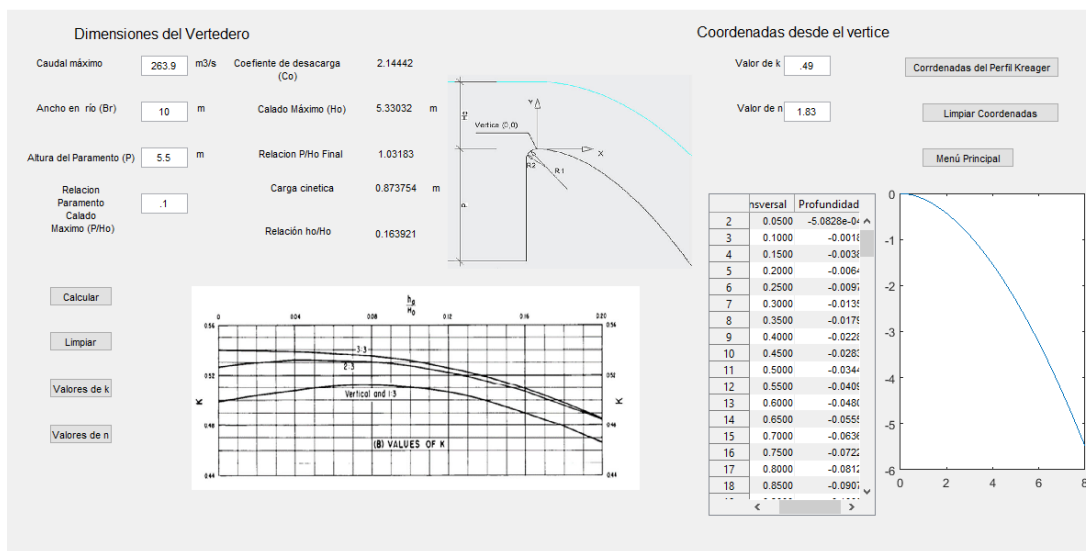
Ítem	Característica	Símbolo	Valor
1	Coficiente n	n	1.83
2	Coficiente k	k	0.49

Fuente: El Autor.

De esta evaluación se definen estos valores en la tabla 6.28. Estos valores son ingresados en las casillas correspondientes del programa, para de esta manera,

determinar las coordenadas del perfil Kreager; siguiendo el proceso descrito en el manual, se obtiene los resultados en la figura 6.21.

Figura 6.21: Resultados de la segunda parte del diseño.



Fuente: El Autor.

6.2.2. Cuenco disipador de energía.

Siguiendo el proceso de definido en el manual d usuario el diseño del cuenco inicia al colocarse los valores de inicio dentro de las casillas de la ventana para el diseño del cuenco. Estos valores están mostrados en la tabla 6.29.

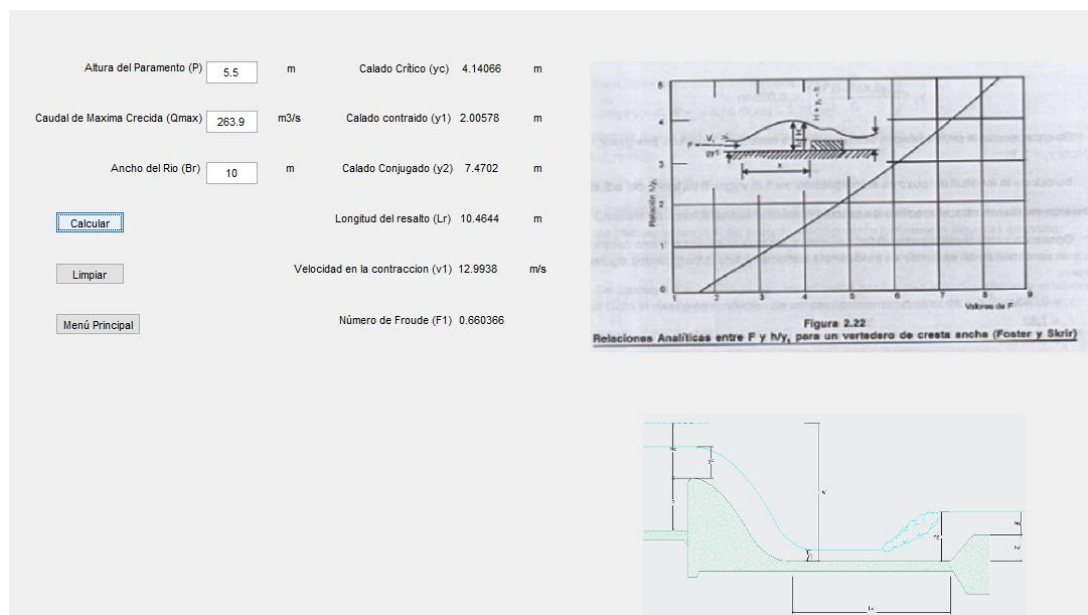
Tabla 6.29: Valores para el diseño del cuenco disipador.

Ítem	dimensión	símbolo	valor	unidad
1	Altura del paramento	P	5.50	m.
2	Caudal de máxima crecida	Qmax	263.90	m.
3	Ancho del río	Br	10.00	

Fuente: El Autor.

Una vez colocados estos valores en la ventana de diseño se obtienen los resultados mostrados en la figura 6.22.

Figura 6.22: Resultados del diseño del cuenco dissipador.



Fuente: El Autor.

Una vez determinado el valor del Número de Froude es necesario determinar la altura del dintel de salida del cuenco. Como se menciona en el capítulo 3.2.3, se vuelve necesaria una aproximación coherente para la determinación de este valor. De manera que usaremos el mismo criterio mencionado en este capítulo, como se menciona a continuación.

Al determinarse un número de Froude menor a dos, se decide trabajar con el valor de h/y_1 correspondiente al número de Froude de valor dos, este valor corresponde a un valor de 0.3; de esta manera el valor final de la altura del dintel de salida del azud será de un 30% del valor del calado conjugado. Para el caso de estudio será entonces:

$$h_d = 0.3 * Y_1$$

$$h_d = 1.24m$$

6.2.3. Rejilla de fondo.

El cálculo de este elemento mediante el uso del programa sigue las recomendaciones del manual de usuario del mismo. Para el diseño de este elemento se utilizan los datos iniciales mostrados en la tabla 6.30.

Tabla 6.30: Valores iniciales para el diseño de la rejilla de fondo.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qdis	0.90	m ³ /s.
2	Longitud de la rejilla	Lrf	4.00	m.
3	Inclinación con la horizontal	α	12.00	°
4	Separación entre los barrotes	s	0.04	m.
5	Espesor de los barrotes	t	0.03	m.
6	Ancho de los barrotes	eb	0.03	m.
7	Porcentaje de obstrucción	f	30.00	%

Fuente: El Autor.

Una vez ingresados estos valores en la ventana de diseño se obtiene los resultados mostrados en la figura 6.20.

Figura 6.23: Resultados del diseño del cuenco disipador.

Diseño de la Rejilla

Caudal de diseño (Qd) m³/s Coeficiente de contracción (cor) 0.431982

Longitud de la Rejilla (Lrf) m Coeficiente de Obstrucción (krf) 0.4

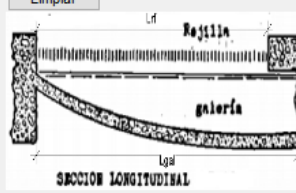
Inclinación de la rejilla con la horizontal ° Ancho de la Rejilla (brf) 0.539264 m

Separación de los Barrotes (s) m

Espesor de los Barrotes (t) m

Altura de los Barrotes (eb) m

Porcentaje de obstrucción (f) %



Fuente: El Autor.

La aplicación del programa para determinar este elemento sigue el proceso determinado por el manual de usuario del mismo en el capítulo correspondiente; siguiendo este proceso se necesita colocar en las casillas correspondientes la información mencionada en la tabla 6.31.

Tabla 6.31: Valores iniciales para el diseño de la galería de captación.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Longitud de la galería	Lgal	7	m.
2	Número de divisiones	ndrf	5	Adim.
3	Coeficiente de Manning	C	0.013	Adim.
4	Cota de la cresta de la rejilla	Niv	1000	msnm.
5	Tipo de sección		rectangular	
6	Velocidad mínima	Vo	1	m/s.
7	Velocidad máxima	Vf	3	m/s.
8	Ancho de la rejilla	brf	0.54	m.

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño aplicando el programa se muestran en la figura 6.24.

Figura 6.24: Resultados del diseño de la galería de captación.

	Coord.X	Caudal Qx	Area Hidraulica	Calado	Perimetro Mojado	Radio Hidraulico	Gradiente Hidraulica	Perdidas Locales	Suma de Perdidas	Carga de Velocidad	Calado Final	Cota de la Galeria
1	0	0	0	0	0.5393	0	Inf	0	0	0.0510	0.0510	999.9490
2	1.4000	0.1980	0.1650	0.3060	1.1512	0.1433	0.0040	0.0056	0.0056	0.0734	0.3850	999.6150
3	2.8000	0.3960	0.2829	0.5245	1.5883	0.1781	0.0040	0.0056	0.0112	0.0999	0.6357	999.3643
4	4.2000	0.5940	0.3713	0.6884	1.9161	0.1937	0.0046	0.0065	0.0177	0.1305	0.8366	999.1634
5	5.6000	0.7920	0.4400	0.8159	2.1711	0.2027	0.0055	0.0077	0.0254	0.1651	1.0065	998.9935
6	7	0.9900	0.4950	0.9179	2.3751	0.2084	0.0065	0.0091	0.0345	0.2039	1.1563	998.8437

Fuente: El Autor.

6.2.4. Desripiador y galería de captación.

El diseño de este elemento será realizado en la ventana correspondiente descrita en el manual de usuario del programa. Seguiremos también el proceso recomendado por el mismo para ejecutar el dimensionamiento de este elemento; de esta manera en la tabla 6.32 se muestran los valores de entrada necesarios para el diseño del canal de transición, elemento que se dimensionará inicialmente para después continuar con el desripiador del proyecto.

Tabla 6.32: Valores iniciales para el diseño del canal de transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.
2	Tipo de rejilla	de fondo		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	br	0.55	m.
5	Calado de control	hct	0.70	m.
6	Revestimiento	Concreto con material en suspensión.		
7	Velocidad de control	Vct	2.00	m/s.

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño se muestran en la figura 6.25 mostrada a continuación.

Figura 6.25: Resultados del diseño del canal de transición.

Canal de Transición

Caudal de diseño (Qdct) m³/s

Velocidad de Control (Vct) m/s

Calado de Control (hct) m

Ancho del Canal (bct) 0.707143 m

Fuente: El Autor.

Una vez determinadas las dimensiones del canal podemos dimensionar el desripiador del proyecto. Para esto se debe colocar la información mostrada en la tabla 6.33, en la ventana de trabajo del programa según corresponda en las casillas del mismo.

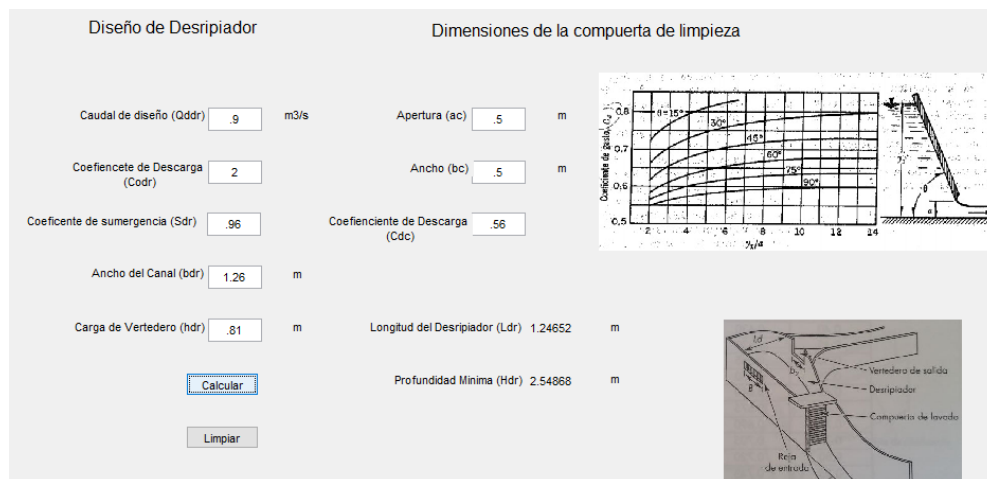
Tabla 6.33: Valores iniciales para el diseño del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.
2	Tipo de rejilla	de fondo		
3	Factor de seguridad		10.00	%
4	Ancho de la rejilla	br	0.55	m.
5	Ancho del canal recolector		0.00	m.
6	Coefficiente de descarga	Co	2.00	
7	Creciente de descarga de la compuerta	cc	0.56	
8	Apertura de la compuerta	ac	0.50	m.
9	Ancho de la compuerta	bc	0.50	m.

Fuente: El Autor.

Los resultados para el dimensionamiento del desripiador se muestran en la figura 6.26.

Figura 6.26: Resultados del diseño del desripiador.



Fuente: El Autor.

6.2.5. Desarenador.

El dimensionamiento de este elemento sigue las recomendaciones y el proceso definido en el capítulo 5.2, se utilizará el programa conforme al capítulo 7, correspondiente al manual de usuario del programa. Para el dimensionamiento serán necesarios los datos de entrada mostrados en la tabla 6.34.

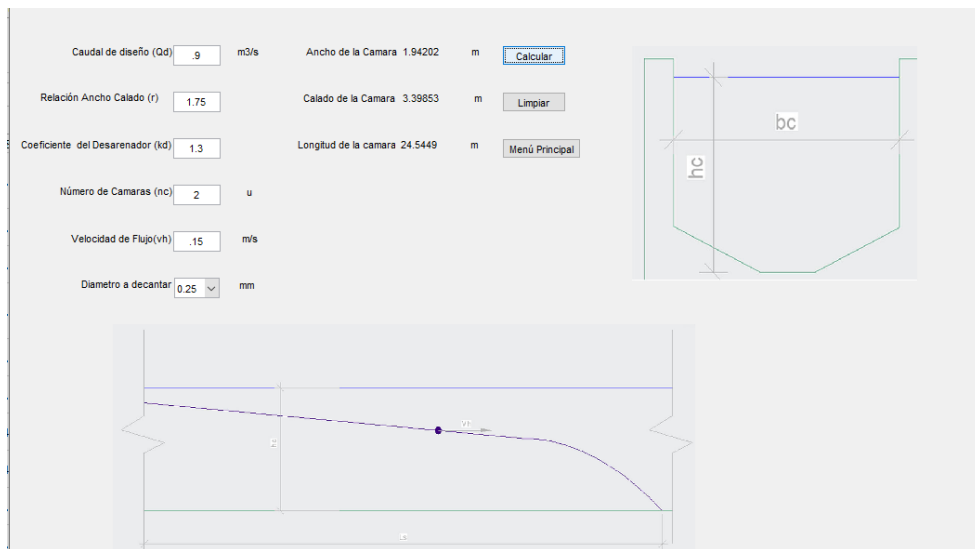
Tabla 6.34: Valores iniciales para el diseño del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.9	m ³ /s.	
2	Diámetro de partícula		0.25	mm.	
3	Número de cámaras	nc	2	Unidad.	
4	Relación ancho-calado	r	1.75		
5	Velocidad de sedimentación	w	2.75	cm/s.	
6	Factor de seguridad		10	%	
7	Coefficiente del desarenador	kd	1.3		
8	Velocidad de flujo	vh	0.15	m/s.	entre 0.1 a 0.4 m/s.

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados del diseño se muestran en la figura 6.27.

Figura 6.27: Resultados del diseño del desarenador.



Fuente: El Autor.

De manera correspondiente a las condiciones normales de diseño las dimensiones finales del desarenador serán redondearán al inmediato superior múltiplo de 5cm y se

prevé la colocación de una pared divisoria de 40cm de espesor para facilitar el armado estructural de la misma.

6.2.6. Transición hacia el desarenador.

Para el diseño de este elemento, mediante el uso del programa se requiere de los datos de entrada mostrados en la tabla 6.35.

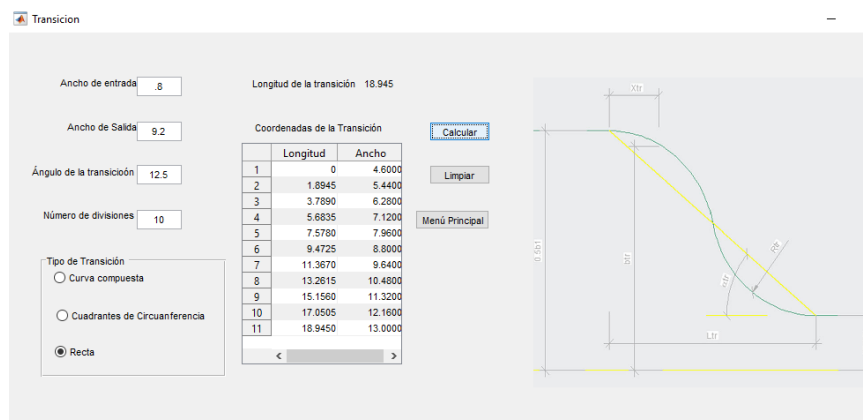
Tabla 6.35: Valores iniciales para el diseño de la transición.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.9	m ³ /s.
2	Ancho de entrada	B1	0.8	m.
3	Ancho de salida	B2	9.2	m.
4	Tipo de transición		curva	
5	Número de divisiones		10	
6	Ángulo de la transición	α	12.5	°
7	Longitud exacta	Ltr	18.9449757	m.

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados del diseño se muestran la figura 6.28.

Figura 6.28: Resultados del diseño de la transición hacia el desarenador.



Fuente: El Autor.

6.2.7. Tanque recolector.

Para el diseño de este elemento mediante el uso del programa se deberá colocar los datos de entrada mostrados en la tabla 6.36.

Tabla 6.36: Valores iniciales para el diseño del tanque recolector.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s
2	Factor de seguridad		10.00	%
3	Ancho	bct	6.00	m
4	Velocidad de flujo	vt	0.10	m/s
5	Tiempo de retención	tr	60.00	S

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados del diseño se muestran en la figura 6.29.

Figura 6.29: Resultados del diseño del taque recolector.

Caudal de diseño (Qd) m³/s

Velocidad de flujo (Vf) m/s

Ancho (Btr) m

Tiempo de retención (Ttr) s

Longitud (Ltr) m

Profundidad(Htr) m

Fuente: El Autor.

6.2.8. Vertederos de control.

Estos vertederos poseerán la misma geometría de diseño, de esta manera el diseño del vertedero a colocarse en ambos elementos será diseñado bajo los datos de entrada mostrados en la tabla 6.37.

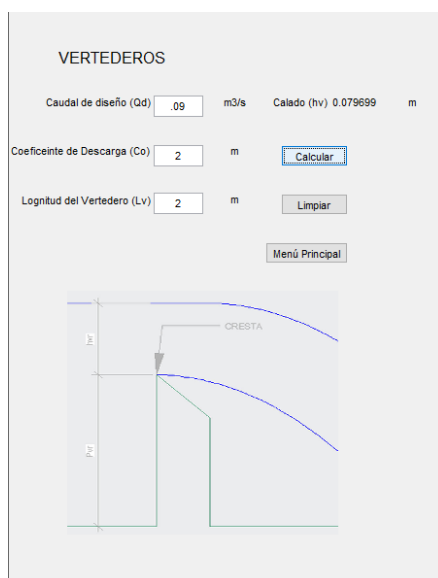
Tabla 6.37: Valores iniciales para el diseño de los vertederos.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
1	Caudal de diseño	Qd	0.09	m ³ /s.
2	Longitud	L	2	m.
3	Coefficiente de descarga	co	2	

Fuente: El Autor.

Mientras que los resultados se muestran en la figura 6.30.

Figura 6.30: Resultados del diseño de los vertederos.



Fuente: El Autor.

6.2.9. Compuertas de limpieza.

De la misma manera que en capítulo tres, la tabla 6.38 muestra la ubicación de estos elementos para su posterior diseño.

Tabla 6.38: Ubicación de las compuertas de limpieza.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Azud	Limpieza	1.00	1.00	m.
2	Desripiador	Limpieza	1.00	0.50	m.
3	Desarenador	Limpieza	2.00	1.00	m.

Fuente: El Autor.

El diseño de estos elementos seguirá el proceso recomendado en el capítulo 5.2, así como, también el proceso recomendado en el capítulo siete, correspondiente al manual de usuario del programa.

- Compuerta de limpieza del azud de derivación.

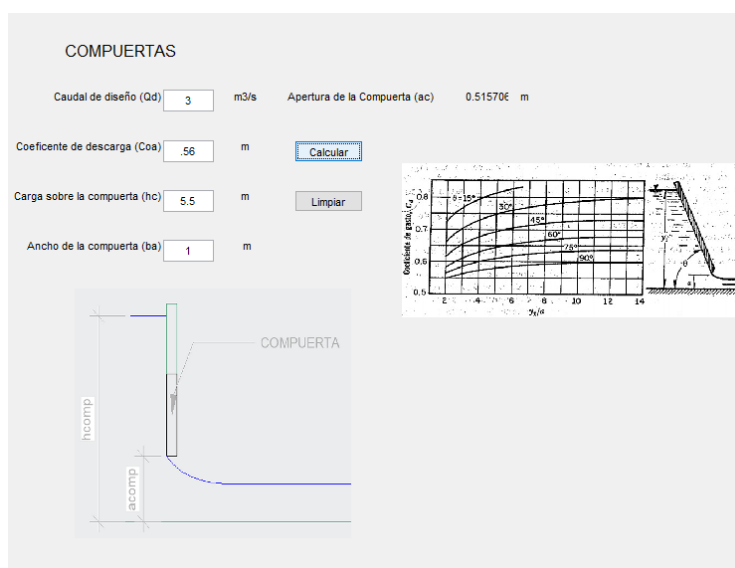
Tabla 6.39: Diseño de la compuerta de limpieza del azud.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	3.00	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h	5.50	m.	
3	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m.	
4	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
5	Relación altura apertura	h/ac	4.00		
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

El diseño de la compuerta se muestra en la figura 6.31.

Figura 6.31: Resultados del diseño de los vertederos.



Fuente: El Autor.

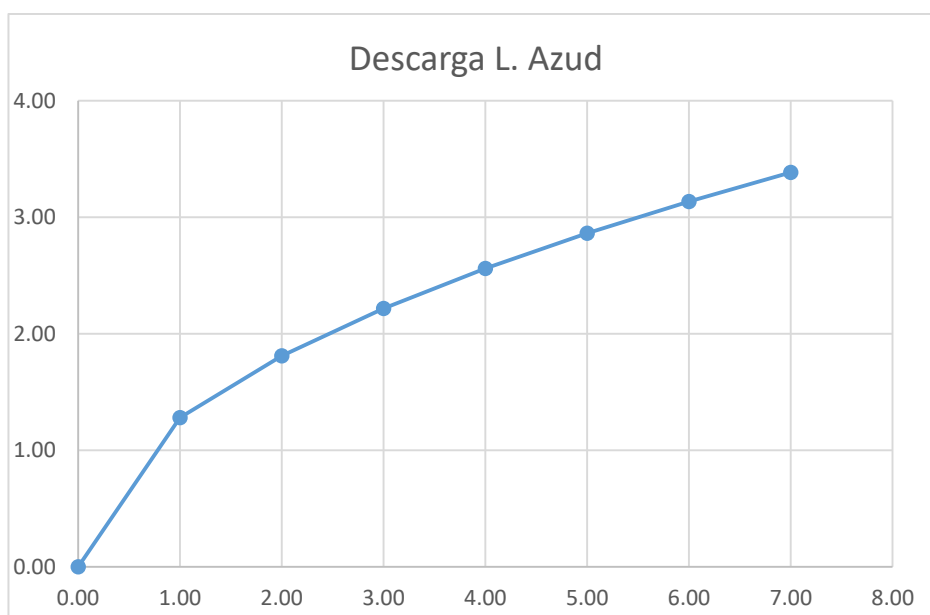
La curva de descarga para la compuerta se muestra en la tabla 6.40 y la figura 6.32.

Tabla 6.40: Descarga de la compuerta de limpieza para el azud.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
1.00	1.28
2.00	1.81
3.00	2.22
4.00	2.56
5.00	2.86
6.00	3.13
7.00	3.38

Fuente: El Autor.

Figura 6.32: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza del desripiador.

Esta compuerta ya fue diseñada en el capítulo 6.2.2 capítulo correspondiente al desripiador, de manera que a continuación se muestra el mencionado diseño de la compuerta, además de la tabla y gráfica correspondientes a la curva de descarga para esta compuerta.

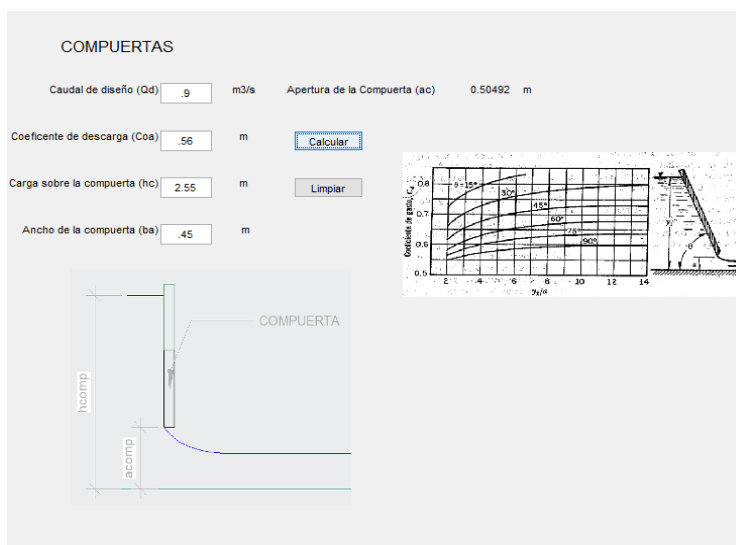
Tabla 6.41: Diseño de la compuerta de limpieza del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.	
2	Altura del desripiador	hd	2.55	m.	
3	Ancho de la compuerta	bc	0.50	m.	
4	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
5	Relación altura apertura	hd/ac	4.00		
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

El diseño de la compuerta se muestra en la figura 6.33.

Figura 6.33: Curva de descarga para la compuerta de limpieza del azud.



Fuente: El Autor.

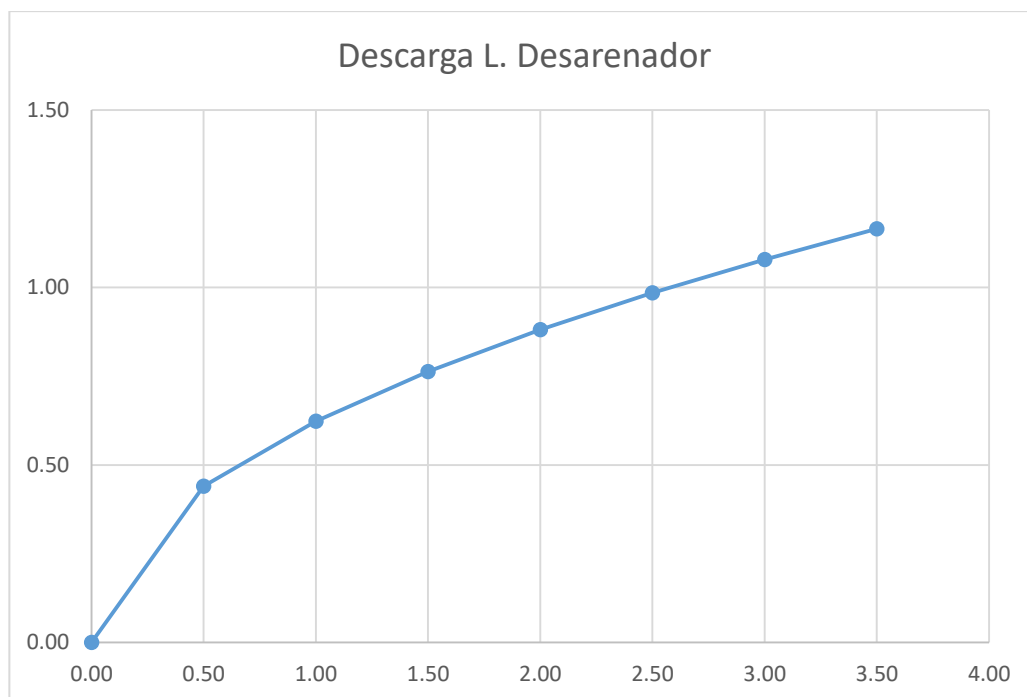
La curva de descarga para esta compuerta se muestra en la tabla 6.42 y la gráfica 6.34.

Tabla 6.42: Descarga de la compuerta de limpieza del desripador.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.44
1.00	0.62
1.50	0.76
2.00	0.88
2.50	0.98
3.00	1.08
3.50	1.17

Fuente: El Autor.

Figura 6.34: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desripador.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de limpieza de una cámara desarenadora.

Estas dos compuertas se ubican al final de desarenador y permiten evacuar los sólidos recolectados en la una cámara durante las operaciones de mantenimiento del desarenador.

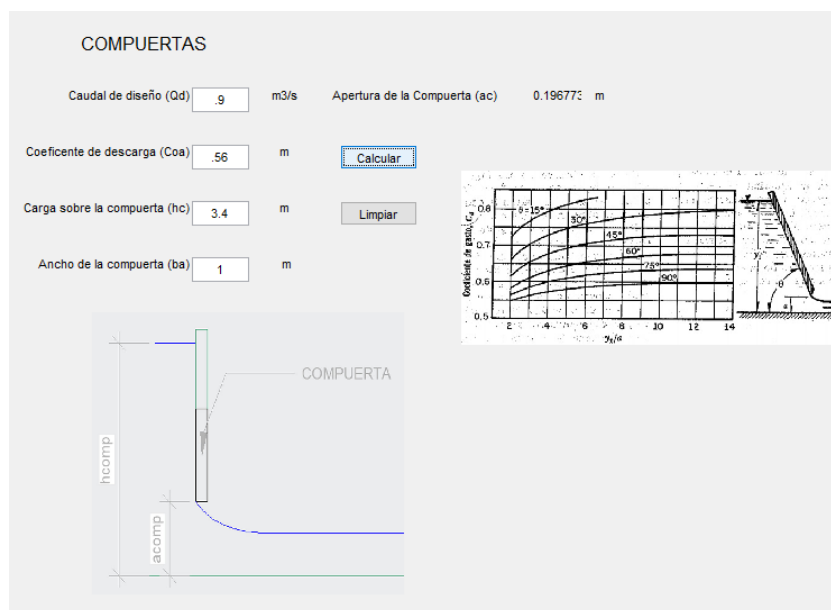
Tabla 6.43: Diseño de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h	3.40	m.	
3	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m.	
4	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
5	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
6	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

Los resultados del diseño se muestran en la figura 6.35.

Figura 6.35: Curva de descarga de la compuerta de limpieza del desripador.



Fuente: El Autor.

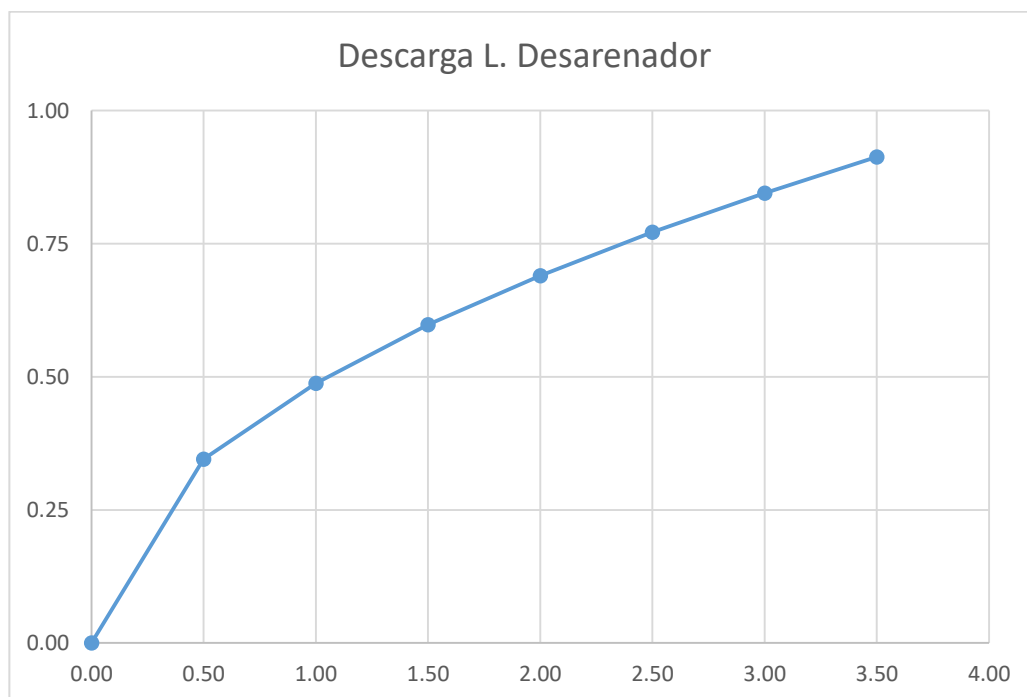
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 6.44 y la figura 6.36.

Tabla 6.44: Descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.

Carga sobre la compuerta h (m)	Caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.50	0.35
1.00	0.49
1.50	0.60
2.00	0.69
2.50	0.77
3.00	0.85
3.50	0.91

Fuente: El Autor.

Figura 6.36: Curva de descarga de la compuerta de limpieza de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

6.2.10. Compuertas de control.

La tabla 6.45 muestra las ubicaciones y características básicas de cada una de estas compuertas.

Tabla 6.45: Ubicación de las compuertas de control.

Ítem	Ubicación	Tipo	Cantidad	Ancho	Unidad
1	Galería de captación	Control	1.00	1.00	m.
2	Canal de transición	Control	1.00	0.75	m.
3	Desarenador	Control	2.00	1.00	m.

Fuente: El Autor.

- Compuerta de control de la galería de captación.

Esta compuerta permitirá el cierre del caudal captado por la rejilla y recogido en la galería de captación para las operaciones de mantenimiento del desripiador. Los datos de entrada de esta compuerta se muestran en la tabla 6.46.

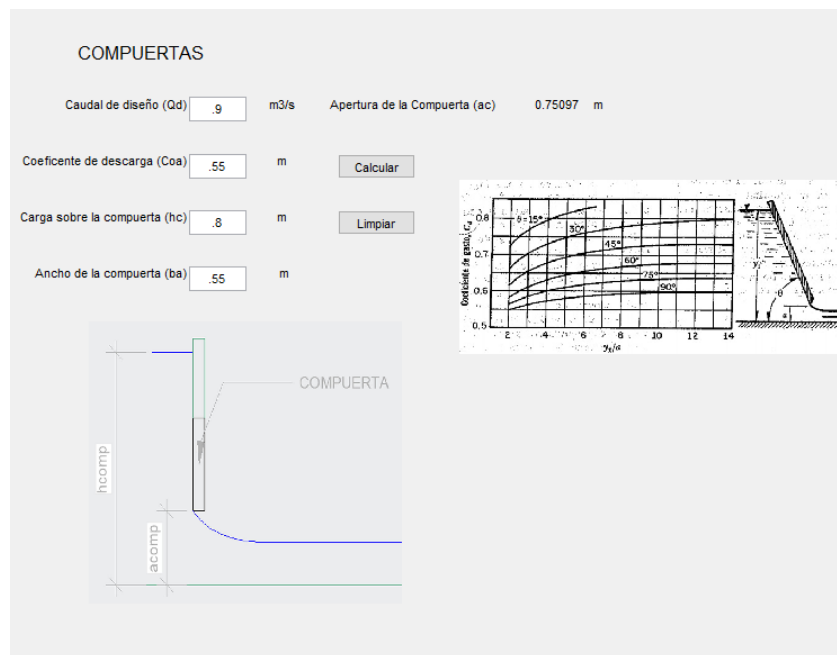
Tabla 6.46: Diseño de la compuerta de control de la galería de captación.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.80	m.	
4	Ancho de la compuerta	bc	0.55	m.	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

El diseño de la compuerta se muestra en la figura 6.37.

Figura 6.37: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación.



Fuente: El Autor.

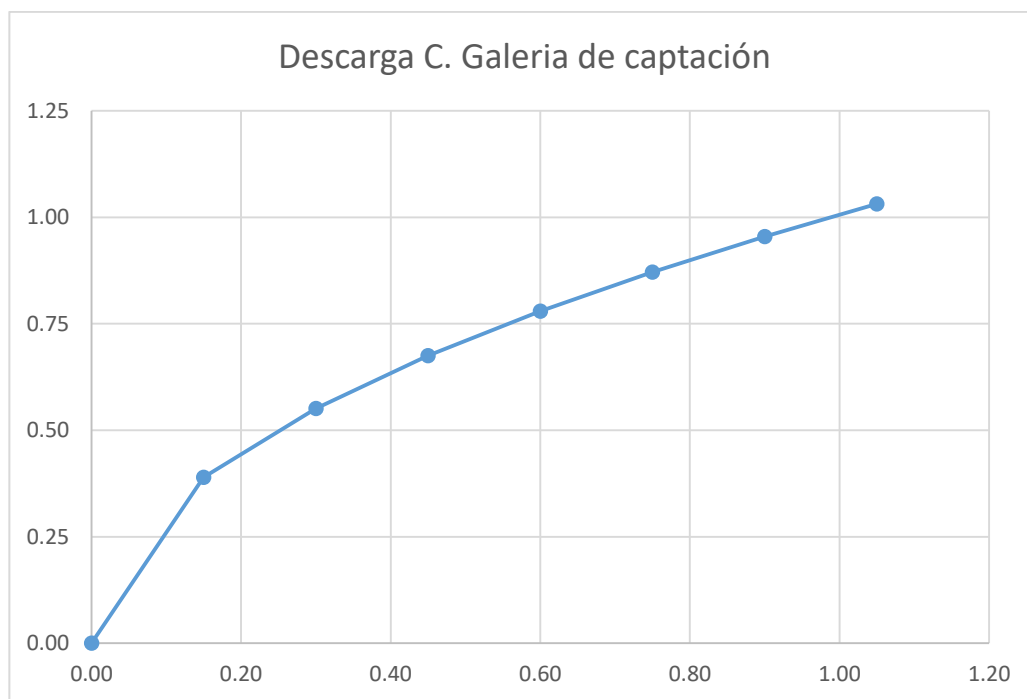
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 6.47 y la figura 6.38.

Tabla 6.47: Descarga para la compuerta de control de la galería de captación.

carga sobre la compuerta h (m)	caudal Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.39
0.30	0.55
0.45	0.68
0.60	0.78
0.75	0.87
0.90	0.95
1.05	1.03

Fuente: El Autor.

Figura 6.38: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación.



Fuente: El Autor.

- Compuerta de control del desripiador.

El cierre de esta compuerta permite las operaciones de mantenimiento sobre el canal de transición y la transición hacia las cámaras desarenadoras. Los datos de entrada de esta compuerta se muestran en la tabla 6.48.

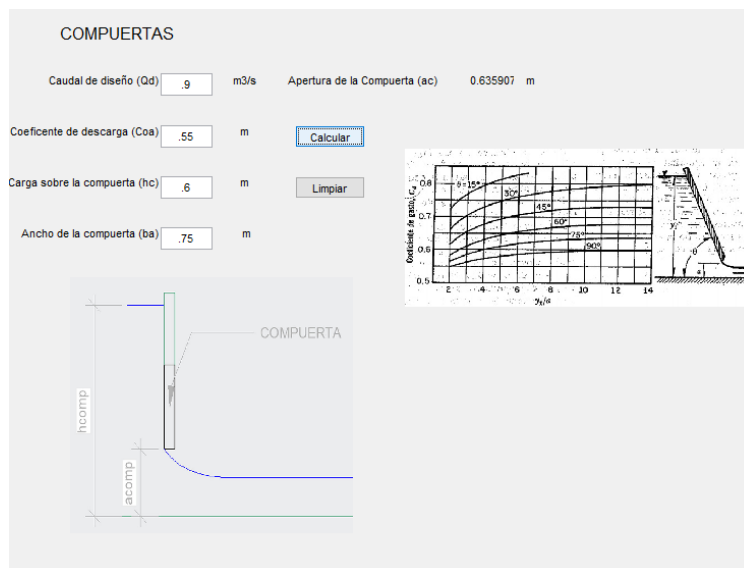
Tabla 6.48: Diseño de la compuerta de control del desripiador.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.60	m.	
4	Ancho de la compuerta	bc	0.75	m.	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.55		
6	Relación altura apertura	h/ac	2.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

El diseño de la compuerta se muestra en la figura 6.39.

Figura 6.39: Curva de descarga de la compuerta de control de la galería de captación.



Fuente: El Autor.

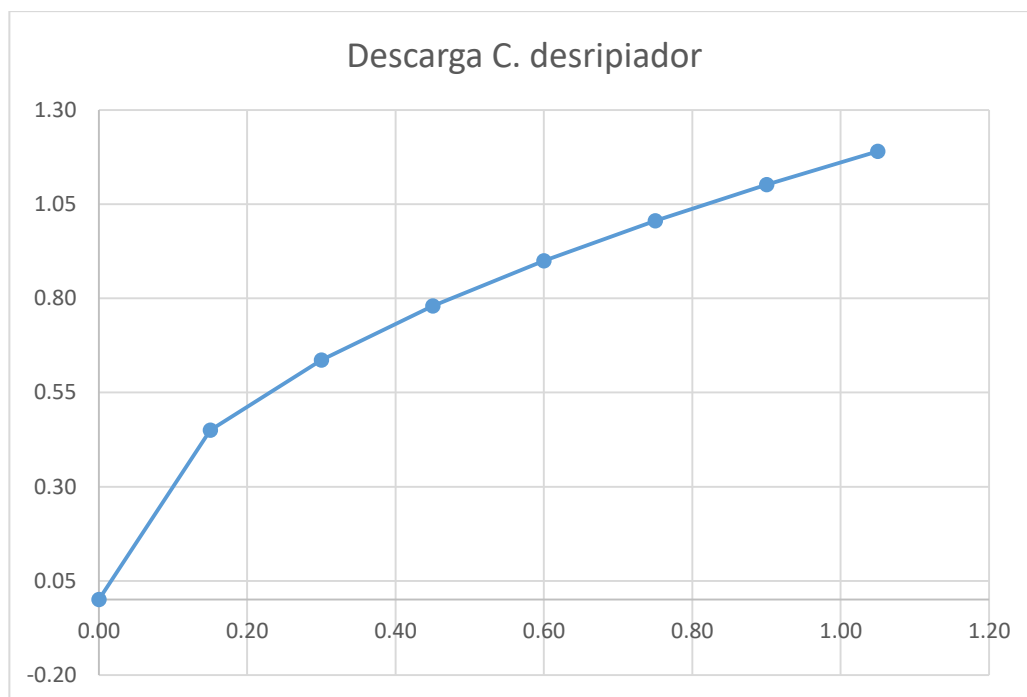
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 6.49 y la figura 6.40.

Tabla 6.49: Descarga de la compuerta de control del desripador.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m3/s)
0.00	0.00
0.15	0.45
0.30	0.64
0.45	0.78
0.60	0.90
0.75	1.01
0.90	1.10
1.05	1.19

Fuente: El Autor.

Figura 6.40: Curva de descarga de la compuerta de control del desripiador.



Fuente: El Autor.

- Compuertas de control en las cámaras desarenadoras.

Estas dos compuertas se ubican a 3.50m después de iniciada la transición hacia el desarenador ubicación en la que el calado será muy cercano a valores de 95cm, permitiendo de esta manera el diseño de esta compuerta.

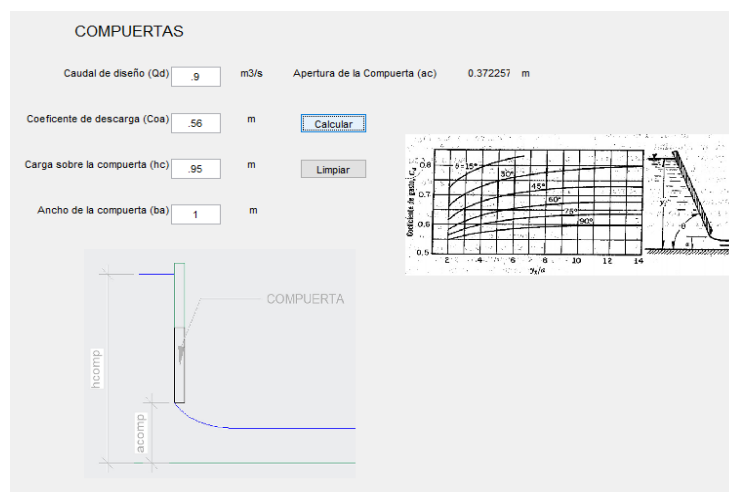
Tabla 6.50: Diseño de la compuerta de control de las cámaras desarenadoras.

Ítem	Nombre	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
1	Caudal de diseño	Qd	0.90	m ³ /s.	
2	Altura sobre la compuerta	h	0.95	m.	
4	Ancho de la compuerta	bc	1.00	m.	
5	Coefficiente de descarga de la compuerta	cc	0.56		
6	Relación altura apertura	h/ac	4.00		
7	Inclinación de la compuerta		90.00	°	

Fuente: El Autor.

El diseño de la compuerta se muestra en la figura 6.41.

Figura 6.41: Curva de descarga de la compuerta de control del desripiador.



Fuente: El Autor.

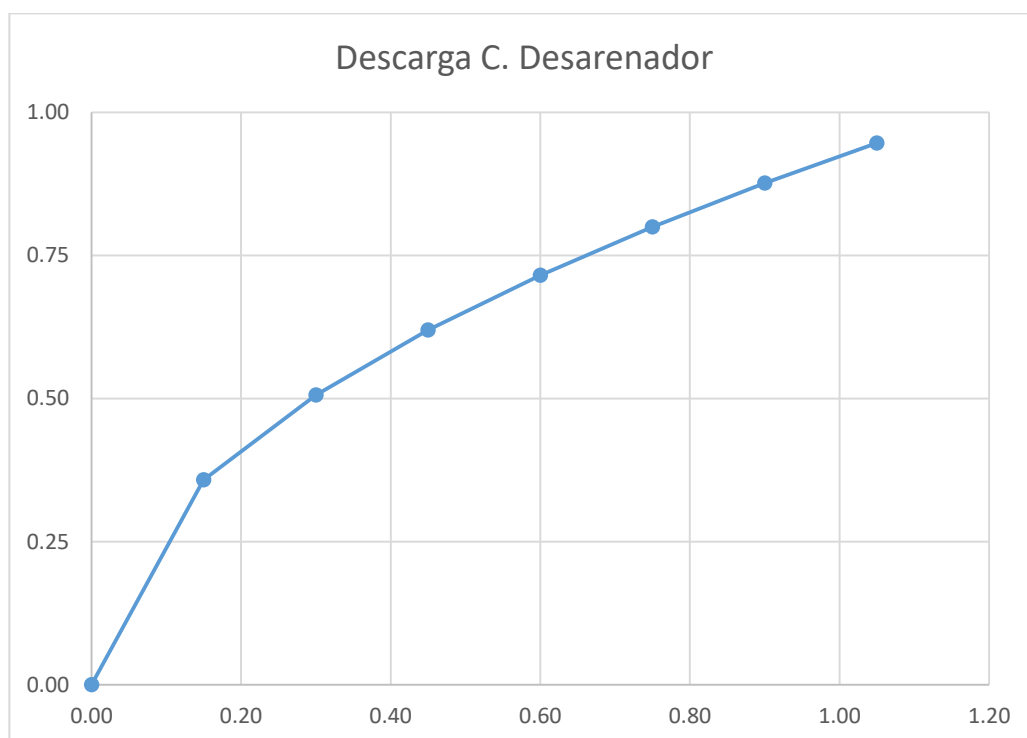
Los valores correspondientes a la curva de descarga de esta compuerta se muestran en la tabla 6.51 y la figura 6.41.

Tabla 6.51: Descarga para la compuerta de control de las cámaras desarenadoras.

Carga sobre la compuerta	Caudal
h (m)	Q (m ³ /s)
0.00	0.00
0.15	0.36
0.30	0.51
0.45	0.62
0.60	0.72
0.75	0.80
0.90	0.88
1.05	0.95

Fuente: El Autor.

Figura 6.42: Curva de descarga de las compuertas de control de las cámaras desarenadoras.



Fuente: El Autor.

Una vez determinado los valores de las dimensiones de todos los elementos que el programa permite determinar se establece una comparación entre los resultados obtenidos entre los obtenidos en el programa y los obtenidos por el método convencional de hojas de cálculo. En la tabla 6.52 se presenta la comparación.

Tabla 6.52: Comparación final de resultados, caso rejilla de fondo.

Ítem	Característica	Valor		Unidad	Elemento
		Convencional	Programa		
1	Altura del paramento	5.5000	5.50000	M	Kreager.
2	Calado máximo	5.32864039	5.33032	M	Kreager.
3	Carga cinética	0.87349417	.87375	M	Kreager.
4	Relación ho/ho	0.1000	0.16950		Kreager.
5	Coefficiente n	1.83	1.83000		Kreager.
6	Coefficiente k	0.49	0.49000		Kreager.
7	Calado crítico	4.14066337	4.14066	M	Cuenco.
8	Calado contraído	2.00578182	2.00578	M	Cuenco.
9	Calado conjugado	7.47019644	7.47020	m	Cuenco.
10	Longitud del resalto	10.4644146	10.46440	m	Cuenco.
11	Velocidad en la contracción	12.9938394	12.99380	m/s	Cuenco.
12	Número de Froude	0.66036614	0.66037		Cuenco.
13	Coefficiente de contracción	0.4320	0.43198	adim	Rejilla.
14	Coefficiente de obstrucción	0.4000	0.40000	m	Rejilla.
15	Ancho de la rejilla	0.5393	0.53926	m	Rejilla.
16	Inicio	999.9500	999.94900	msnm	Galería.

17	Final	998.7700	998.84370	msnm	Galería.
18	Longitud del desripiador	1.2562	1.24652	m	Desripiador.
19	Ancho del desripiador	1.2641	1.26000	m	Desripiador.
20	Altura del desripiador	2.5261	2.54868	m	Desripiador.
21	Ancho del canal desripiador	1.8838	1.88370	m	Canal de transición.
22	Longitud exacta	18.9450	18.9450	m	Transición.
23	Ancho de la cámara	1.9420	1.9420	m	Desarenador.
24	Calado de la cámara	3.3985	3.3985	m	Desarenador.
25	Longitud de la cámara	24.0987	24.5449	m	Desarenador.
26	Longitud exacta	24.1000	24.5000	m	Transición.
27	Longitud	6.0000	6.0000	m	Tanque recolector.
28	Profundidad	1.6500	1.6500	m	Tanque recolector.

Fuente: El Autor.

6.3. Ventajas y desventajas de la aplicación del programa.

El uso del programa ofrece un conjunto de ventajas, comparadas con el uso de hojas electrónicas, estas se numeran a continuación:

- La aplicación del programa permite reducir el tiempo empleado para el diseño de cualquiera de los elementos de una captación, comparado a la generación de una hoja de cálculo nueva por parte del mismo.
- De manera similar a una hoja de cálculo, el programa ha sido realizado para permitir el diseño de un elemento específico, permitiendo así, revisiones

rápidas sobre las dimensiones de este elemento optimizando el diseño del mismo.

- El programa aplica las ecuaciones y expresiones mencionadas en el capítulo II de manera correspondiente al análisis dimensional de las mismas, además los resultados, así como los datos ingresados se encuentran todos en el sistema internacional de unidades.
- Al comparar los resultados obtenidos por la aplicación del programa, con las dimensiones de ejecución del proyecto hidroeléctrico “Victoria”, uno de los casos de estudio, se determinó que, existen valores que difieren entre los resultados obtenidos. Estas diferencias se justifican por condiciones específicas del proyecto; por ejemplo, la condición topográfica del punto de cierre, factor que hizo necesario colocar una curva en el cuenco dissipador, para que este alcance su longitud final de desarrollo en los tramos rectos antes y después de esta. Otro factor que influyó en el desarrollo del proyecto fue el nivel de operación que debía alcanzarse en el mismo, para propósitos de generación hidroeléctrica, factor que definió una altura del paramento del azud mayor a la determinada en el programa.

Tabla 6.53: Comparación final de resultados, caso rejilla de fondo.

Ítem	Característica	Valor		Unidad	Elemento
		Valor Real	Programa		
1	Altura del paramento	3.0000	2.29984	m	Kreager.
2	Longitud del resalto	18.0000	7.3200	m	Kreager.
3	Numero de Froude	1.0000	0.99140	m	Cuenco.
4	Longitud de la cámara	40.0000	40.95028	m	Desarenador.

Fuente: ("Empresa Electrica Quito" S. A., 2018).

Desventajas del uso del programa:

- El programa no realiza el diseño integral de una obra de captación en una sola interacción, en cambio se realiza el diseño de cada elemento componente de una obra de captación.
- El utilitario de Matlab en el que se desarrolló el programa no permite generar un documento para impresión de resultados.

7. Manual de usuario.

El manual de usuario se presenta como una herramienta que permitirá el adecuado uso del programa para la obtención de resultados correspondientes a la realidad del diseño hidráulico.

7.1. Guía rápida de uso.

7.1.1. Introducción.

Esta guía de uso rápido está enfocada en entregar al usuario las herramientas necesarias para el adecuado uso del programa para el diseño hidráulico de captaciones superficiales y presentará los procesos y las referencias técnicas con las que se realizan los cálculos del programa.

El programa está enfocado a tener facilidad de uso del programa y de la interpretación de los resultados obtenidos por el mismo.

7.1.2. Entorno de trabajo.

El entorno de trabajo es el conjunto de ventanas, menús y sub menús que ofrece un paquete computacional. Matlab presenta un escritorio mediante el cual se tiene acceso a estos elementos.

El programa se ejecuta presentando al usuario un conjunto de ventanas de trabajo, las mismas que serán explicadas a profundidad más adelante manual de usuario.

7.1.3. Como se inicia el programa.

Para iniciar el programa se debe ejecutar Matlab. Haciendo clic en el ícono correspondiente en el escritorio o la barra de tareas del su computador.

Figura 7.1: Icono de inicio de Matlab.



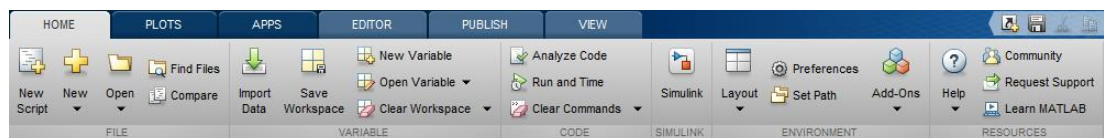
Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para ejecutar por primera vez el programa se debe cargar el programa al ambiente de trabajo de Matlab.

Para realizar esta acción se debe abrir el programa mediante la siguiente secuencia de acciones:

- En la barra de “Home” de Matlab seleccione la opción “Open”, donde se despliega la ventana de los dispositivos de almacenamiento de su computador.

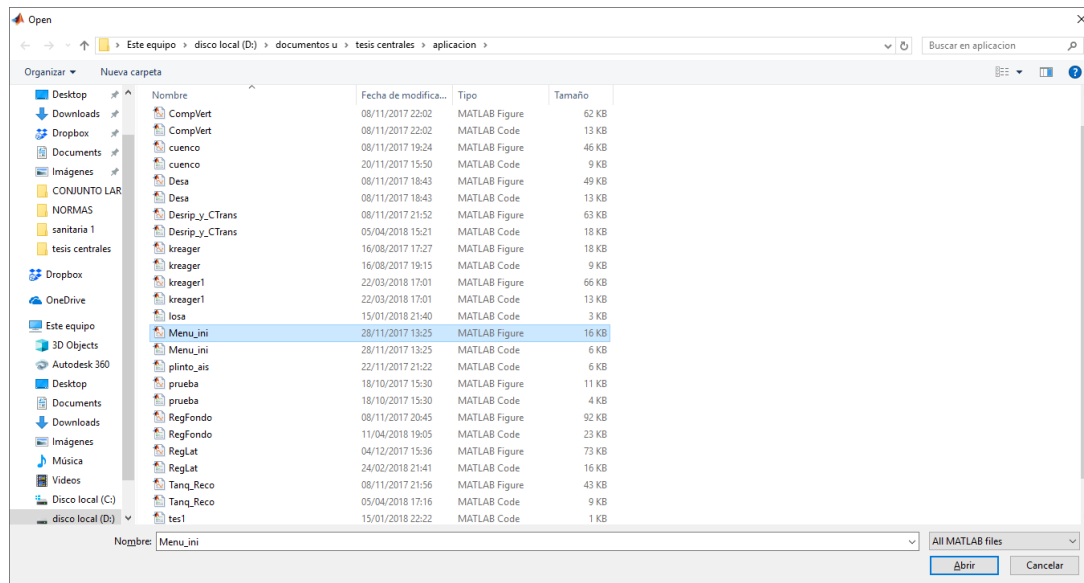
Figura 7.2: Barra “Home” de Matlab.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

- Seleccione el dispositivo y la carpeta donde se encuentra el programa.

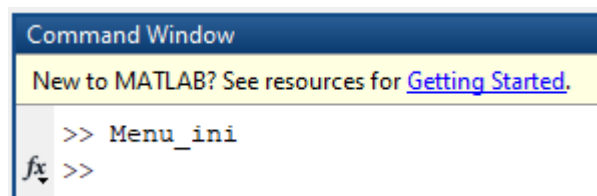
Figura 7.3: Ventana “Open” de Matlab.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

- Haga doble clic sobre el nombre de archivo “Menu_ini” e inmediatamente aparecerá la serie de comandos de Matlab que componen el programa para el diseño hidráulico de obras de captación.
- Para ejecutar el programa, escriba el nombre del script “Menu_ini” en la ventana de comandos de Matlab y presione “Enter”.

Figura 7.4: Ventana de comandos de Matlab.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

- También se puede iniciar el programa mediante el menú de edición de Matlab haciendo clic en el botón “Run”.

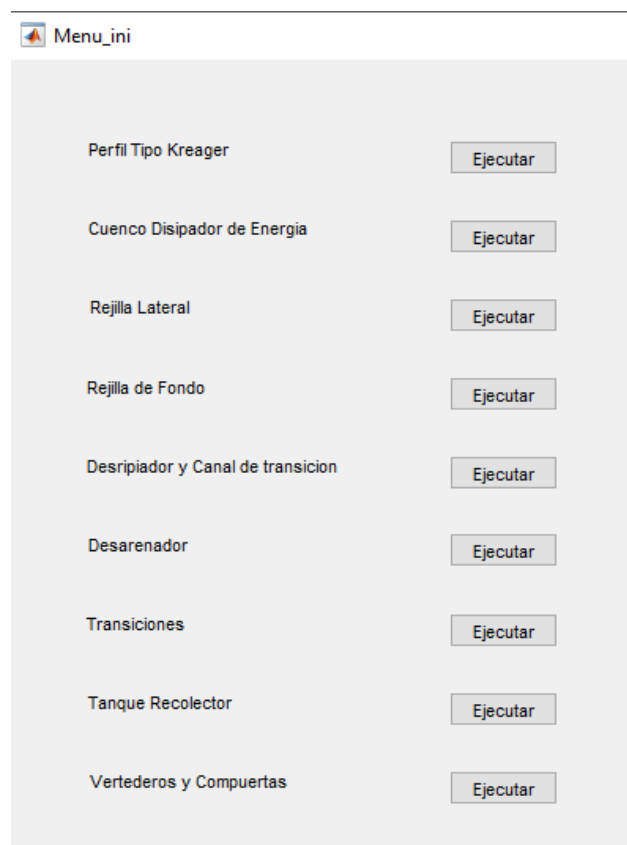
Figura 7.5: Menú de edición de Matlab.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab. (versión: 2017a).

De esta manera aparecerá una ventana como la que se muestra la figura 7.6

Figura 7.6: Menú de inicio del programa.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

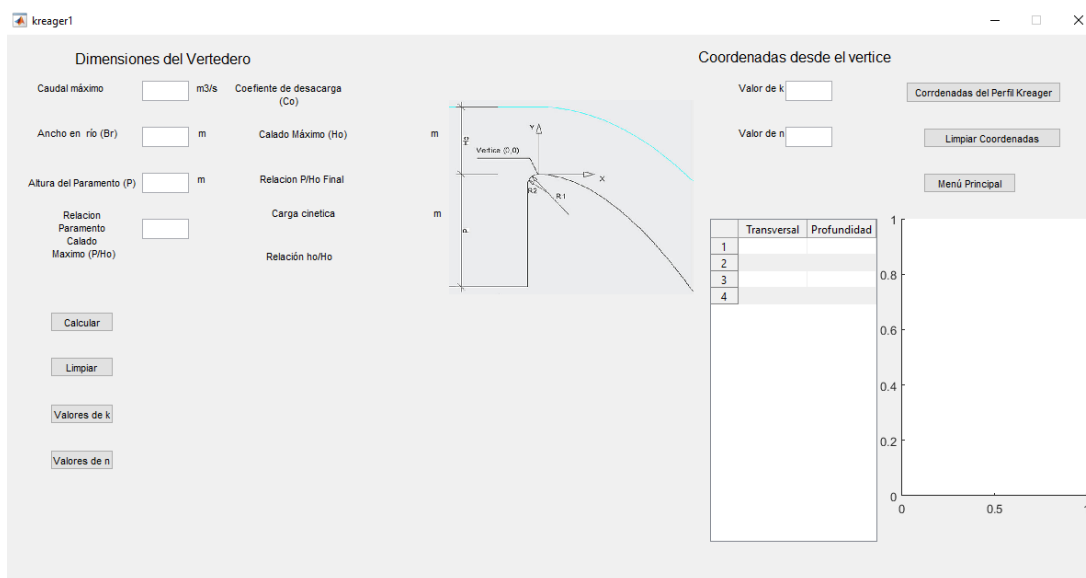
7.1.4. Menú principal.

Esta ventana permite tener acceso a las demás ventanas del programa (Figura 7.6). Para ejecutar un proceso se da clic en el botón “Ejecutar” situado a la derecha del Nombre de Proceso a realizarse.

7.1.5. Perfil Tipo Kreager.

En esta ventana se podrá obtener los datos necesarios para el dimensionamiento de un vertedero de perfil tipo Kreager, para ello el usuario deberá colocar los datos iniciales requeridos. A continuación, se muestra la ventana de trabajo de diseño de vertederos tipo Kreager.

Figura 7.7: Ventana para el diseño del perfil tipo Kreager.

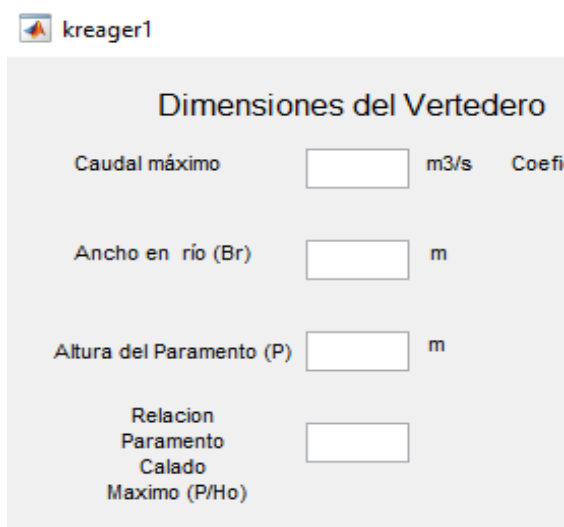


Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Se debe iniciar colocando los valores de los datos de entrada ubicados en la parte superior izquierda de la ventana (Figura 7.8). Estos datos son:

- Caudal de máxima crecida.
- Ancho del río.
- Altura del paramento.
- La relación P/Ho inicial.

Figura 7.8: Ubicación de las casillas de ingreso.



kreager1

Dimensiones del Vertedero

Caudal máximo	<input type="text"/>	m ³ /s	Coefi
Ancho en río (Br)	<input type="text"/>	m	
Altura del Paramento (P)	<input type="text"/>	m	
Relacion Paramento Calado Maximo (P/Ho)	<input type="text"/>		

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Una vez colocados estos valores en las unidades correspondientes, colocadas a la derecha de cada casilla de ingreso, se debe presionar el botón “Calcular” para ejecutar los cálculos y obtener los primeros resultados. Estos resultados se muestran en las casillas de resultados situados a la derecha de las casillas de ingreso (Figura 7.9).

Figura 7.9: Ubicación de las casillas de resultados.

Coeficiente de desacarga (Co)	
Calado Máximo (Ho)	m
Relacion P/Ho Final	
Carga cinetica	m
Relación ho/Ho	

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Los cálculos necesarios para la obtención de resultados están desarrollados de acuerdo a las expresiones que han sido detalladas en el Capítulo 2.

El botón “Limpiar” permite vaciar las casillas tanto de ingreso como de resultados para realizar un nuevo cálculo (figura 7.10).

Figura 7.10: Botón “Limpiar” de la ventana de diseño de Perfiles tipo “Kreager”.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Una vez obtenidos estos primeros resultados, se deberá determinar los valores de los coeficientes k y n mismos que se determinarán de manera gráfica, para establecer estos valores, se debe dar clic en los botones “Valores de k ” y “Valores de n ”, obteniéndose el ábaco gráfico mediante el cual se definirán los valores de estos coeficientes.

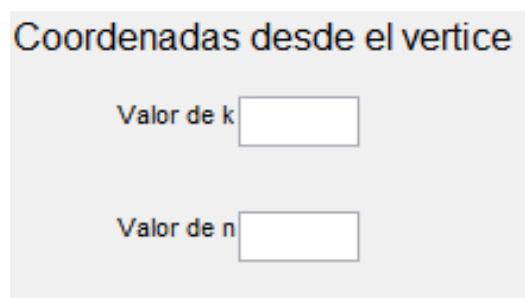
Figura 7.11: Botones para mostrar los ábacos para n y k.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Los valores de n y k deben ser colocados en las casillas de ingreso para estos coeficientes (Figura 7.12), al tener los valores de estos coeficientes será posible determinar las coordenadas del perfil Kreager.

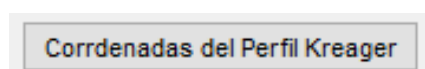
Figura 7.12: Casillas de ingreso para n y k.

The image shows a form titled 'Coordenadas desde el vertice'. Below the title, there are two input fields. The first is labeled 'Valor de k' and the second is labeled 'Valor de n'. Both input fields are empty and have a light gray background.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para determinar las coordenadas del perfil se debe dar click en el botón Coordenadas del Perfil Kreager.

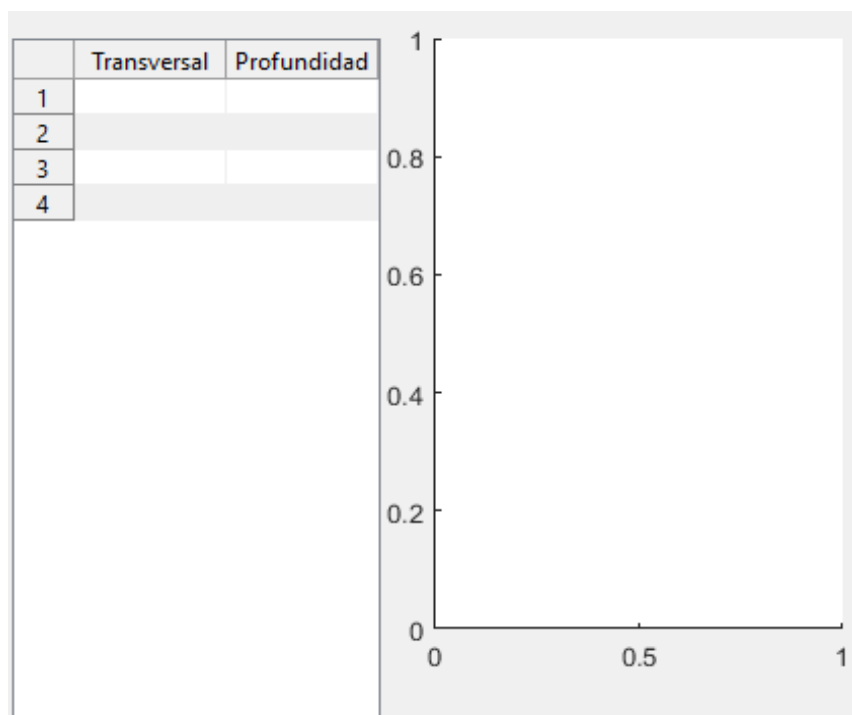
Figura 7.13: Botón “Coordenadas del perfil Kreager”.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Los resultados del cálculo de las coordenadas del perfil “Kreager” se muestran de manera gráfica y numérica dentro de la ventana de cálculo estos resultados se ubicarán en las casillas determinadas y mostradas en la figura 7.14.

Figura 7.14: Casillas de resultados de las coordenadas del perfil Kreager.

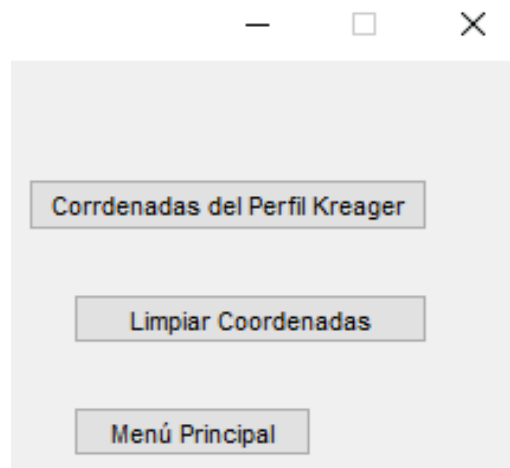


Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para realizar un nuevo cálculo de las coordenadas y colocar nuevos valores de los coeficientes n y k se debe presionar el botón “Limpiar Coordenadas”.

Para regresar al menú principal del programa se dará clic en el botón “Menú Principal”.

Figura 7.15: Botones “Coordenadas del Perfil Kreager”, “Limpiar Coordenadas” y “Menú Principal”.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

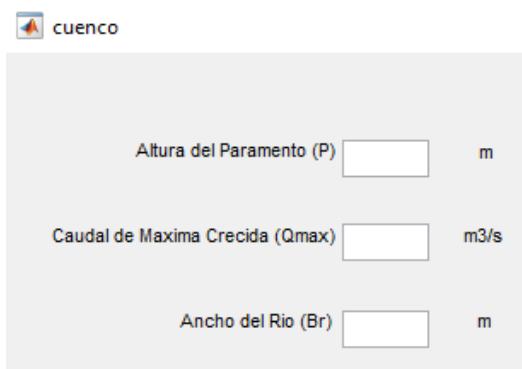
7.1.6. Cuenco disipador de energía.

En esta ventana se ingresan los valores necesarios para la determinación de un cuenco que disipe la energía del cauce de agua en el evento de máxima crecida del mismo, aprovechando el fenómeno del resalto hidráulico. Teniendo en cuenta este fenómeno se requieren los siguientes datos iniciales:

- Caudal de máxima crecida.
- Altura del paramento.
- Ancho del río.

Estas variables deben ser colocadas en las casillas de ingreso, estas casillas están ubicadas en la parte superior derecha de la ventana de trabajo, como se muestran en la figura 7.16.

Figura 7.16: Casillas de ingreso de los datos iniciales del cuenco disipador.

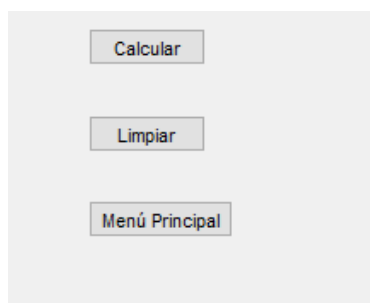


The image shows a window titled 'cuenco' with three input fields. The first field is labeled 'Altura del Paramento (P)' with a unit 'm'. The second field is labeled 'Caudal de Maxima Crecida (Qmax)' with a unit 'm3/s'. The third field is labeled 'Ancho del Rio (Br)' with a unit 'm'.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Una vez ingresados los datos iniciales, y para ejecutar los cálculos para la definición de las dimensiones del cuenco, se dará clic sobre el botón “Calcular” situado en la parte inferior derecha de la ventana, inmediatamente debajo de las casillas de ingreso de datos.

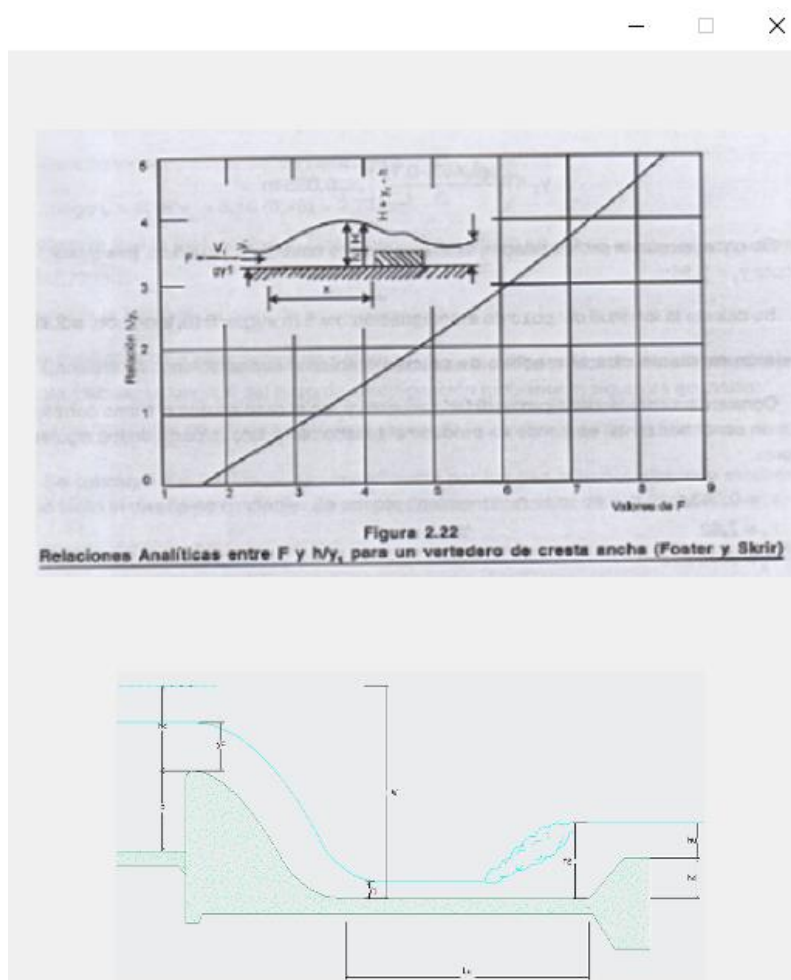
Figura 7.17: Botones “Calcular”, “Limpiar” y “Menú Principal” de la ventana de diseño del cuenco disipador de energía.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

De manera similar, para realizar un nuevo cálculo y colocar nuevos datos en las casillas de entrada de esta ventana, el botón “Limpiar”, permitirá al usuario borrar los datos anteriormente colocados. Mientras que el botón “Menú Principal”, permitirá al usuario acceder al menú principal del programa para iniciar las demás ventanas del programa.

Figura 7.18: Ábaco para la determinación de la altura del dintel de salida del cuenco dissipador de energía en la ventana de trabajo.

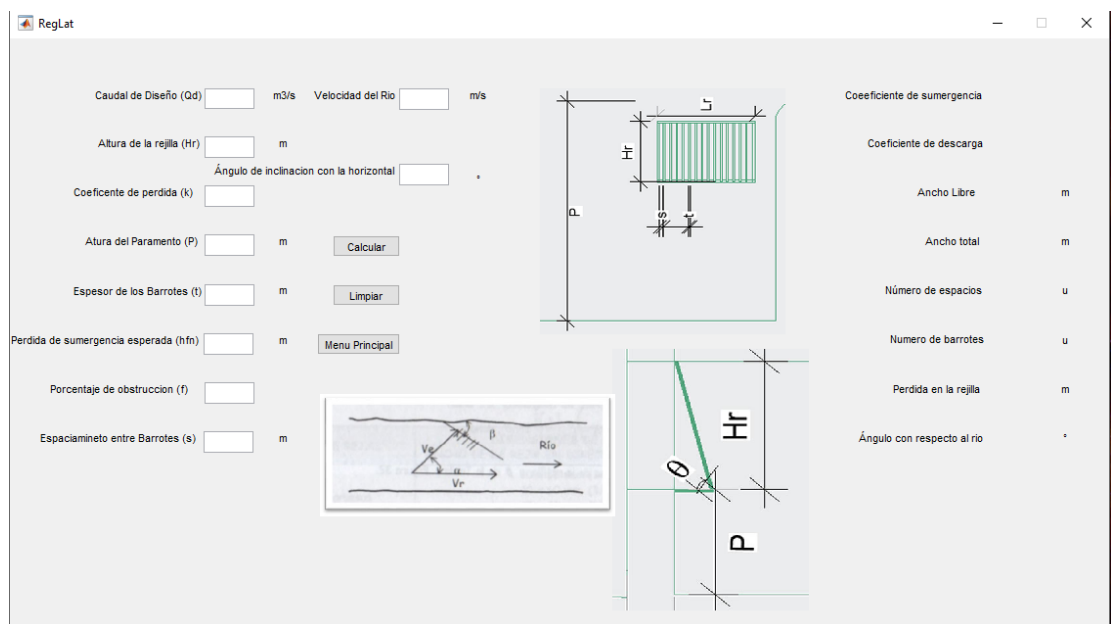


Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.7. Rejilla lateral.

La ventana que se despliega para el diseño de una rejilla lateral se inicia al dar clic al botón “Ejecutar” situado a la derecha del título “Rejilla Lateral” en el menú principal del programa. La figura 7.19 muestra la ventana al iniciarse.

Figura 7.19: Ventana para el diseño de rejillas laterales.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

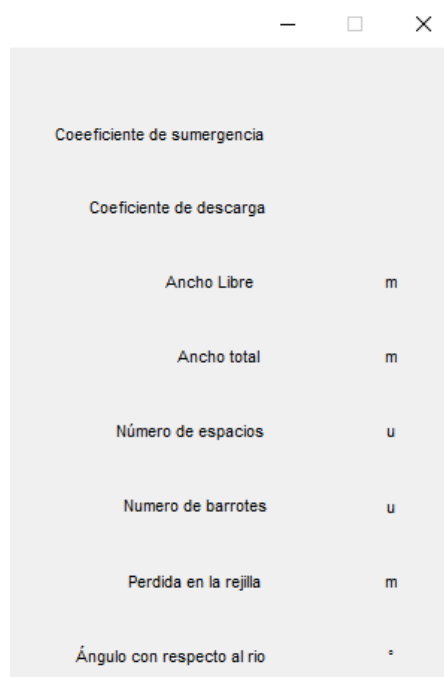
Los valores necesarios para el dimensionamiento de una rejilla lateral se colocarán en las casillas de ingreso de la ventana, estos valores corresponderán a las características físicas que condicionan el diseño; estas características son:

- Caudal de diseño.
- Altura de la rejilla.
- Coeficiente de pérdida.

- Altura del paramento.
- Espesor de los barrotes.
- Espaciamiento entre barrotes.
- Pérdida esperada por sumergencia.
- Porcentaje de obstrucción.
- Ángulo de inclinación de los barrotes con la horizontal.
- Velocidad del río en el punto de cierre.

Para la determinación de los resultados del dimensionamiento se da clic en el botón “Calcular” de la ventana. Los resultados del diseño se presentan en la mitad derecha de la ventana como se muestra en la figura 7.20.

Figura 7.20: Casillas de resultados para rejillas laterales.



Coefficiente de sumergencia	
Coefficiente de descarga	
Ancho Libre	m
Ancho total	m
Número de espacios	u
Numero de barrotes	u
Pérdida en la rejilla	m
Ángulo con respecto al río	°

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para realizar un nuevo cálculo se debe dar clic en botón “Limpiar” este botón permite realizar un nuevo diseño eliminando los valores colocados en las casillas de entrada, así como los resultados obtenidos en la casilla de resultados. Mientras que para regresar al menú inicial se puede dar clic en el botón “Menú Principal”, botones ubicados debajo del botón “Calcular”.

Todos los botones están ubicados debajo de la casilla de ingreso del ángulo de inclinación con la horizontal como se muestra en la figura 7.21.

Figura 7.21: Casillas de resultados para rejillas laterales.

RegLat

Caudal de Diseño (Qd) m³/s Velocidad del Rio m/s

Altura de la rejilla (Hr) m

Ángulo de inclinacion con la horizontal °

Coficiente de perdida (k)

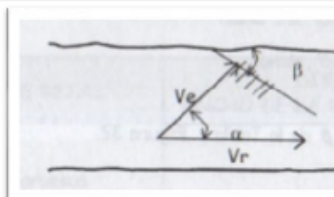
Atura del Paramento (P) m

Espesor de los Barrotes (t) m

Perdida de sumergencia esperada (hfn) m

Porcentaje de obstruccion (f)

Espaciamento entre Barrotes (s) m



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.8. Rejilla de fondo.

Para iniciar la ventana de diseño de rejillas de fondo es necesario dar clic sobre el botón “Ejecutar” situado a la derecha del título “Rejilla de fondo”. Esta acción ejecutara la ventana mostrada en la figura 7.17:

Figura 7.22: Ventana para el diseño de rejillas de fondo.

	Coord X	Caudal Qx	Area Hidraulica	Calado	Perimetro Mojado	Radio Hidraulico	Gradiente Hidraulica	Perdidas Locales	Suma de Perdidas	Carga de Velocidad	Calado Final	Cota de la Galeria
1												
2												
3												
4												

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

La ventana está dividida en dos partes, la parte derecha para el diseño de la rejilla de fondo en sí, mientras que la parte izquierda permite el diseño de la galería de captación, elemento que permite la recolección del caudal captado por la rejilla de fondo.

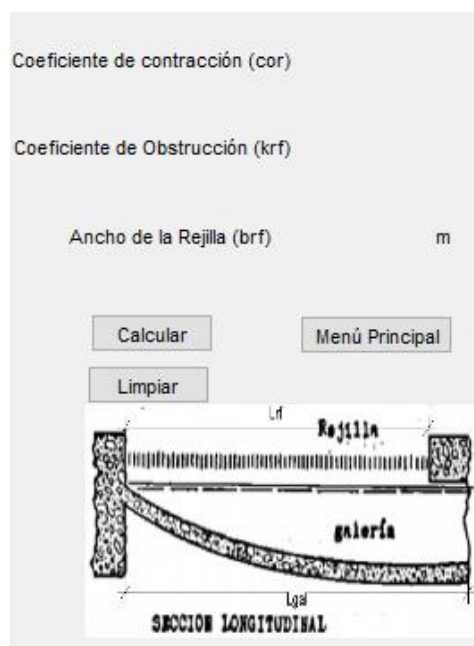
7.1.9. Rejillas de fondo.

Para el diseño de la rejilla de fondo, el programa cuenta con un conjunto de casillas de entrada en las que se debe colocar los valores de las condiciones que permitan el correcto diseño de una rejilla de fondo. Estos valores son:

- Caudal de diseño.
- Longitud de la rejilla.
- Inclinación de la rejilla con la horizontal.
- Separación de los barrotes.
- Espesor de los barrotes.
- Altura de los barrotes.
- Porcentaje de obstrucción.

Una vez colocados los valores dentro de las casillas correspondientes, para realizar los cálculos y obtener los resultados del dimensionamiento, se debe dar clic sobre el botón “Calcular”, mientras que, para realizar un nuevo cálculo de las dimensiones de la rejilla de fondo, dando clic sobre el botón “Limpiar”, lo que elimina los valores de las casillas de entrada, así como el de las casillas de respuestas permitiendo el reinicio del proceso de diseño. Adicionalmente el botón “Menú Principal” permite al usuario volver a la ventana inicial y acceder a las demás ventanas del programa (figura 7.23).

Figura 7.23: Botones “Calcular”, “Limpiar” y “Menú principal” de la ventana de rejilla de fondo,



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.10. Galería de captación.

Una vez determinadas las dimensiones de la rejilla de fondo, se debe iniciar el cálculo de la galería de captación. Para la realización de este cálculo se deberá iniciar por colocar las dimensiones requeridas en las casillas de entrada de la galería de fondo. Estas casillas se muestran en la figura 7.24. Las dimensiones requeridas son:

- Longitud de la Galería.
- Número de divisiones.
- Coeficiente de Manning.

- Cota de la cresta de la rejilla.

Figura 7.24: Casillas de ingreso para la galería de captación.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

A continuación, se seleccionará el tipo de sección con la que se trabajará, en caso de ser una sección trapezoidal o triangular, se habilitarán las casillas de ingreso para la pendiente y dimensión del ancho de la base (Caso de sección trapezoidal), información necesaria para la realización de los cálculos necesarios para la determinación de las coordenadas de la galería de captación. El proceso de cálculo se presenta a continuación y resume la metodología que permite la determinación de estas coordenadas.

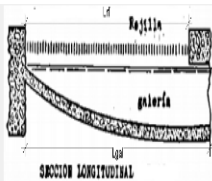
Para realizar los cálculos se debe presionar el botón “Determinar” y para reiniciar el cálculo de la galería, mientras que, para reiniciar el proceso de cálculo el botón “Limpiar Galería” permitirá eliminar los valores de las casillas de entrada, así como los valores de la casilla de salida donde se muestra una tabla resumiendo los cálculos realizados en función de la metodología mencionada anteriormente. Los resultados se muestran en la parte inferior de la ventana de arreglada como una tabla donde se resumen los valores determinados y necesarios para la determinación de la profundidad de la galería de captación (figura 7.25).


Figura 7.25: Casilla de resultados de la galería de captación.

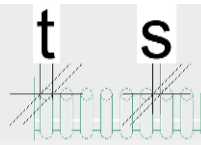
Espesor de los Barrotes (t) m


Altura de los Barrotes (eb) m

Porcentaje de obstrucción (f) %









	Coord X	Caudal Qx	Area Hidraulica	Calado	Perimetro Mojado	Radio Hidraulico	Gradiente Hidraulica	Perdidas Locales	Suma de Perdidas	Carga de Velocidad	Calado Final	Cota de la Galeria
1												
2												
3												
4												

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.11. Diseño de canales de transición y desripiadores.

Para iniciar la ventana debe presionarse el botón “Ejecutar” ubicado a la derecha del texto “Desripiador y Canal de transición” en el Menú principal del programa. Una vez iniciada la ventana que se ejecuta es la mostrada en la figura 7.26.

Figura 7.26: Ventana de diseño de transición y desripiadores.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

En esta ventana se puede realizar el diseño de canales sencillos mediante la ecuación de continuidad, además del diseño de desripiadores, elementos colocados después de una rejilla de captación, lateral o de fondo. Para explicar el proceso de diseño de cada uno de estos elementos procederemos a explicarlos de manera individual iniciando con el desripiador para luego explicar el proceso de diseño de los canales de transición.

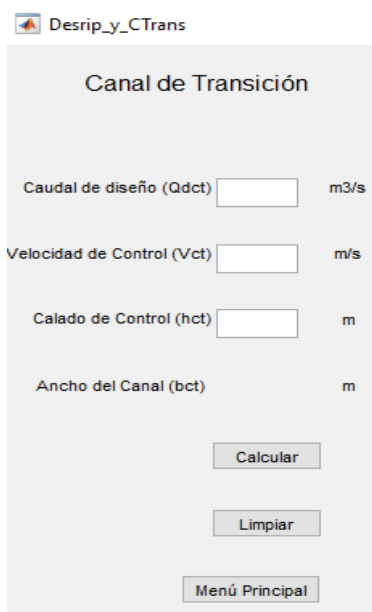
7.1.12. Canal de transición.

Para el diseño de este canal se debe colocar los valores de las siguientes características en las casillas de ingreso correspondientes:

- Caudal de diseño.
- Velocidad de control.
- Calado de control.

El resultado final para este diseño será el ancho del canal, este resultado se presenta en la casilla de correspondiente ubicado debajo de las casillas de ingreso en la parte izquierda de la ventana como se muestra en la figura 7.27.

Figura 7.27: Casillas para el diseño de canales transición.



Desrip_y_CTrans

Canal de Transición

Caudal de diseño (Qdct) m3/s

Velocidad de Control (Vct) m/s

Calado de Control (hct) m

Ancho del Canal (bct) m

Calcular

Limpiar

Menú Principal

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para realizar los cálculos se presiona el botón “Calcular”, mientras que para realizar un nuevo cálculo se debe presionar el botón “Limpiar”, así mismo el botón “Menú Principal” regresará al usuario al menú principal del programa. Estos botones están

ubicados debajo de la casilla de resultados de este diseño como se muestra en la figura 7.27.

7.1.13. Desripiadores.

Este elemento permite la retención de partículas sólidas suspendidas de diámetros grandes que hayan logrado pasar por la rejilla de captación (lateral o de fondo) y deberá anticipar las operaciones de limpieza programadas de este elemento mediante una compuerta, misma que permitirá la evacuación de todos los materiales decantados al fondo de esta cámara.

Las casillas para el diseño de este elemento se muestran en la figura 7.28.

En la ventana de trabajo se debe iniciar con la colocación de los valores de entrada necesarios para el dimensionamiento del desripiador. Estos valores corresponden a las siguientes características:

- Caudal de diseño.
- Coeficiente de descarga.
- Coeficiente de sumergencia.
- Ancho del canal.
- Carga del vertedero.

Estos valores deben ser colocados en las casillas correspondientes, además se deberá colocar los valores característicos de la compuerta de limpieza del desripiador estos valores permiten la determinación de la profundidad mínima del desripiador. Estas características son:

- Apertura de la compuerta.
- Ancho de la compuerta.
- Coeficiente de descarga de la compuerta.

El coeficiente de descarga debe ser determinado de manera gráfica mediante el ábaco ubicado en la parte superior derecha de la ventana. Este ábaco permite determinar de forma sencilla y rápida el valor del coeficiente de descarga.

Para la realización de los cálculos de permiten el dimensionamiento de un desripiador se presiona el botón “Calcular”, mismo que está ubicado debajo de las casillas de ingreso de valores para el desripiador, debajo del mismo se ubica el botón “Limpiar”, este permite reiniciar los cálculos eliminando los valores de las casillas de entrada y salida de la ventana en la parte de diseño del desripiador.

Figura 7.28: Casillas de ingreso y resultados para diseño de desripiadores.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.14. Desarenador.

En esta ventana el usuario podrá dimensionar las cámaras de un desarenador de gravedad. Para inicializar la ventana se oprimirá el botón “Ejecutar” ubicado a la derecha del nombre de la ventana (en esta caso “Desarenador”), una vez realizada esta acción aparecerá la ventana de la figura 7.29 en la que se desarrolla el cálculo para el dimensionamiento de este elemento.

Figura 7.29: Casillas de ingreso y resultados para diseño de desarenadores.

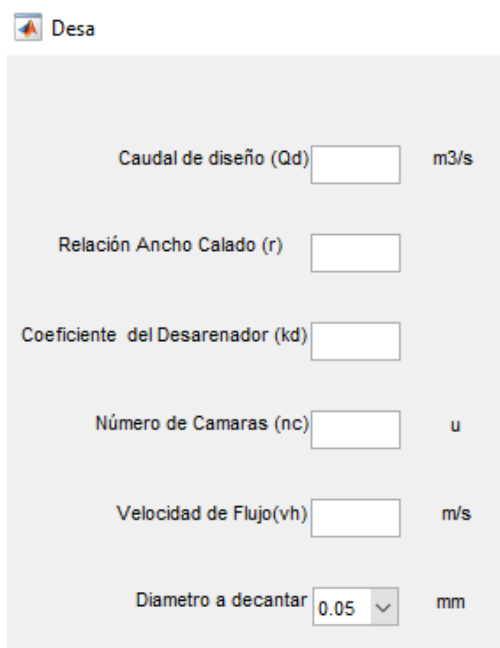
The screenshot shows a software window titled 'Desa'. On the left, there are several input fields with units: 'Caudal de diseño (Qd)' in m³/s, 'Relación Ancho Calado (r)', 'Coeficiente del Desarenador (kd)', 'Número de Camaras (nc)' in 'u', 'Velocidad de Flujo (vh)' in m/s, and 'Diámetro a decantar' in mm (set to 0.05). On the right, there are three buttons: 'Calcular', 'Limpiar', and 'Menú Principal'. Below the input fields, there are two diagrams. The top diagram is a cross-section of a trapezoidal chamber with a width labeled 'bc' and a height labeled 'hc'. The bottom diagram is a side view of the chamber showing a parabolic flow profile with a velocity vector 'v' and a length 'L'.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

En el sector izquierdo se encuentran las casillas para ingreso de los valores necesarios para el diseño y corresponden a las siguientes características:

- Caudal de diseño.
- Relación ancho vs calado.
- Número de cámaras.
- Velocidad de flujo.
- Coeficiente del desarenador.
- Diámetro de la partícula a decantar.

Figura 7.30: Casillas de ingreso para diseño de desarenadores.



Desa

Caudal de diseño (Qd) m³/s

Relación Ancho Calado (r)

Coeficiente del Desarenador (kd)

Número de Camaras (nc) u

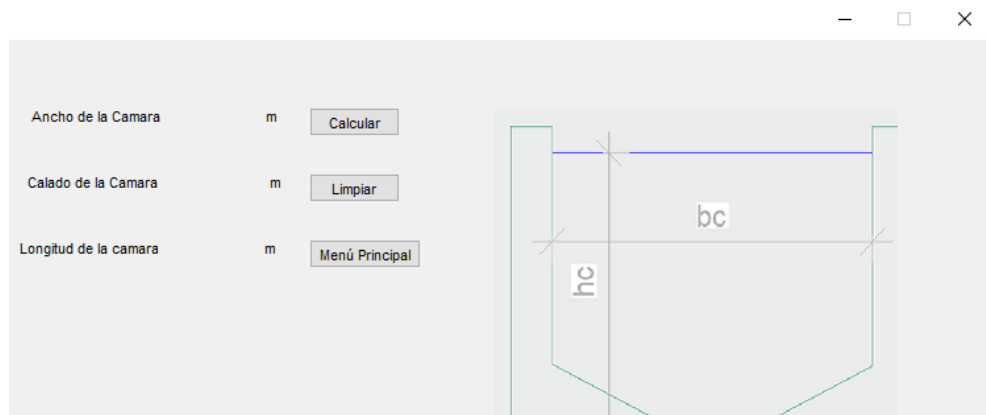
Velocidad de Flujo(vh) m/s

Diametro a decantar mm

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Una vez colocados estos valores en las casillas correspondientes, el botón “Ejecutar” realizará los cálculos necesarios para definir los resultados del diseño, Longitud del desarenador y calado, además, el ancho de cada cámara.

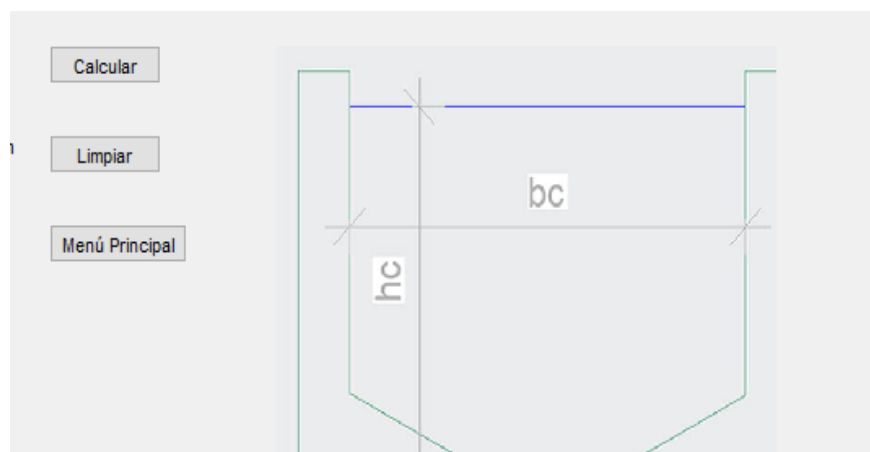
Figura 7.31: Casillas de resultados para diseño de desarenadores.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para realizar un nuevo cálculo el dar clic sobre el botón “Limpiar” permite realizar un nuevo ingreso de valores de entrada. Mientras en el botón “Menú Principal” permitirá al usuario acusar al menú inicial del programa.

Figura 7.32: Botones de acción de la ventana de diseño de desarenadores

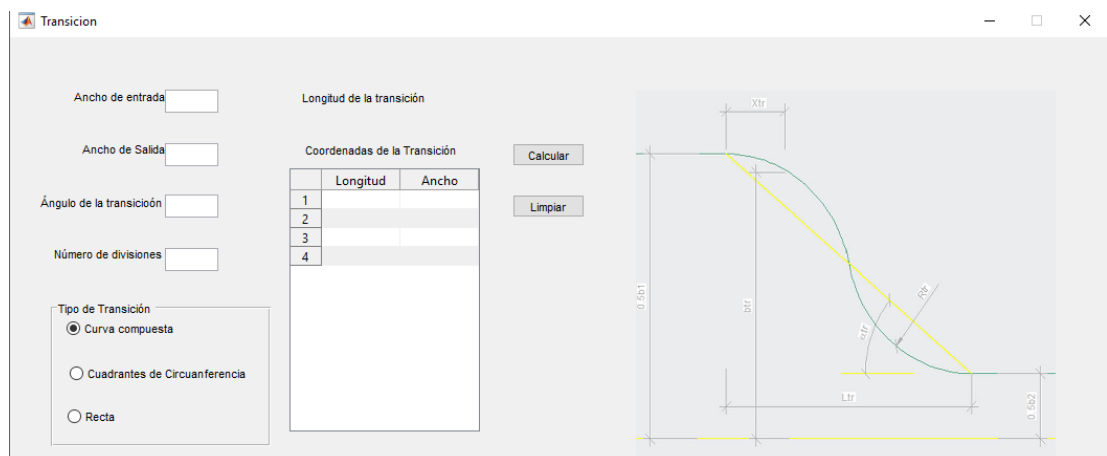


Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.15. Transiciones.

La ventana de diseño de transiciones permite diseñar la sección transversal necesaria para realizar un cambio de secciones entre dos puntos de un canal, para propósitos de la presente, esta permite el cambio de sección entre el canal de transición y el desarenador, además, cualquier otro cambio de sección que el usuario crea conveniente de realizar para un proyecto específico.

Figura 7.33: Ventana de diseño de transiciones.

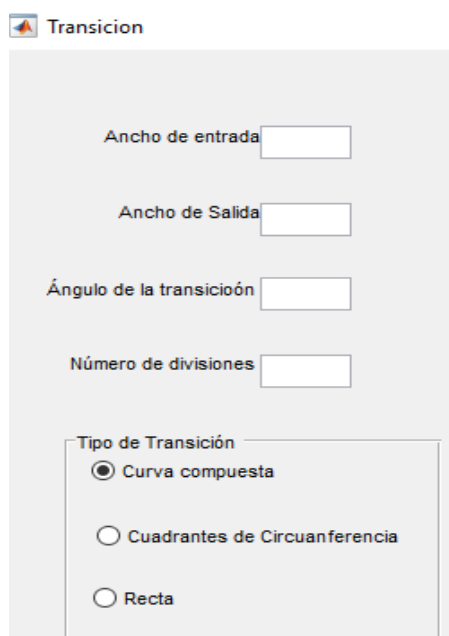


Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para la determinación de las dimensiones de este elemento se debe colocar los valores de entrada en las casillas correspondientes, estas están ubicadas en la parte izquierda de la ventana de trabajo (figura 7.34). Los valores iniciales que se deben colocar en estas casillas corresponden a las siguientes características de una transición:

- Ancho de entrada.
- Ancho de salida.
- Ángulo de la transición.
- Número de divisiones.
- Tipo de transición.

Figura 7.34: Casillas de entrada para el diseño de transiciones.



Transicion

Ancho de entrada

Ancho de Salida

Ángulo de la transición

Número de divisiones

Tipo de Transición

Curva compuesta

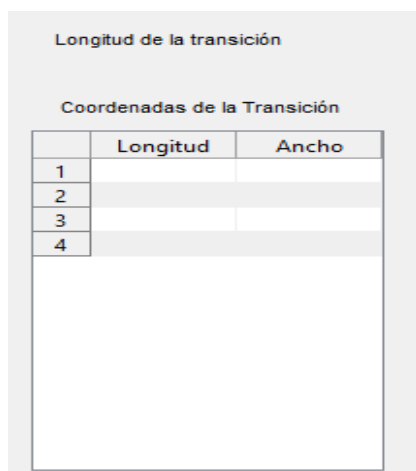
Cuadrantes de Circunferencia

Recta

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Los resultados se presentarán al usuario en las casillas correspondientes de longitud de la transición y un cuadro que contiene las variaciones de ancho entre la sección de entrada y de salida hasta alcanzar el valor del ancho de salida (figura 7.35).

Figura 7.35: Casillas de salida para el diseño de transiciones.



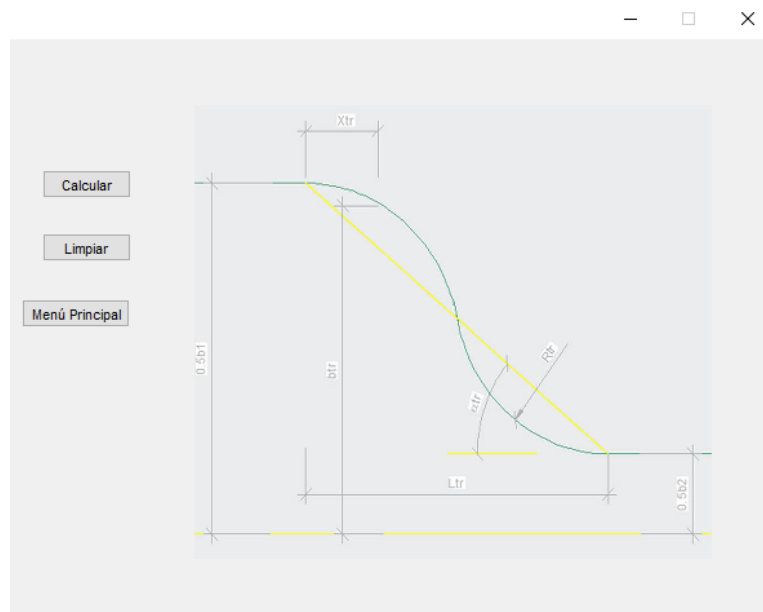
The image shows a MATLAB window titled "Longitud de la transición". Below the title is a section labeled "Coordenadas de la Transición" containing a table with two columns: "Longitud" and "Ancho". The table has four rows, with the first four rows containing the numbers 1, 2, 3, and 4 in the first column. The rest of the table is empty.

	Longitud	Ancho
1		
2		
3		
4		

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para la realización de los cálculos se debe dar clic sobre el botón “Ejecutar”, mientras que, para realizar un nuevo diseño el botón “Limpiar” realiza la limpieza de los valores de ingreso y salida de la ventana; además el botón “Menú Principal” regresa al usuario a la ventana inicial del programa (figura 7.36).

Figura 7.36: Botones de la ventana de diseño de transiciones.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

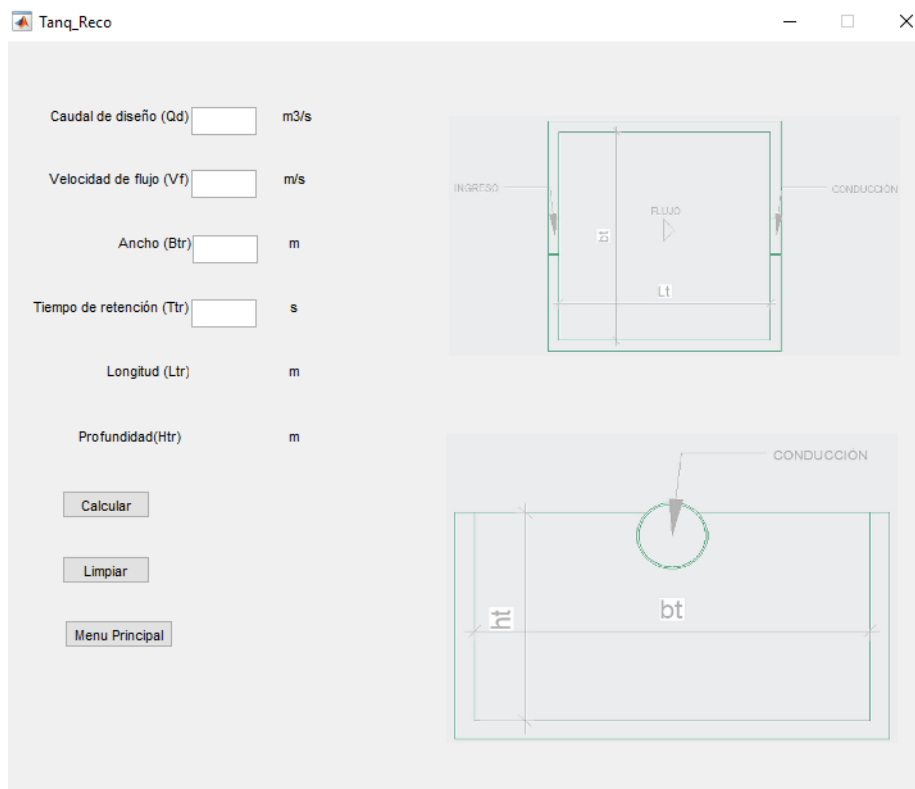
El tipo de transición se deberá seleccionar de 3 posibilidades, transiciones rectas, mediante cuadrantes de circunferencia y mediante curvas compuestas. Cada una de estas opciones ha sido desarrollada mediante las recomendaciones de la bibliografía especializada. Misma que se presenta a continuación:

7.1.16. Tanque recolector.

Es diseño de tanques en general está compuesto de un gran número de variables que hacen que el diseño de este elemento esté condicionado siempre a un listado de características a cumplir para un objeto específico. Para propósitos de desarrollo el diseño de este elemento está enfocado en tanques de control que recolecten el caudal

a ser aprovechado antes de ser dirigido mediante una conducción para un proyecto específico.

Figura 7.37: Ventana de dimensionamiento de tanques recolectores.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

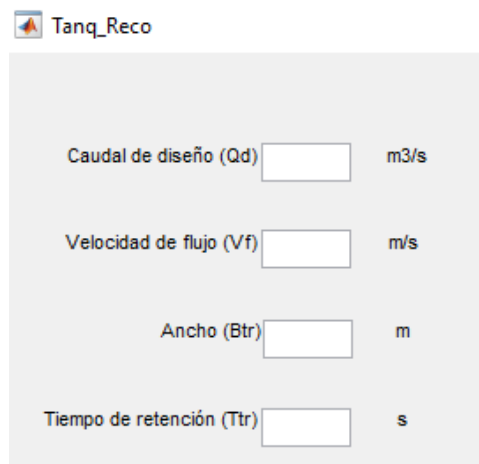
Para el desarrollo del diseño de tanque mediante la ventana correspondiente del programa es necesario iniciar la misma, esta ventana, es ejecuta al dar clic sobre el botón “Ejecutar” situado a la derecha del tema “Tanque Recolector”, lo que ejecuta la ventana de la figura 7.37.

En esta ventana las casillas de ingreso están ubicadas en la parte superior izquierda de la misma (figura .7.38) y permiten colocar los valores requeridos y necesarios para

el dimensionamiento de un tanque recolector, estas corresponden a las siguientes características:

- Caudal de diseño.
- Velocidad de flujo.
- Ancho.
- Tiempo de retención.

Figura 7.38: Casillas de ingreso de datos para el diseño de tanques recolectores.



The image shows a MATLAB GUI window titled "Tanq_Reco". It contains four input fields, each with a label and a unit:

- Caudal de diseño (Qd) m³/s
- Velocidad de flujo (Vf) m/s
- Ancho (Btr) m
- Tiempo de retención (Ttr) s

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Mientras que los valores correspondientes a las características calculadas están ubicados debajo de las casillas de ingreso (figura 7.39), entregando los valores que corresponden a las siguientes características:

- Longitud del tanque.
- Profundidad.

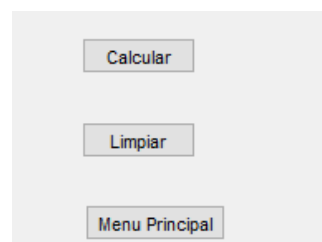
Figura 7.39: Casillas de resultados del diseño de tanques recolectores.

Longitud (Ltr)	m
Profundidad(Htr)	m

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para ejecutar los cálculos necesarios para la determinación de las demisiones características de un tanque recolector se debe presionar el botón “Calcular”, mismo que entregará los resultados del cálculo en las casillas de salida, mientras que, para realizar un nuevo cálculo se debe presionar el botón “Limpiar”, además, el botón “Menú Principal” permitirá ejecutar la ventana principal del programa.

Figura 7.40: Botones de acción de la ventana de diseño de tanques recolectores.

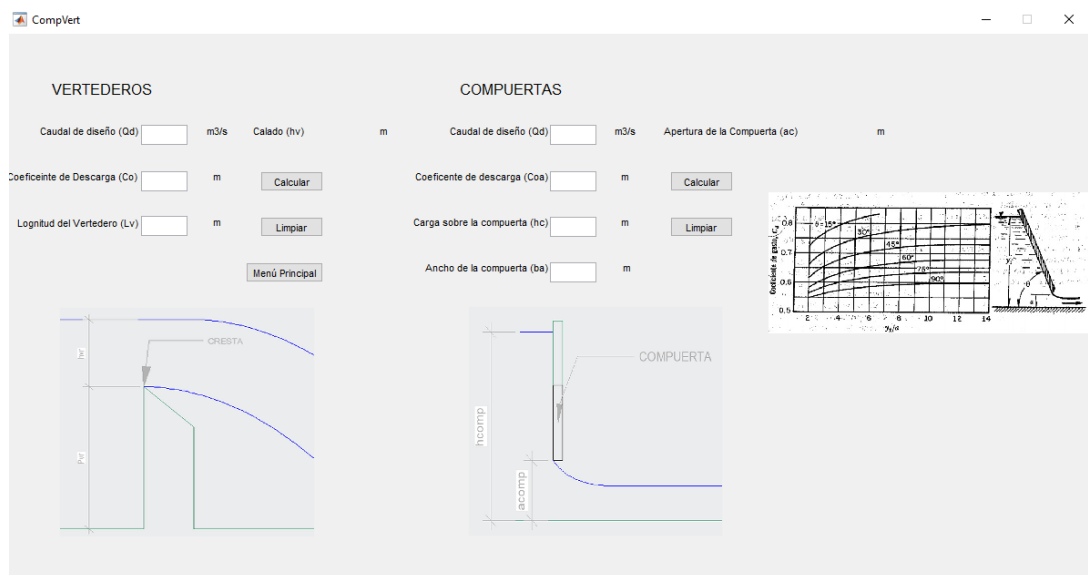


Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.17. Vertederos y compuertas.

Esta ventana se ejecuta al presionar el botón “Ejecutar” ubicado a la derecha del título “Vertederos y Compuertas”, la ventana iniciada se muestra en la figura 7.41. Esta ventana está dividida en dos secciones orientadas cada una al cálculo de uno de estas tipologías de estructuras hidráulicas. En la parte derecha se desarrollan los cálculos para el diseño de vertederos, mientras que en la parte izquierda de la ventana se desarrollan los cálculos para compuertas.

Figura 7.41: Botones de acción de la ventana de diseño de tanques recolectores.



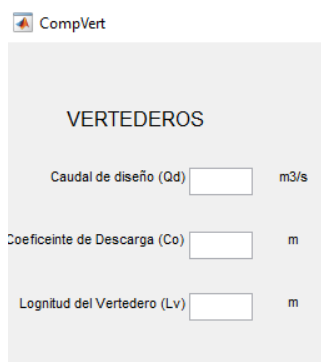
Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.18. Vertederos.

Esta sección de la ventana permite al usuario determinar de manera rápida el valor del calado que pasará sobre el vertedor bajo las condiciones de entrada (figura 7.42), estas condiciones se colocarán por el usuario en las casillas correspondientes a las características nombradas a continuación:

- Caudal de diseño.
- Coeficiente de descarga.
- Longitud del vertedero.

Figura 7.42: Casillas de entrada para el cálculo de vertederos.



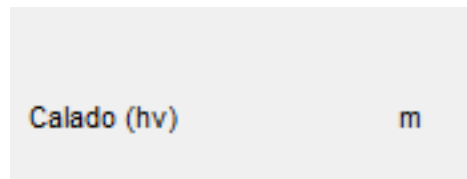
The image shows a screenshot of a software window titled 'CompVert'. The window contains a section titled 'VERTEDEROS' with three input fields. The first field is labeled 'Caudal de diseño (Qd)' with a unit of 'm3/s'. The second field is labeled 'Coeficiente de Descarga (Co)' with a unit of 'm'. The third field is labeled 'Longitud del Vertedero (Lv)' with a unit of 'm'. Each field is represented by a small rectangular box.

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Al existir varias metodologías para la determinación del coeficiente de descarga para un vertedero, se ha preferido que el usuario ingrese este valor con el objeto de permitir al usuario seleccionar el criterio que más se ajuste a las condiciones específicas de un proyecto específico.

Mientras que el calado, se mostrará en la casilla de resultados ubicado a la derecha de las casillas de entrada (figura 7.43).

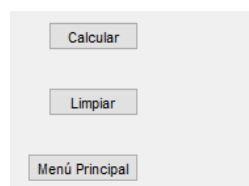
Figura 7.43: Casilla de salida del cálculo de vertederos.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Para la ejecución de los cálculos de dimensionamiento de este tipo de elementos se debe presionar el botón “Calcular”, de la misma manera para restablecer los valores de ingreso, así como el de salida, el botón “Limpiar” permite al usuario eliminar los valores colocados anteriormente; mientras que, el botón “Menú Principal” permite al usuario regresar al menú inicial del programa (figura 7.44).

Figura 7.44: Botones de acción de la ventana de diseño de vertederos.



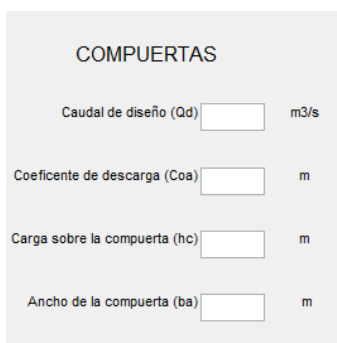
Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.1.19. Compuertas.

Esta sección permite al usuario determinar el valor de la apertura de una compuerta bajo ciertas condiciones, estas son:

- Caudal de diseño.
- Carga sobre la compuerta.
- Ancho de la compuerta.
- Coeficiente de descarga de la compuerta.

Figura 7.45: Casillas de ingreso para el cálculo de compuertas.



COMPUERTAS

Caudal de diseño (Qd) m³/s

Coeficiente de descarga (Coa) m

Carga sobre la compuerta (hc) m

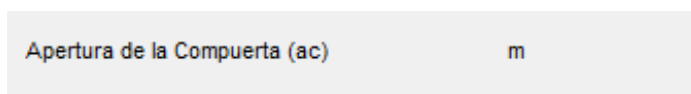
Ancho de la compuerta (ba) m

Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

De manera similar que el diseño de vertederos el coeficiente de descarga para compuertas es un factor en el que inciden varias variables, motivo por el cual para propósitos de la presente la determinación de este coeficiente se realizará por el usuario de manera gráfica mediante el ábaco mostrado en la ventana, como muestra la figura 7.47.

El resultado final de este cálculo será el valor de la apertura de la compuerta, este se muestra en la casilla correspondiente que está ubicada a la derecha de las casillas de ingreso de diseño de compuertas como se muestra en la figura 7.46.

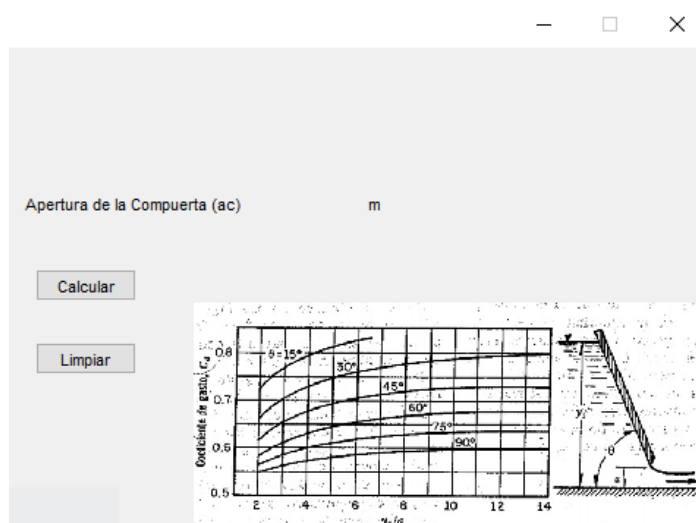
Figura 7.46: Botones de acción de la ventana de diseño de tanques recolectores.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

Los cálculos para la determinación de la apertura de la compuerta se realizarán al presionar el botón “Ejecutar” ubicado debajo de la casilla de resultados (Apertura de la compuerta). Para realizar un nuevo cálculo el botón “Limpiar” permite al usuario eliminar los valores de las casillas de entrada y resultados de la compuerta; este botón se encuentra ubicado debajo del botón “Ejecutar”.

Figura 7.47: Botones de acción para compuertas.



Fuente: Mathworks, 2017 Matlab (versión: 2017a).

7.2. Preguntas frecuentes.

7.2.1. ¿Cómo ingreso al programa?

El programa se ejecuta desde la plataforma de Matlab, haciendo clic en el botón “Correr” del menú principal de Matlab.

También se puede iniciar el programa escribiendo la sentencia “Menu_ini” en la ventana de comandos de Matlab.

7.2.2. ¿Cómo inicio una ventana de diseño?

Cada ventana se inicia dando clic en el botón “Ejecutar” en la ventana del menú principal del programa.

7.2.3. ¿Cuáles son las unidades de trabajo del programa?

Las unidades de trabajo con las que el programa ha sido desarrollado, están referidas al sistema internacional de unidades.

7.2.4. ¿Cómo regreso al menú inicial?

Cada ventana posee un botón que permite abrir nuevamente el menú inicial del programa.

7.2.5. ¿Cuál es el perfil de usuario final del programa?

El usuario final del programa debe haber desarrollado criterios básicos sobre el diseño y la ejecución de una obra de captación en fuentes superficiales, además de conocimientos básicos del uso de Matlab. Estos conocimientos permitirán al usuario establecer los criterios básicos sobre los cuales el diseño de una obra de captación específica funcionará.

7.2.6. ¿Cómo recupero la información de una corrida?

La información de entrada, así como los resultados obtenidos por el programa se mantienen grabadas en el programa hasta que se ejecute otra corrida del programa.

8. Conclusiones y recomendaciones.

8.1. Conclusiones.

- Los procesos matemáticos, aplicados en la presente, que permiten el dimensionamiento de los elementos que componen una captación superficial, convencional o con rejilla de fondo, son estándares y sus algoritmos pueden ser implementados en un lenguaje de programación.
- El uso del lenguaje de programación “M”, pone a disposición sentencias para la implementación de procesos matemáticos complejos, así como sentencias lógicas, que permiten la aplicación de los modelos matemáticos y sus respectivos algoritmos de manera fácil y ordenada.
- Los procesos matemáticos desarrollados en el capítulo III utilizando hojas electrónicas y el capítulo VI aplicando el programa son los mismos.
- Los resultados finales de los cálculos realizados, tanto con hojas electrónicas, como mediante el uso del programa presentan diferencias no preponderantes en los valores numéricos. Estas diferencias se presentan a partir el tercer decimal.
- El programa únicamente desarrolla los procesos matemáticos que permiten la definición de las dimensiones finales de un proyecto, para su correcto funcionamiento hidráulico.
- El uso del programa ofrece un conjunto de ventajas, en comparación con la construcción de una hoja de cálculo, además de identificarse un conjunto de posibles debilidades o desventajas al aplicar el programa a los ejemplos de diseño, mismas que se han enumerado al final del capítulo VI.

8.2. Recomendaciones.

- Se garantiza que el programa funciona adecuadamente en Matlab 2017 a o versiones superiores.
- Previo al uso del programa o cualquiera de las ventanas del mismo, se recomienda leer completamente el manual de usuario.
- Previo a la aplicación del programa se recomienda disponer de la información básica del proyecto actualizada. Estudios topográficos, hidrológicos y demás información del proyecto a ser dimensionado.
- Se recomienda el uso de la herramienta Matlab para implementar nuevas aplicaciones que resuelvan problemas de ingeniería, cuya resolución tenga un algoritmo de proceso y formulas definidas y estándar.
- Si bien la metodología de cálculo de cada uno de los elementos para una captación no es la única existente y considerando también, el desarrollo de nuevas maneras para derivar el caudal de un cauce. Se recomienda evaluar para posibilidad de llevar estas metodologías al lenguaje de programación de Matlab, para aprovechar las sentencias de programación disponibles que resuelven procesos matemáticos complejos.
- Se recomienda que las dimensiones finales del proyecto sean analizadas en función de las condiciones específicas del mismo, ajustando los valores obtenidos a las condiciones del proyecto.
- Para el uso del programa el usuario debe conocer de manera general los aspectos que permiten el dimensionamiento de los elementos de una obra de captación, mismos que le permitan al usuario interpretar los resultados de que el programa arroja.

9. Bibliografía.

- Baez, D. (2010). *Matlab con aplicaciones a la ingeniería física y finanzas*. Boca Ratón: Taylor and Francis Group.
- Bentley. (27 de 09 de 2016). *Hydraulic Calculator Software*. Recuperado el 2018, de <https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/flowmaster>
- Burbano, G. (1990). *Criterios Básicos para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantariallado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Bureau of Reclamation. (1987). *Desing of Small Dams*. Washinton D. C.: United States Department of Interior.
- Chow, T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Corcho, F. (2005). *Acueductos Teoría y Diseño*. Medellín: universidad de Medellín.
- "Empresa Electrica Quito" S. A. (23 de 02 de 2018). *Proyecto hidroelectrico victoria*. Recuperado el 2018, de <http://www.eeq.com.ec:8080/proyectos/proyecto-hidroelectrico-victoria>
- Federal Highway Administration. (25 de 06 de 2017). *Administración Federal de Autopistas*. Recuperado el 2018, de https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_arc.cfm?pub_number=22&id=140
- Ferret, J. (27 de 09 de 2016). *Software de hidraulica*. Recuperado el 2018, de <http://www.hidrojing.com/software-de-hidraulica/>
- García, J. (2000). *Diseño Hidráulico de Estructuras*. Cali: Universidad del Valle.

- Giles, R. (2003). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Héron, M. (2005). *Matlab para ciencias e ingeniería con metodos numéricos y visualización gráfica*. Lima: Megabyte.
- Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- MathWorks. (29 de 09 de 2016). *MATLAB and Simulink Student Suite*. Recuperado el 2018, de https://es.mathworks.com/academia/student_version.html
- Ortiz, R. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá: Mcgraw-Hill.
- Pacheco, E. (2015). *Elementos para el Diseño de una Captacion Convencional*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Prieto, A. (1995). *Introduccion a la Informatica*. Mexico D. F.: McGraw-Hill.
- ProSoft. (25 de 09 de 2016). Obtenido de <http://www.prosoftapps.com/flowpro.htm>
- Sotelo Avila, G. (1997). *Hidráulica General Volumen 1*. Mexijo D. F.: Limusa.