FACULTAD DE INGENIERÍA

Determinación de los caudales máximos ocurridos durante el Fenómeno de El Niño 2017 en el río Piura - presa Los Ejidos

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Diana del Rosario Terrones Carrillo

Asesor:
Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar

Piura, diciembre de 2019

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Resumen Analítico – Informativo

Determinación de los caudales máximos ocurridos durante el Fenómeno de El Niño 2017 en el río Piura - presa Los Ejidos.

Diana del Rosario Terrones Carrillo.
Asesor: Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar.

Tesis.
Ingeniero Civil.
Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
Fecha de sustentación: 17 de diciembre de 2019.

Palabras clave: Fenómeno de El Niño, presa Los Ejidos, caudales máximos.

Introducción: La presente investigación abarca principalmente la recolección de datos registrados por el Proyecto Especial Chira Piura en la presa durante el período comprendido de enero a mayo de 2017, planos, datos exactos de niveles de agua y manuales de funcionamiento, consultando estudios realizados por el Consorcio Class – Salzgitter, en especial, la evaluación hidráulica en la presa Los Ejidos luego del Fenómeno El Niño de 1982. De los resultados, se verifica que la estructura trabaja bajo régimen sumergido y no sumergido, además que el mayor aporte del caudal proviene del vertedero libre, seguido del aliviadero de compuertas y canal de limpia. Por otro lado, el caudal máximo obtenido a partir de los niveles registrados durante el Fenómeno El Niño 2017 solamente difiere en un 16% del valor máximo registrado a la fecha.

Metodología: Calcular con precisión los caudales presentados en el río Piura en base a estudios hidráulicos realizados en la presa Los Ejidos durante y posterior a las máximas avenidas de fenómenos anteriores (1982-83, 1997-98) los cuales pueden ser aplicados para determinar las máximas avenidas del Fenómeno de El Niño de marzo 2017.

Resultados: El caudal obtenido aplicando las ecuaciones del diseño de la presa, la metodología del estudio de Class – Salzgitter que corresponde al mismo y además, con los datos de los niveles de agua registrados durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño 2017, asciende a 3585 m^3/s y solamente difiere en un 3% adicional del valor registrado la fecha de la avenida máxima (3468 m^3/s). Este caudal, se determinó considerando que el flujo no ocupa todo el ancho del cauce, es decir, que el ancho efectivo difiere del ancho real.

Conclusiones: Para condiciones de máximas avenidas, la estructura que representa el mayor aporte de caudal del total de la presa Los Ejidos, es el vertedero libre con un 48%, seguida del aliviadero de compuertas con un 43% y finalmente el canal de limpia con el 9% restante. Cabe resaltar que las dos últimas estructuras pueden ser controladas en mayor medida debido a que el flujo que viaja a través de ellas se regula con la operación de sus compuertas, mientras que, para el vertedero, sería necesario incrementar su longitud en caso se presenten caudales mayores que afectarían el funcionamiento normal de la presa tal y como la conocemos en la actualidad.

Fecha de elaboración del resumen: 12 de diciembre de 2019.

Analytical – Informative Summary

Determination of the maximum flows that occurred during the El Niño Phenomenon 2017 on the Piura river - Los Ejidos dam.

Diana del Rosario Terrones Carrillo.
Thesis advisor: Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar.

Tesis.
Civil engineer.
Universidad de Piura. Faculty of Engineering.
Thesis defense date: December 17th, 2019.

Keywords: El Niño phenomenon, Los Ejidos dam, maximum avenues.

Introduction: This research mainly covers the collection of data collected by the Chira Piura Special Project at the dam during the period from January to May 2017, construction plans, exact data of water levels and operating manuals, consulting studies made by the Class-Salzgitter Consortium, in particular, the hydraulic evaluation at Los Ejidos dam after the El Niño phenomenon of 1982. From the results, it is verified that the structure works under a submerged and non-submerged regime, in addition to the fact that the greatest contribution of the flow comes from the free landfill, followed by the spillway of floodgates and clean channel. On the other hand, the maximum flow obtained from the levels recorded during the 2017 El Niño Phenomenon only differs by 16% from the maximum value recorded to date.

Methodology: Accurately calculate the flows displayed in the Piura river based on hydraulic studies carried out at the Los Ejidos dam during and after the maximum avenues of previous phenomena (1982-83, 1997-98) which can be applied to determine the maximum avenues of the El Niño Phenomenon of March 2017.

Results: The flow obtained by applying the equations of dam design, the corresponding methodology of the Class - Salzgitter study and also, the data of water levels collected during the occurrence of the 2017 El Niño phenomenon, is 3585 m^3/s and only differs from the published maximum value (3468 m^3/s) by an additional 3%. This flow was calculated considering that the flow does not occupy the entire width of the channel, that is, that the effective width differs from the actual width

Conclusions: For maximum avenues' conditions, the structure that represents the largest contribution of the total flow of Los Ejidos dam is the free landfill with 48%, followed by the spillway with 43% and finally the clean channel with the 9 % remaining It should be noted that the last two structures can be controlled to a greater extent because the flow that travels through them is regulated with the operation of their gates, while, for the landfill, it would be necessary to increase their length in case flows occur older that would affect the normal functioning of the dam as we know it today.

Summary date: December 12th , 2019.

Prólogo

Durante los primeros meses del año 2017, se presentó a lo largo de la costa norte de nuestro país el Fenómeno El Niño, el cual es recurrente en esta región y debido a su intensidad, expone de manera muy crítica las deficiencias y el poco mantenimiento que presentan las estructuras diseñadas y construidas con el principal fin de regular sus efectos en los alrededores de dichas ciudades y por ende en la población.

Para evitar estas situaciones, es necesario conocer los caudales de las máximas avenidas, de manera que se puedan diseñar eficazmente las estructuras presentes en el cauce del río Piura, como puentes, diques, etc. del mismo modo, se puede lograr redactar un plan para la descolmatación o mantenimiento del cauce, pero la razón más importante para recalcular dichos caudales es que existen evidencias de problemas al momento de determinarlos. Esto sucede debido a las características hidráulicas y sedimentológicas del río Piura.

Resultados previos de los caudales ocurridos durante el Fenómeno El Niño de 1998, a partir de un análisis más profundo, basado principalmente en el estudio hidráulico y que consideró primordial tomar en cuenta los diversos factores naturales que envuelven al funcionamiento de la presa en mención, realizado por el Consorcio Class-Salzgitter, llegó a determinar valores más cercanos a la realidad y que lograban describir la magnitud de daños ocasionados. Es por ello que se ha visto conveniente realizar este estudio para determinar los caudales máximos del río Piura durante las máximas avenidas del Fenómeno El Niño 2017, con la finalidad de no solamente obtener con más claridad y precisión estos valores, los cuales pudieron haber sido afectados por los errores ya mencionados en las mediciones o en la calibración de los equipos, sino también podrá servir para completar la base de datos de los caudales máximos calculados en años anteriores y que sirvieron para elaborar un estudio completo para la rehabilitación o mantenimiento de las defensas contra las inundaciones en el Bajo Piura.

Por todo lo expuesto anteriormente, anhelo que la materia de estudio de la presente tesis sea aplicada para establecer los posibles riesgos que presenta el cauce del río Piura y en específico la presa Los Ejidos, de manera que en el futuro se subsanen y se logre un óptimo funcionamiento ante la presencia de avenidas.

Por último, quiero agradecer a mi asesor, el Dr. Jorge Reyes Salazar, por todos los consejos, sugerencias y orientaciones. Del mismo modo, al equipo encargado de la dirección del Proyecto Especial Chira Piura, por brindarme todas las facilidades para la obtención de información relacionada con los datos del Fenómeno El Niño 2017.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Tabla de contenido

Introducción **1**
Capítulo 1 ..... **3**
Antecedentes **3**
1. La región Piura 3
1.1. El río Piura 5
1.1.1. *Cuenca del río Chira* 5
1.1.2. *Cuenca del río Piura* 7
1.2. La ciudad de Piura 8
2. Fenómeno de El Niño 9
2.1. Fenómeno El Niño 10
2.2. Ocurrencia del Fenómeno El Niño en Piura 15
2.2.1. *Comportamiento 1982-1983* 15
2.2.2. *Comportamiento 1997-1998* 16
2.3. El Niño 2017 20
2.3.1. *Estado previo al fenómeno* 20
2.3.2. *Comportamiento 2017* 21
2.3.3. *Problemática del Fenómeno El Niño 2017* 24
Capítulo 2 ..... **29**
Presas: Marco teórico **29**
1. Definición 29
2. Tipos de presas 30
2.1. Presas de hormigón 30
2.1.1. *Presas de gravedad* 30
2.1.2. *Presas arco* 31
2.1.3. *Presas aligeradas o de contrafuerte* 33
2.2. Presas de materiales sueltos 33
2.2.1. *Presas homogéneas* 34
2.2.2. *Presas en núcleo* 35
2.2.3. *Presas de pantalla* 35
3. Elementos de una presa 36
3.1. Vertedero libre 36

3.1.1. *Tipos* 37
3.2. Aliviadero de compuertas 39
3.2.1. *Componentes* 39
3.2.2. *Clasificación*. 40
3.2.3. *Compuertas*. 41
Capítulo 3 ..... **49**
Ecuaciones: Marco teórico **49**
1. Principios básicos 49
1.1. Ecuación de continuidad. 49
1.2. Ecuación de energía 50
1.2.1. *Energía potencial* 51
1.2.2. *Presión* 51
1.2.3. *Energía cinética* 51
1.3. Tipos de flujo 53
1.4. Salto hidráulico 54
1.4.1. *Longitud del salto hidráulico* 57
1.4.2. *Posición del salto hidráulico* 59
2. Coeficientes de gasto 60
2.1. Ecuación general del gasto 60
2.1.1. *Vertederos* 60
2.1.2. *Compuertas* 63
Capítulo 4 ..... **71**
Presa Los Ejidos **71**
1. Descripción 71
2. Estructuras 73
2.1. Bocatoma del canal principal 74
2.2. Canal de limpia 75
2.3. Aliviadero 77
3. Niveles de aguas arriba y aguas abajo 81
4. Operación de compuertas 81
4.1. Mando automático 84
4.2. Mando con control remoto 84
4.3. Mando con control local 85

5. Datos de avenidas máximas 2017 85
6. Estado sedimentológico 85
7. Influencia de la presa Los Ejidos en el escurrimiento 88
Capítulo 5 89
Cálculo de caudales 89
1. Verificación de sumergencia 89
1.1. Vertedero libre 89
1.2. Aliviadero de compuertas y canal de limpia 91
2. Cálculo de caudales 93
2.1. Vertedero libre 93
2.2. Canal de limpia 94
2.3. Aliviadero de compuertas 95
2.4. Resumen de los cálculos 96
3. Resultados 96
3.1. Propuestas de mejora del funcionamiento 98
Conclusiones 101
Referencias bibliográficas 103
Anexos 109
Anexo A: Cuenca del río Chira y el río Piura **111**
Anexo B: Datos de las avenidas máximas 2017 ..... **113**
Apéndices 121
Apéndice 1: Coeficientes de descarga **123**
Apéndice 2: Variante 1 ..... **128**
Apéndice 3: Variante 2 ..... **131**
Apéndice 4: Variante 3 ..... **135**
Apéndice 5: Variante 4 ..... **139**
Apéndice 6: Variante 5 ..... **143**

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de tablas

Tabla 1. Glosario de términos relacionados con el FEN. 13
Tabla 2. Pérdidas totales debido al FEN 1982-1983 17
Tabla 3. Daños ocasionados por el FEN 1997 – 1998 19
Tabla 4. Impactos del Fenómeno El Niño 19
Tabla 5. Cuadro comparativo de daños FEN 82-83, 97-98 y 2016-17 24
Tabla 6. Cuadro comparativo de escalas sísmicas. 25
Tabla 7. Características de la bocatoma del canal principal Biaggio Arbulú 75
Tabla 8. Características del canal de limpia de Los Ejidos 76
Tabla 9. Características del canal de limpia de Los Ejidos (Continuación). 77
Tabla 10. Características del aliviadero de compuertas de Los Ejidos 78
Tabla 11. Características del vertedero libre de Los Ejidos 79
Tabla 12. Cuadro resumen 96
Tabla 13. Descripción de variantes para el cálculo de caudales 97
Tabla 14. Caudales pico del río Piura en 2017 determinados para diferentes escenarios 97
Tabla 15. Resultados con datos exactos PECHP 97
Tabla 16. Aporte de caudal por estructura 98
Tabla 17. Caudales con Qd 4700 m^3/s 98
Tabla 18. Alternativa 1 99
Tabla 19. Alternativa 2 99

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de figuras

Figura 1. División política Región Piura 4
Figura 2. Mapa de geomorfología de la región Piura 6
Figura 3. Provincia de Piura 8
Figura 4. Reservorio de Poechos 9
Figura 5. Regiones del Fenómeno El Niño a nivel global 12
Figura 6. Vista aguas abajo del Puente Cáceres (1998) 21
Figura 7. Totales De Lluvia Diaria (01/01- 30/06 de 1983, 1998, y 2017 en Piura) 22
Figura 8. Totales de precipitación acumulada (01/01- 30/06 de 1983, 1998, y 2017 en Piura) 23
Figura 9. Mapa de Probabilidad de Peligro por Sismo 27
Figura 10. Presas de gravedad 31
Figura 11. Presa de la central hidroeléctrica Grand Coulee 31
Figura 12. Sección de una presa arco 32
Figura 13. Presa de doble curvatura Morrow Point Dam, Colorado 32
Figura 14. Presa Roselend, Francia 33
Figura 15. Sección de una presa de materiales sueltos 34
Figura 16. Sección transversal de presas homogéneas 35
Figura 17. Sección transversal de Presas en núcleo 35
Figura 18. Sección transversal de presas de pantalla 36
Figura 19. Representación de la cresta del vertedero 37
Figura 20. Vertederos de pared delgada 37
Figura 21. Vertederos de pared gruesa 38
Figura 22. Niveles aguas abajo en vertederos 38
Figura 23. Tipos de vertederos según su forma 38
Figura 24. Vertederos según la inclinación del paramento 39
Figura 25. Componentes de un aliviadero 40
Figura 26. Embalse de Peñaflor, Sevilla 42
Figura 27. Old Iwabuchi Watergate, Tokio 43
Figura 28. Partes de una compuerta radial 44
Figura 29. Partes de una compuerta tambor 45
Figura 30. Partes de una compuerta tipo aleta 46
Figura 31. Compuertas tipo clapetas 46

Figura 32. Representación del principio de continuidad 50
Figura 33. Energía de un flujo gradualmente variado en canales abiertos 51
Figura 34. Línea de energía 52
Figura 35. Tipos de perfiles de flujo para flujo gradualmente variado. 55
Figura 36. Características del salto hidráulico. 56
Figura 37. Salto hidráulico 56
Figura 38. Longitud del salto hidráulico 57
Figura 39. Longitud del salto hidráulico en función de y_2 57
Figura 40. Longitud del salto en función de D2 y D1 (y_2 & y_1). 58
Figura 41. Posición del salto hidráulico (Caso 1) 59
Figura 42. Posición del salto hidráulico (Caso 2) 59
Figura 43. Posición del salto hidráulico (Caso 3) 60
Figura 44. Forma general de vertederos de pared delgada. 61
Figura 45. Vertederos rectangulares de pared gruesa 62
Figura 46. Red de flujo en compuertas planas 63
Figura 47. Distribución de presiones en la sección de salida de un flujo libre bajo una compuerta 64
Figura 48. Coeficientes de gasto para compuertas inclinadas con descarga libre 65
Figura 49. Flujo bajo compuerta radial 66
Figura 50. Compuertas radiales 66
Figura 51. Coeficientes de gasto en compuertas radiales con descarga libre según Gentilini 67
Figura 52. Límite de estabilidad 68
Figura 53. Coeficientes de descarga y contracción para flujo a través de compuertas 69
Figura 54. Coeficientes de descarga para compuertas inclinadas 70
Figura 55. Disposición general del Sector Hidráulico Mayor – Chira 72
Figura 56. Disposición general del Sector Hidráulico Mayor – Piura 72
Figura 57. Ubicación de la presa Los Ejidos 73
Figura 58. Bocatoma del canal principal en la presa Los Ejidos 74
Figura 59. Compuertas radiales en canal de limpia de la presa Los Ejidos 76
Figura 60. Aliviadero de compuertas de la presa Los Ejidos 78
Figura 61. Vertedero libre de la presa Los Ejidos 79
Figura 62. Estado sedimentológico de la presa Los Ejidos 86

Introducción

El presente estudio se ha realizado tomando como principal referencia la evaluación descrita en el Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura elaborado en el año 2001 por el Consorcio Class-Salzgitter que tenía como fin lograr aumentar la capacidad de descarga de la Presa Los Ejidos para que permita el paso de avenidas mayores a las que está diseñada. A partir de este, no solo se analizaron las estructuras de defensa a lo largo del cauce del río Piura, sino que también se recalcularon los caudales de las avenidas máximas.

A lo largo de estos cinco capítulos, se describirá la ocurrencia del Fenómeno El Niño en la zona norte del Perú, específicamente en la ciudad de Piura en los años 1982-1983, 1997-1998 y, sobre todo, 2016-2017. Del mismo modo, hablaremos sobre las presas, sus componentes y tipos, para centrarnos en el análisis de la Presa Los Ejidos como materia de estudio. Además, repasaremos los principios básicos hidráulicos, ecuaciones y coeficientes necesarios para el cálculo de caudales que nos ayudarán en el análisis de la data obtenida del Proyecto Especial Chira – Piura (PECHP) de los meses de enero, febrero y marzo de 2017 para finalmente exponer los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación.

Por último, podemos decir que la finalidad de la presente tesis es evaluar los resultados de los caudales máximos del evento del año 2017 para consolidar la información que existe desde los años 1983, 1998; lograr un mayor entendimiento y profundizar acerca de los riesgos, posibles daños a las estructuras y a la población ubicada en los alrededores del valle del río en el Bajo Piura.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Capítulo 1
Antecedentes

1. La región Piura

Piura (región) está ubicada al noroeste de Perú. Con una superficie de 35 892 km^2, ocupa alrededor del 3% de territorio nacional y es la franja costera más ancha del país, alcanzando aproximadamente 200km. Además, limita al norte con Tumbes y la República del Ecuador; por el este, con Cajamarca y Ecuador; por el sur, con Lambayeque y por el oeste, con el océano Pacífico. Se divide políticamente en 8 provincias, como se observa en la **Figura 1** y 65 distritos, siendo su capital la ciudad de Piura.

Le corresponde la región natural llamada Costa o Chala (Pulgar, 1987), con un ambiente seco la mayor parte del año. Sin embargo, también se puede encontrar cierta parte de la sierra o sistema de montañas andinas a partir de los 500 m.s.n.m.

El clima que predomina es el templado moderado lluvioso en la zona centro mientras que en la zona costera normalmente se presenta el clima de estepa, es decir, semi árido, y en otros casos desértico. Del mismo modo, en la zona baja el clima es seco y cálido hasta un clima húmedo y frío en las alturas. La temperatura mínima promedio es de alrededor 19°C y se encuentra en un rango normal de 18°C a 32°C que en casos extremos suele bordear los 40°C.

Es por estas circunstancias que, a lo largo de la extensión de la región Piura podemos observar vegetación en la zona del Bosque Seco Ecuatorial, incluyendo el característico algarrobo y el desierto en el litoral. Esta serie de accidentes geográficos producto de agentes tectónicos que se agravan a partir de la erosión aluvial genera variaciones de altitud suaves y/o moderadas en un radio de 16 km, conformadas por depósitos de grano medio y fino, además de la alta presencia de depresiones a través de las cuales el agua pluvial drena o se convierte en un área inundable. Variaciones más grandes se presentan en un radio de 80 km (Weather Spark, 2016).

El relieve considerado como costeño, es bastante amplio. De acuerdo con el análisis geomorfológico podemos encontrar un marcado efecto de aridez: estribaciones andinas, pampa costanera y valle amplio e intermedio donde se practica la agricultura y ganadería, aunque cabe resaltar, que estas actividades productivas se desarrollan con un limitado recurso hídrico (Gobierno Regional de Piura, 2016). Por otro lado, en la región sierra donde

se encuentra la cordillera de Huancabamba, se aprecian cerros de más de 3700 metros de altitud, quebradas, valles interandinos y mesetas.

Además de las ya mencionadas actividades económicas como la agricultura y ganadería que se desarrollan en la zona costeña, en la zona litoral se caracteriza la industria pesquera en Paita, debido a la confluencia de las corrientes de Humboldt y El Niño. Las reservas de hidrocarburos y el turismo de playas se observan en Talara y producción de fosfatos en Sechura.

Por otro lado, la zona andina es considerada la más pobre, cuya principal actividad económica es la agricultura orientada al consumo propio y mercados cercanos salvo en los casos de productos como café o panela que son exportados a más de 82 mercados en el exterior.

Figura 1. División política Región Piura
Fuente: Gobierno Regional de Piura, 2016.

1.1. El río Piura. Ahora bien, en cuanto al río Piura, éste forma parte de la cuenca del Pacífico, cuya naciente se encuentra a 3400 m.s.n.m. e ingresa al territorio piurano por Huarmaca (Huancabamba). Por otro lado, cabe resaltar que, como consecuencia de su dinámica fluvial y un período de estiaje no definido, los pobladores aprovechan las riberas del río para actividades agrícolas.

Tiene una longitud de aproximadamente 295 kilómetros (Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira - Piura, 2003), con una pendiente suave por tramos. Entre los afluentes del río Piura podemos encontrar al río San Martín (Mamayacu), río Pushmalca (Canchaque), río Bigote y río Corral Medio (Morropón).

La geomorfología de la región limita el desarrollo de una red hídrica principal por lo que se forma una secundaria, formada por quebradas que no siempre se encuentran activas, salvo en ocasiones como el Fenómeno El Niño y son utilizadas para el riego estacional de cultivos (Gobierno Regional de Piura, 2006). A continuación, una breve descripción de las cuencas a las cuales pertenece el río Piura.

1.1.1. ***Cuenca del río Chira.*** La naciente de esta cuenca se encuentra en el vecino país de Ecuador, en la puna del Parque Nacional Podocarpus, bajo el nombre de río Catamayo por lo que es parte de la cuenca binacional Catamayo – Chira. Al unirse con el río Macará un poco antes del límite entre ambos países, cambia su denominación por río Chira.

Tiene como límite al norte la cuenca Puyango –Tumbes (binacional), por el sur, la cuenca Piura – Huancabamba y al oeste el océano Pacífico. Está situada entre 03º 30’ a 05º 08’ latitud sur y 79º 10’ a 81º 11’ de longitud oeste. Por otro lado, el punto más bajo de la cuenca se ubica en la desembocadura del río Chira en el océano Pacífico y el más alto a 3700 m.s.n.m. (Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Chira – Piura, 2014).

Además, cuenta con un área total de 17 199 km^2 de los cuales más de 9 986 km pertenecen al Perú, en la región Piura. En mayor parte esta cuenca abarca la provincia de Ayabaca y Sullana (aproximadamente 87.6 %). **Ver Anexo A.**

Esta cuenca es una de las más aprovechadas ya que a lo largo de su recorrido podemos encontrar reservorios, hidroeléctricas, sistemas de irrigación y drenaje, plantas de tratamiento, etc. no obstante, el principal objetivo de la serie de infraestructuras hidráulicas que se encuentran en la cuenca del Chira es apoyar el desarrollo del sector agrícola, aprovechando el recurso hídrico para la producción.

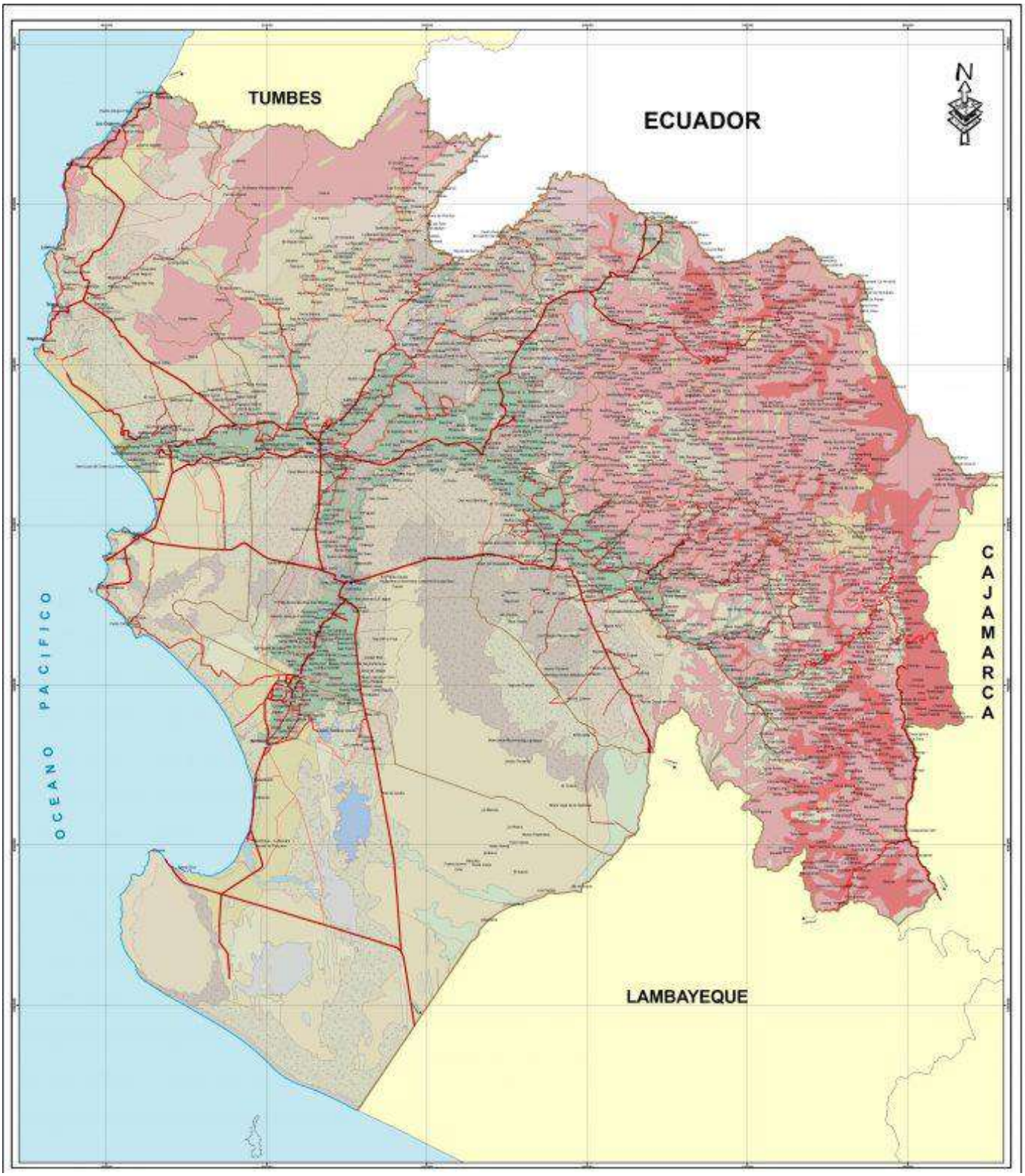


Figura 2. Mapa de geomorfología de la región Piura

Fuente: Gobierno Regional de Piura, 2017.

Por último, también es importante resaltar la problemática que existe en la cuenca del Chira en cuanto al agua. Desde problemas de drenaje y salinidad en los suelos, calidad de agua, hasta erosión con arrastre de sedimentos en estructuras hidráulicas. Como ejemplo podemos citar al reservorio Poechos que en los últimos años ha perdido más del 40% de su volumen inicial de operación (Rocha, 2006) debido a la sedimentación y se encuentra próxima a la colmatación.

1.1.2. ***Cuenca del río Piura.*** El río Piura forma parte del sistema hidrográfico de la Gran Cuenca del Pacífico, cuyo origen se ubica a 3400 m.s.n.m. en el cerro Paratón que, de la unión de varias quebradas, dan origen al río Huarmaca. Posteriormente, la unión este río con el Pusmalca y el Pata dan origen al río Canchaque, hasta que se une con el río Bigote, donde su denominación cambia a río Piura y tiene una longitud aproximada de 295 km (Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira - Piura, 2003).

Esta cuenca se sitúa entre los 04º 43' y 05º 49' de latitud sur y los 79º 27' y 80º 59' de longitud oeste. Asimismo, limita por el norte con la cuenca del río Chira, por el sur con la cuenca del río Cascajal, por el este con la cuenca del río Huancabamba y por el oeste con el océano Pacífico.

Su área total es de aproximadamente 12,216 km^2 hasta su desembocadura al mar. Su naciente se encuentra a los 3 600 m.s.n.m. en el límite de la cuenca Huancabamba, a partir de donde inicia su recorrido a través de las provincias de Morropón y Piura.

Tiene diversos afluentes, entre los cuales se encuentran los ríos San Martín, Pusmalca, Río Seco, Bigote, Corral del Medio, La Gallega, Charanal y Yapatera. Ver Anexo A.

Así como la cuenca del Chira, la cuenca del río Piura tiene como objetivo satisfacer las necesidades principalmente del sector agrícola y uso poblacional, para ello se han levantado estructuras las cuales permiten lograrlo. Además, debido a la gran variabilidad estacional o régimen irregular del río Piura y su conexión con el río Chira, estas grandes obras hidráulicas son de suma importancia.

Finalmente, como se mencionó anteriormente, la variabilidad estacional que conlleva a descargas ocasionales y con mayor o menor intensidad dependiendo de la presencia del Fenómeno El Niño, a lo largo de los años ha ampliado el cauce del río, disminuyendo áreas de cultivo aledañas en ambas márgenes, que actualmente presentan altos índices de erosión

y arrastre de sedimentos (Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira - Piura, 2003).

1.2. La ciudad de Piura. La provincia de Piura es una de las ocho que conforman la región del mismo nombre, ubicada a 29 m.s.n.m. aproximadamente y en la parte central de la región. Su extensión representa el 17 % del territorio regional, limitando por el norte con la provincia de Sullana, por el sur con Sechura y la región Lambayeque, por el este con Ayabaca y Morropón y por el oeste con Paita y Sullana.

Se divide políticamente en diez distritos como se muestra en la **Figura 3**. Entre ellos encontramos: Veintiséis de Octubre, Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, El Tallán, La Arena, La Unión, Las Lomas y Tambogrande, de las cuales las tres primeras conforman la ciudad de Piura, capital de región.

Figura 3. Provincia de Piura
Fuente: Municipalidad Provincial de Piura, 2017.

Como parte de la infraestructura hidráulica de Piura, se cuenta en primer lugar con el reservorio de Poechos de la **Figura 4**, que es el encargado del abastecimiento para consumo humano, agricultura e industria. Construido en la cuenca Catamayo – Chira, sobre el río Chira, irriga actualmente más de 45 mil hectáreas de cultivo en el medio y Bajo Piura, con una capacidad reducida en casi el 45% de la inicial. Sin embargo, vale mencionar que, en cuanto a la disposición del recurso hídrico, el sistema de abastecimiento de agua es considerado deficiente ya que, en primer lugar, el agua no llega a todos los distritos que conforman la provincia y en el caso de los que sí disponen de este elemento, durante la época de verano el servicio es interrumpido por más de 3 horas diarias y/o se distribuye con baja presión (Municipalidad Provincial de Piura, 2017).

Figura 4. Reservorio de Poechos
Fuente: Guzmán, 2014

También podemos encontrar, la planta de tratamiento de Curumuy, encargada de abastecer a los distritos de Piura, Castilla y Catacaos y el reservorio de San Lorenzo, que cumple una función similar a la del reservorio de Poechos, pero dirigido a zonas diferentes.

2. Fenómeno de El Niño

Al hablar del fenómeno de El Niño, existen muchas y variadas definiciones. Para poder diferenciarlas, es necesario ver cómo estas han cambiado a lo largo del tiempo, ya que no se ha podido llegar a un consenso real a nivel global. Originalmente, este término era usado

para referirse a un débil calentamiento del océano Pacífico, que acontecía casi anualmente y se extendía hacia el sur, a lo largo de las costas de Ecuador y Perú alrededor de las épocas navideñas, por lo que los pescadores del puerto de Paita le asignaron ese nombre, en referencia al Niño Jesús. Posteriormente, se relacionó este concepto con los inusuales y largos periodos de calentamiento del mar que ocurrían aproximadamente cada cinco u ocho años y cambiaban el comportamiento de los ecosistemas a nivel de la región del Pacífico ya que tenían una mayor dinámica y duración. Algunos solamente se refieren al fenómeno que ocurre en las costas de Centroamérica, mientras que otros a los efectos globales que éste genera. Sin embargo, el calentamiento a nivel costero mencionado es considerado no solo más grande y anómalo, sino que las características que presenta a lo largo de la cuenca del Pacífico son las que lo relacionan con los patrones climáticos globales (Trenberth, 1997).

Dicho componente atmosférico, está referido a la fluctuación cíclica del sistema océano-atmósfera entre la presión alta del Pacífico suroriental, las costas de América del Sur y el Pacífico Tropical Occidental, Indonesia, con presiones bajas; atado al calentamiento de la superficie del océano, como un gradiente de presiones llamado "*Walker Circulation*", da paso a la llamada Oscilación Sureña (*Southern Oscillation*) (Minaya, 1993).

Científicamente, se suele denominar ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) al fenómeno completo, en donde los eventos atmosféricos y oceánicos actúan conjuntamente. A partir de esto, El Niño corresponde a la fase del ENSO donde el océano se calienta, mientras que el fenómeno opuesto, denominado "La Niña", es el enfriamiento de las costas tropicales del Pacífico.

2.1. Fenómeno El Niño: Causas y desarrollo. De acuerdo con la oceanografía, este fenómeno es causado por cambios en los vientos alisios a lo largo del lado tropical del Pacífico. A finales del siglo XIX, una investigación llevada a cabo por Sir Gilbert Walker, cuyo fin era lograr predecir los efectos de los monzones en la India, le llevó a preguntarse por qué se originaban las fluctuaciones de los vientos en la atmósfera. A este fenómeno lo denominó *Southern Oscillation*.

*"*Cuando la presión es alta en el océano pacifico, tiende a ser baja en el océano indico. Desde África a Australia*"* (Philander, 1989).

Estas fluctuaciones claramente irregulares, reforzaron la idea de que los monzones en India eran parte de un fenómeno no solamente regional, sino global y que deberían analizarse

todos los focos de influencia que fuesen necesarios para poder realizar predicciones adecuadas, lamentablemente, en esa época sus teorías no fueron tomadas en cuenta debido a que las predicciones realizadas no lograron ser exactas.

Como parte fundamental de ENSO, los vientos alisios, asimismo conforman un fenómeno a gran escala de circulación constante, que se origina debido al calentamiento desigual producido en la tierra por el calentamiento del sol, por lo que las masas de aire se mueven con el fin de encontrar una zona en la cual se pueda lograr el equilibrio tal como se detalla a continuación (American Metereological Society, 2008).

A lo largo de la línea ecuatorial, que es la zona más cálida en la tierra, y como consecuencia de las bajas presiones, el aire caliente asciende hasta llegar a un punto desde el cual no puede seguir elevándose, por lo que empieza a enfriarse gradualmente mientras se mueve en dirección a los polos al norte y al sur. Al llegar aproximadamente a la latitud 30° ya está lo suficientemente frío como para empezar el descenso, una parte al llegar a la superficie se calienta nuevamente y repite el mismo ciclo descrito, este movimiento de grandes volúmenes de aire se denominan vientos alisios.

Estos vientos que en teoría tienen una dirección norte-sur y viceversa, debido a la rotación y la llamada fuerza de Coriolis, cambian de dirección a noreste y sureste respectivamente.

Ahora bien, conociendo esta definición, varios años después, con una nueva base de datos y una casual coincidencia con los fenómenos naturales relacionados con el Fenómeno El Niño (FEN), finalmente lograron orientar a los nuevos investigadores hacia el rastro que lograba conectar dicho fenómeno con la Oscilación Sureña. Resultados de estas investigaciones, mostraron que la superficie de agua caliente no se limitaba a la costa de América del Sur, sino que también se extendía hacia el oeste. Esto coincidía con la presencia de vientos alisios considerablemente débiles y fuertes lluvias en las zonas cercanas a la línea ecuatorial del Pacífico, que son conocidas por ser regiones áridas (Holbrook, y otros, 2009).

Según Jacob Bjerknes, conocido meteorólogo estadounidense y pionero en el campo del pronóstico meteorológico, mientras los vientos superficiales se dirigen hacia el oeste a lo largo de la zona ecuatorial siguiendo el gradiente de presiones, aflora el agua fría en la superficie en el este.

Asimismo, asoció la retroalimentación atmósfera-océano sobre el Pacífico tropical como una reacción en cadena, señalando además que, si se intensificase la "*Walker circulation*" (Circulación Walker - gradiente de presiones), también se originaría un incremento de la temperatura del este-oeste y viceversa, cuando los vientos del este se vuelvan más débiles, disminuirían las corrientes de agua fría y el gradiente de temperatura de este a oeste, que a su vez disminuye el gradiente de presiones (Bjerknes, 1966).

En resumen, Bjerknes logró explicar la fase negativa de la Oscilación del Sur con el Fenómeno El Niño y la positiva, con el estado normal frío en el Pacífico oriental.

Actualmente, el término "El Niño" describe no solo este evento estacional local en las costas de Sudamérica, sino que también los cambios asociados con la variación de los vientos en el Pacífico tropical y en general, toda la atmósfera. En conclusión, es referido comúnmente a la fase de la Oscilación Sureña cuando la temperatura del Pacífico aumenta, los vientos Alisios son débiles y la presión es baja en el este mientras que en el oeste es alta.

Es importante precisar también que, según los expertos del cambio climático en nuestro país (Takahashi, 2017), existen dos variantes de este fenómeno. El FEN global y El Niño Costero. Mientras que el Fenómeno El Niño es académicamente definido como el calentamiento del mar de la llamada región Niño 3 y 3.4 (Ver **Figura 5**), el FEN global toma en cuenta el calentamiento de las costas a lo largo del Pacífico, con lluvias en la zona ecuatorial, finalmente, El Niño Costero se centra en las costas sudamericanas, región 1+2 (FEN Costero) pero con un comportamiento neutro/frío en las costas centroamericanas. (Ver **Tabla 1**).

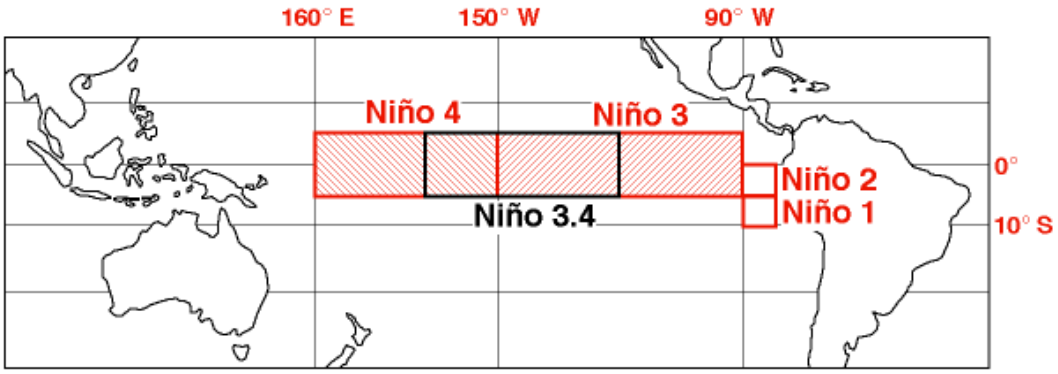


Figura 5. Regiones del Fenómeno El Niño a nivel global
Fuente: Pielke & Landsea, 1999.

Tabla 1. Glosario de términos relacionados con el FEN.

EL NIÑO	Evento climático de meses de duración, con altas temperaturas del mar en el Pacífico tropical central y/o oriental, dependiendo de quién lo defina.
FENÓMENO EL NIÑO (FEN)	Evento climático anómalo de meses de duración con altas temperaturas del mar y lluvias intensas en la costa norte del Perú. Este es el fenómeno original, descrito en el Perú a fines del siglo XIX.
EL NIÑO-OSCILACIÓN SUR (ENSO)	Fenómeno climático océano-atmósfera a escala interanual en el Pacífico tropical y con efectos globales.
NIÑO GLOBAL	Fase ENSO cálida. Incluye a "El Niño en el Pacífico central". Puede coincidir con FEN, pero no necesariamente.
EL NIÑO EN EL PACÍFICO CENTRAL	Evento climático anómalo con altas temperaturas del mar en el Pacífico central que, en verano, puede producir sequías en los Andes como en el año 2010.
EL NIÑO COSTERO	Evento climático anómalo con altas temperaturas del mar en la costa norte que puede coincidir con FEN y/o con El Niño global, pero no necesariamente.
FEN COSTERO	FEN que no coincide con El Niño global por tener condiciones entre neutras y frías en el Pacífico central. Conocido informalmente también como "El Niño costero" (no confundir con el anterior).
FEN GLOBAL	Conjunción de "El Niño global" y "FEN". Los principales ejemplos son 1982-83 y 1997-98.

Fuente: Takahashi 2017.

Por otro lado, mientras que el FEN global puede predecirse (Takahashi, 2017) en primer lugar debido a que existe mayor investigación relacionada, lo cual ha generado que los

medios computacionales usados para el pronóstico sean de última generación, se sabe que está caracterizado por tener una dinámica lenta y produce una señal dominante en lugares remotos del planeta. Sin embargo, con el FEN Costero no ocurre de la misma manera. Existe en la actualidad solamente un estudio sobre su desarrollo que fue basado en 1925 (Takahashi y Martínez 2016), donde se logró identificar como la causa predominante de este fenómeno a los débiles vientos Alisios frente a las costas de Sudamérica y su concurrencia con el desarrollo de la Zona de Convergencia Intertropical (Takashi & Dewitte, 2016) al sur de Ecuador.

Esta Zona de Convergencia Intertropical, es una banda de presiones bajas que usualmente se encuentra ubicada en la zona ecuatorial, donde se juntan los vientos alisios del sureste y noreste, aunque en ciertas ocasiones puede desplazarse hacia la zona donde sea verano, es decir, predominen temperaturas altas. Debido a esto, volúmenes de aire con similar temperatura y determinado contenido de vapor de agua se elevan, originando lluvias de fuerte intensidad e incluso en ocasiones, siendo acompañadas por tormentas eléctricas. Sin embargo, este fenómeno no suele considerarse como uniforme y/o continuo, sino que debido a las interrupciones que se pueden presentar, se ha determinado que el grosor de esta banda se transforma de un lugar a otro.

Entonces, como se mencionó previamente, este fenómeno normalmente se presenta en las épocas navideñas, que coinciden con el verano en el hemisferio sur, donde no solamente se produce el calentamiento de la superficie del mar, sino también existe una anomalía en la corriente desde el hemisferio norte al sur.

El Pacífico tropical tiende a contar con vientos Alisios que se mueven hacia el oeste, es por ello que el agua cálida de la superficie de las costas de Sudamérica se traslada a las costas de Oceanía. Mientras tanto, en el centro y sur de América, una corriente de agua fría se mueve hacia el norte, originando una diferencia de temperatura a lo largo del Pacífico ecuatorial. El agua caliente en el oeste produce las lluvias, mientras que el este se mantiene seco y árido como normalmente es conocido. Todos estos fenómenos naturales producen además un aumento de la intensidad de los vientos que vienen del este, originando un movimiento de aire en el Pacífico que se perpetuaría de no ser por la presencia de condiciones anómalas como las del FEN.

Durante ellas, los vientos Alisios se debilitan, lo que lógicamente origina que el ciclo descrito anteriormente no se logre completar, por lo que los fenómenos que ocurrían al oeste debido al movimiento de las aguas más cálidas se focalizan en el este, donde se producen las lluvias torrenciales e inundaciones, mientras que la sequía es predominante en Oceanía.

En síntesis, la interacción entre la ya mencionada Zona de Convergencia Intertropical, los débiles vientos alisios y el calentamiento superficial de las costas peruanas, fueron los principales factores que ocasionaron en el verano de 2017 el Fenómeno El Niño Costero.

2.2. Ocurrencia del Fenómeno El Niño en Piura. Para poder tener una idea y lograr comparar el impacto que ha tenido la ocurrencia de los fenómenos El Niño en nuestro país, analizaremos su efecto a partir de los que fueron considerados como intensos. Sin embargo, de todas las situaciones a analizar podríamos llegar a un consenso que, nuestro país es en gran medida susceptible ante los drásticos cambios climáticos asociados con estos fenómenos. Muestra de ello es el perjuicio económico ocasionado por El Niño 82/83, y la poca capacidad de prevención ya que en El Niño 97/98 y 2017, se reportaron pérdidas similares (SENAMHI, 2014).

2.2.1. ***Comportamiento 1982-1983.*** Este evento tuvo una duración de aproximadamente seis meses, desde diciembre de 1982 hasta junio 1983. Desde mayo del 82, se empezó a notar un indicio importante del fenómeno, esto es, el debilitamiento de los vientos alisios, posteriormente el aumento de la temperatura superficial (TSM) del mar hasta en 11°C en el norte de nuestro país, específicamente en el Puerto de Paita (Rocha, 2007).

Posteriormente, las lluvias intensas cobraron protagonismo a partir de diciembre de 1982 hasta junio del año siguiente, incrementando el volumen de agua en ríos costeños.

Cabe resaltar también que, aun desconociendo el gran impacto y la magnitud que este evento tendría, fue la primera vez que se realizaron los estudios correspondientes en nuestro país (mediciones, observaciones) y debido a ser catalogado como un “Meganiño”, se desarrollaron en mayor medida y rápidamente las investigaciones científicas a nivel oceanográfico y meteorológico con el fin de lograr un nivel mayor de entendimiento para poder predecir y prevenir pertinentemente la ocurrencia futura de Fenómenos El Niño similares (Rocha, 2007).

Desde la estación del Puente Sánchez Cerro en Piura, se obtuvo como dato a partir de las mediciones realizadas, el volumen total descargado en los seis primeros meses de 1983 fue

de 11 470 MMC, muy superior a lo registrado a lo largo de años anteriores. Asimismo, la avenida máxima fue de 3200 m^3/s, el doble en comparación con la avenida máxima del año 1972, que fue de 1600 m^3/s.

Este evento no solo tuvo impacto a nivel regional, sino que, en el continente asiático y especialmente en el sudeste, la sequía y los incendios también causaron muchos daños y pérdidas que ascendían a más de cuatro millones de dólares.

El Dr. Ramón Mujica, investigador de la Universidad de Piura, describió cómo afectó este fenómeno en Piura años después:

*"*Los registros de lluvias en la capital del Departamento de Piura señalan un promedio anual de 45 mm en los años anteriores a 1983. Muchas casas del Departamento son de barro y no están construidas para resistir mucha lluvia. En 1983 no fue necesario el año entero para llover 45 milímetros, bastaron 45 minutos para llover esa cantidad. En el resto del departamento llovió en forma semejante, e incluso superior, haciendo que las cuencas de los ríos Piura y Chira recibieran un aporte de agua como no se había tenido nunca desde que se registran los caudales de los ríos*"* (Mugica, 1983).

En el Perú, las principales pérdidas fueron humanas a causa de no solamente los huaicos, sino también debido a las inundaciones, deshidratación, hambre, proliferación de enfermedades y un alto porcentaje de mermas en producción (principalmente agrícola y pesquero) además de infraestructura. Otra gama de daños se ocasionó por la sequía en el sur.

El impacto económico del daño para la época se estimó en aproximadamente US$ 1000 millones que abarcaba pérdidas principalmente en el sector agrícola y pesquero, de acuerdo con la **Tabla 2**. Además, ocasionó una posterior sequía en el sur del país, según el Proyecto Seguros para la Adaptación al Cambio Climático, 2012. El total de daños fue valorizado en US$ 3283 millones en el año 1998 para su comparación y análisis.

2.2.2. ***Comportamiento 1997-1998.*** Para el año 1997, ya se manejaba cierto nivel de prevención, debido a las consecuencias del FEN anterior y se tomaron algunas medidas de prevención como ensanchamiento de cauces y defensas ribereñas, limpieza de drenajes, etc. Si bien es cierto, estas intervenciones evitaron efectos devastadores que pudieron producirse debido a las inundaciones, la magnitud de este fenómeno sobrepasó las expectativas, y la zona norte se vio muy afectada.

Tabla 2. Pérdidas totales debido al FEN 1982-1983

	US$ millones	**Porcentaje (%)**
Producción	397	39.7
Infraestructura	456	45.6
Pérdidas sociales	147	14.7
Total	1000	100.0

Fuente: Instituto de Defensa Civil (INDECI, 1997).

A nivel global, este evento fue uno de los que ha causado mayor impacto y daños ya que abarcó a casi 41 países, afectados ya sea por sequías e incendios o inundaciones (INDECI, 1998). Además, prácticamente superó todas las expectativas ya que no siguió los patrones atmosféricos y oceanográficos ya establecidos y estudiados a partir de fenómenos anteriores, probablemente debido a que empalmó con el término de la fase fría del fenómeno: La Niña. Este evento, contrario a El Niño, ocurre debido al incremento de la intensidad de los vientos Alisios que, por lo tanto, producen una disminución de la temperatura del mar en la zona del Pacífico Tropical.

Inició a fines de 1997 cuando se presentaron condiciones atmosféricas y oceanográficas extremas, dando lugar al incremento de la temperatura del aire, encontrándose datos mucho mayores al promedio y que con la disminución de presiones en la zona, aumentó más la sensación térmica.

Por otro lado, las máximas temperaturas superficiales del Pacífico y los realmente débiles vientos alisios abrieron paso a las intensas lluvias principalmente en la zona norte del país, durante los primeros meses del año entrante 1998, con descargas de hasta 8750 MMC. Sin embargo, cabe resaltar que las mediciones realizadas en la época fueron mínimas y en varios casos deficientes ya que varias estaciones meteorológicas fueron destruidas en el evento anterior y aún no habían sido rehabilitadas, contándose solamente con estimaciones de caudales que años después, fueron corregidas.

Además, según Rocha (2007), las fuertes lluvias que remecieron el norte, no se presentaron con igual intensidad y en algunos casos ni siquiera se produjeron en lugares de mayor altitud y alejados de la costa norte; es decir, los efectos del FEN en su gran mayoría, se producen solamente en ciudades con altitud menor a los 300 m.s.n.m.

Nuevamente los huaicos y las inundaciones produjeron la mayor cantidad de daños, y el impacto en la infraestructura tuvo un porcentaje similar al de los años 82/83, sin embargo, las lluvias tuvieron un impacto positivo en otras zonas del Perú ya que se permitió la recuperación de pastizales, incremento de la napa freática, entre otros.

En el sector salud, la destrucción de los sistemas de agua y desagüe a causa de las inundaciones, la escasez de agua y el inapropiado manejo de alimentos, trajo como consecuencia la epidemia de enfermedades diarreicas e infecciones respiratorias en las principales zonas afectadas por las lluvias.

Del mismo modo, se produjeron grandes daños en infraestructura, que iban desde carreteras afirmadas, sistemas de tratamiento de aguas servidas hasta colapso de puentes (ej. Reque, Lambayeque; Puente Viejo, Piura) que finalmente ocasionaron el aislamiento de un sinnúmero de localidades.

Sin embargo, uno de los daños que no se cuantificó fue la pérdida de capacidad de los embalses de los grandes proyectos de irrigación (Rocha A. , 2017) La sedimentación en los embalses Poechos, Gallito Ciego y Jequetepeque – Zaña fueron los que sufrieron la mayor pérdida. En esta oportunidad los daños ascendieron a US$ 3500 millones, cuyo principal componente fue el sector productivo, ya que las lluvias y las inundaciones afectaron no solamente la producción, sino también la infraestructura.

En cuanto a la agricultura, esta se vio muy afectada principalmente en la costa, a fines de 1997 debido a las altas temperaturas y la sensación de bochorno, posteriormente debido a las excesivas lluvias, plagas de langostas y el colapso de los sistemas de irrigación, las pérdidas fueron mayores al anterior Meganiño de acuerdo con la **Tabla 3**.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que no solamente se producen daños a partir de la ocurrencia de FEN intensos, sino que también producen daños los eventos regulares que forman parte de la vulnerabilidad climática que han venido incrementándose en los últimos años.

Tabla 3. Daños ocasionados por el FEN 1997 – 1998

	US$ millones	**Porcentaje**
Pérdidas de acervo	1 612	46
Pérdidas de producción	1 093	31
Prevención y otros gastos	405	12
Mayores costos	391	11
Total	3 501	100

Nota: Pérdidas de acervo: afectaciones a los activos inmovilizados y a las existencias a lo largo de la duración de las anomalías.

Fuente: CAF, 2000.

A manera de resumen, la **Tabla 4** agrupa los impactos positivos y negativos producidos por los eventos de 82/83 y 97/98.

Tabla 4. Impactos del Fenómeno El Niño

Impactos positivos	**Impactos negativos**
Aparición de otras especies pelágicas.	Aceleración del retroceso glaciar.
El incremento de lluvias y temperatura del aire favorece el desarrollo del cultivo de arroz en la costa.	Pérdida de terrenos agrícolas, muerte o migración de algunas especies vegetales y animales., colmatación de reservorios, salinización de suelos.
Las lluvias intensas, en eventos El Niño de fuertes a extraordinarios, favorecen la regeneración natural de los bosques secos en la costa norte.	Destrucción de la infraestructura productiva (canales de irrigación, bocatomas, compuertas, etc.) y vías de comunicación (carreteras y puentes colapsados).

Impactos positivos	Impactos negativos
La aparición de praderas temporales en la costa norte es importante para la ganadería.	Incremento de enfermedades como el cólera, la malaria, infecciones estomacales, conjuntivitis.
El exceso de lluvias favorece la recarga de acuíferos (aumento del nivel freático).	Altas probabilidades de que se produzcan incendios forestales, debido a las altas temperaturas.
Las altas temperaturas del mar durante el otoño-invierno, favorecen la disminución de la intensidad de heladas en la sierra norte y centro.	Desplazamiento y profundización de cardúmenes de anchoveta, que no puede ser compensada con la presencia de nuevas especies.
	Destrucción de infraestructura de saneamiento básico.
	Las altas temperaturas generan impacto en la producción pecuaria (baja producción de carne y leche).
	Disminución de la producción de papa en la costa y sierra, por altas temperaturas y exceso de humedad.
	En algunos cultivos el ciclo vegetativo se acorta; ausencia de inducción floral.

Fuente: SENHAMI, 2014.

2.3. El Niño 2017

2.3.1. ***Estado previo al fenómeno.*** El caudal del río Piura a lo largo del año hidrológico es variable. Usualmente, en años sin la presencia del Fenómeno El Niño, el volumen de agua que recorre las zonas del valle es muy bajo mientras que, en las nacientes ubicadas en la sierra de la región, se mantienen independientemente de la presencia de este evento.

El camino que recorre el flujo a lo largo del río en la zona del Bajo Piura es caracterizado por pendientes bajas y de camino sinuoso, lo último probablemente como consecuencia de la presencia de cultivos en áreas que anteriormente pertenecieron al cauce natural del río.

Estas depresiones de terreno tienen una alta probabilidad de ser susceptibles a las inundaciones luego de intensas lluvias.

Sin contar los daños en las viviendas localizadas en la margen derecha, las obras de encauzamiento del río y las estructuras levantadas a lo largo del trayecto del río se vieron sumamente afectadas tanto así que, por efecto de la socavación en las cimentaciones, el puente Viejo y Bolognesi colapsaron, aunque en este último, el nivel de agua ni siquiera tocó el tablero de la estructura. Por otro lado, se evidenciaron otros deterioros como el lavado del material de los taludes o defensas ribereñas a lo largo de las márgenes del río, erosión y socavación como se aprecia en la **Figura 6**.

Figura 6. Vista aguas abajo del Puente Cáceres (1998)
Fuente: Elera, 2005.

2.3.2. ***Comportamiento 2017.*** Ahora bien, alrededor de 20 años después del último evento extraordinario, el FEN 2017 inició a fines de diciembre del año 2016 y se extendió hasta fines de mayo del año siguiente. Según INDECI (2017), este FEN Costero puede calificarse como extraordinario por la magnitud de los daños, habiéndose declarado 13 de 24 departamentos y la Provincia Constitucional del Callao en emergencia.

En esta oportunidad, se generaron daños similares a los que han se vieron en los Meganiños mencionados anteriormente debido a que, a pesar de tener una menor duración, la velocidad a la que se calentaron las aguas de la costa de nuestro país fue mayor.

Se produjeron tormentas en la costa baja que dieron lugar a lluvias fuertes en zonas altas lo que ocasionó que ríos y quebradas que normalmente tenían un nivel bajo o se encontraban secos, se inunden muy rápido y a partir de ello ocasionaron desbordes, huaicos, deslizamientos, derrumbes, así como eventos de epidemias y plagas relacionados, que además pusieron en evidencia la carencia de sistemas de drenaje adecuados para la ciudad de Piura.

Los principales daños que se presentaron en la zona norte de nuestro país donde no solamente se contó con más de 1 782 316 damnificados, sino que además existió un gran impacto en la infraestructura debido a las inundaciones, encontrándose alrededor de 218 mil kilómetros de carretera perjudicados, un total de 234 051 kilómetros de caminos rurales y 449 puentes afectados.

La afectación de las zonas de cultivo también fue importante. Tan solo para citar un ejemplo, en La Libertad, alrededor de 8 000 hectáreas pertenecientes al proyecto Chavimochic se vieron afectadas y otro importante número de hectáreas se perdieron. En nuestra región Piura, más de 15 mil hectáreas afectadas y alrededor de 8 700 hectáreas perdidas (INDECI, 2017).

Si bien es cierto, a pesar de que este evento fue considerado como uno de gran magnitud por la población debido a los grandes daños y afectaciones, la evidencia sugiere que las inundaciones y lluvias no se pueden comparar con los Meganiño 82-83 ni 97-98.

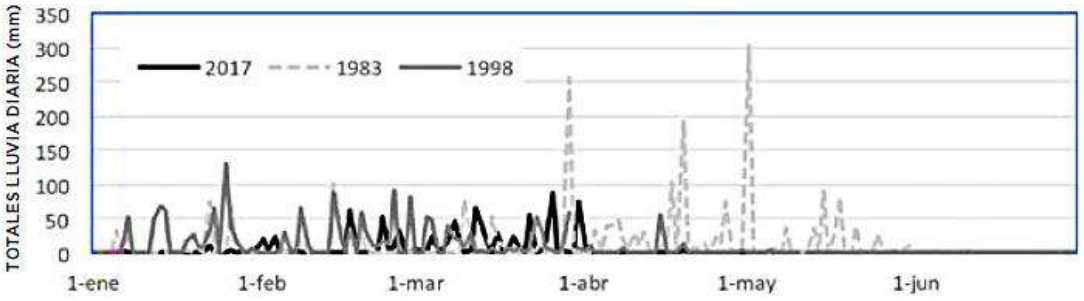


Figura 7. Totales De Lluvia Diaria (01/01- 30/06 de 1983, 1998, y 2017 en Piura)
Fuente: ISET – International, 2007.

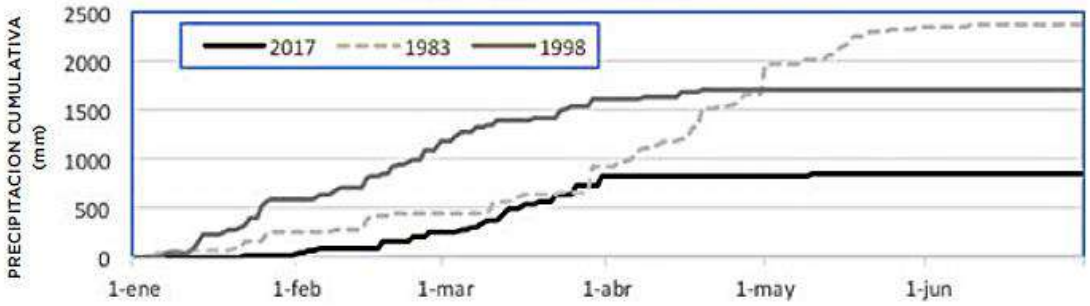


Figura 8. Totales de precipitación acumulada (01/01- 30/06 de 1983, 1998, y 2017 en Piura)
Fuente: ISET – International, 2007.

Como se observa en la **Figura 7**, los totales de lluvia diaria de los años 83 y 98 son mayores, sin embargo, se necesitaría un mayor análisis tomando en cuenta caudales, estado situacional de las estructuras hidráulicas instaladas en los ríos y cuencas de los ríos, etc. Además de esto, es necesario tomar en cuenta la acción humana que pudo agudizar los efectos del FEN 2017. Entre ellos podemos encontrar el proceso de habilitación y tráfico de tierras, principalmente en la costa.

Según un reporte realizado por ISET International, Soluciones Prácticas y el Programa de Resiliencia a las Inundaciones de Zúrich en octubre del 2017, la invasión de tierras causada principalmente por la migración a zonas costeras, y la construcción de viviendas en zonas de alto riesgo como consecuencia del desconocimiento. Muchas viviendas afectadas durante este evento se encontraban en márgenes de los ríos y zonas bajas. Más información y mucha más difusión de estas circunstancias es necesaria para poder lograr un mayor grado de preparación.

A manera de resumen y con el objetivo de lograr obtener una idea más global y a nivel macro de los daños causados por los últimos eventos extraordinarios que hemos experimentado en nuestro país (Meganiño 1982 – 83, 1997 – 98 y FEN Costero 2016 – 17), se presenta la **Tabla 5**, con datos obtenidos de la bibliografía que han sido valorizados a partir de los reportes de INDECI.

De acuerdo con los datos presentados, la mayor cantidad de damnificados se presentó en el FEN Costero del 2017, a pesar de que actualmente se cuenta con más tecnología y mayor difusión por parte de los medios de comunicación que pudieron haberse explotado más para llegar a toda la población. Así también, los mayores daños en vivienda y servicios, que abarca sector transporte, electrificación entre otros.

Tabla 5. Cuadro comparativo de daños FEN 82-83, 97-98 y 2016-17

	1982 – 1983	**1997 – 1998**	**2016 – 2017**
Pérdidas totales U$S	3 280 milones	3 500 millones	3 124 millones
Damnificados	1 267 720	1 686 736	1 728 316
Vivienda	115	223	1123
Educación	9	228	171
Salud	94	34	7
Sector Productivo	2533	1626	281*
Sector Servicios	532	1389	1543

(*) En daños del sector productivo 2016-2017 se toma en cuenta solamente el sector agrícola, que fue el más afectado.

Fuente: Proyecto Seguros para la Adaptación al Cambio Climático, 2012.

2.3.3. ***Problemática del Fenómeno El Niño 2017.*** Para abordar la problemática que ocasionó la presencia del Fenómeno El Niño durante 2017 iniciaremos haciendo una breve evaluación de los peligros presentes en la zona de estudio (Piura) a partir del "Plan de usos del suelo y propuesta de medidas de mitigación de los efectos producidos por los fenómenos naturales" (Dirección Nacional de Proyectos Especiales - INDECI, 2002), que fue elaborado en el año 2002 por la Dirección Nacional de Proyectos Especiales - INDECI para la ciudad de Castilla, de manera que tendremos una idea general de cuáles son los principales indicadores a través de los que se logra determinar los efectos y las consecuencias de estos eventos naturales.

En primer lugar, se analizó la Geodinámica Interna de la zona, es decir, los sismos, actividad volcánica y formación de cordilleras para luego repasar la Geodinámica Externa y determinar las zonas críticas y más susceptibles a daños en la ciudad.

En cuanto a la geodinámica interna, hablaremos principalmente de la sismicidad de la zona. De acuerdo con el mapa de zonificación sísmica de la **Figura 9,** la ciudad de Piura se encuentra en la Zona III donde usualmente se presentan sismos de magnitud 7 en la escala de Richter. Para conocer las características que describan mejor el comportamiento de esta

zona y los daños que se producen en presencia de movimientos telúricos, se toma en cuenta la escala modificada de Mercalli. **(Tabla 6).**

Por otro lado, en la geodinámica externa se describe el efecto de la acción pluvial que en el caso de la ciudad de Piura y sus alrededores es el factor que predomina incluso sobre el efecto sísmico, ya que en épocas de intensas lluvias provocadas por el Fenómeno El Niño, se producen incontables daños.

Los principales riesgos son la activación de quebradas y escorrentías debido al gran volumen de agua producto de las precipitaciones y se diferencian por la magnitud de dicho volumen. Mientras que las quebradas se caracterizan por presentar un flujo de agua sobre depresiones en el terreno, lo que determina su trayecto, las escorrentías pueden producirse en cualquier superficie. No obstante, el desplazamiento de material superficial provoca erosión sobre el terreno.

Además de la activación de quebradas, las inundaciones suelen presentarse en época de lluvias y pueden ser críticas o temporales. Las primeras se presentan en las zonas más bajas donde se presentan depresiones en el terreno y poco drenaje. Las inundaciones temporales a su vez se producen en toda la ciudad, pero por poco tiempo debido a la pendiente del terreno en el cual se encuentran. Asimismo, ambos tipos de inundaciones pueden causarse no solo por las precipitaciones, sino que se agravan por el desborde de las aguas del río Piura. (INDECI, 2017).

Tabla 6. Cuadro comparativo de escalas sísmicas.

RICHTER		**MERCALLI**
Mide la energía del temblor en el hipocentro.		Se basa en los daños ocasionados empíricamente observados por las personas.
2,5 En general no sentido pero registrado en sismógrafos.		I. Imperceptible.
		II. Muy pocas personas lo han sentido.
3,5 Sentido por mucha gente.		III. Temblor percibido por algunas personas dentro de edificaciones.

RICHTER		MERCALLI
		IV. Temblor percibido por personas fuera de edificaciones.
		V. Sentido por casi todos.
4,5 Pueden producirse daños locales pequeños.		VI. Sentido por todos.
		VII. Las estructuras presentan pequeños daños.
6,0 Terremoto destructivo.		VIII. Daños considerables en las estructuras.
		IX. Daños graves, desplazamiento de muchos cimientos. Grietas visibles en el terreno.
7,0 Terremoto importante.		X. Muchas construcciones destruidas; suelo muy agrietado.
8,0 a más: Grandes terremotos.		XI. Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo.
		XII. Destrucción total. Se ven ondas sobre la superficie del suelo. Los objetos se mueven y voltean.

Fuente: Elaboración propia. (Basado en SEISMICK, Advanced Solutions for Safe and Resilient Buildings Against Earthquakes, 2017).

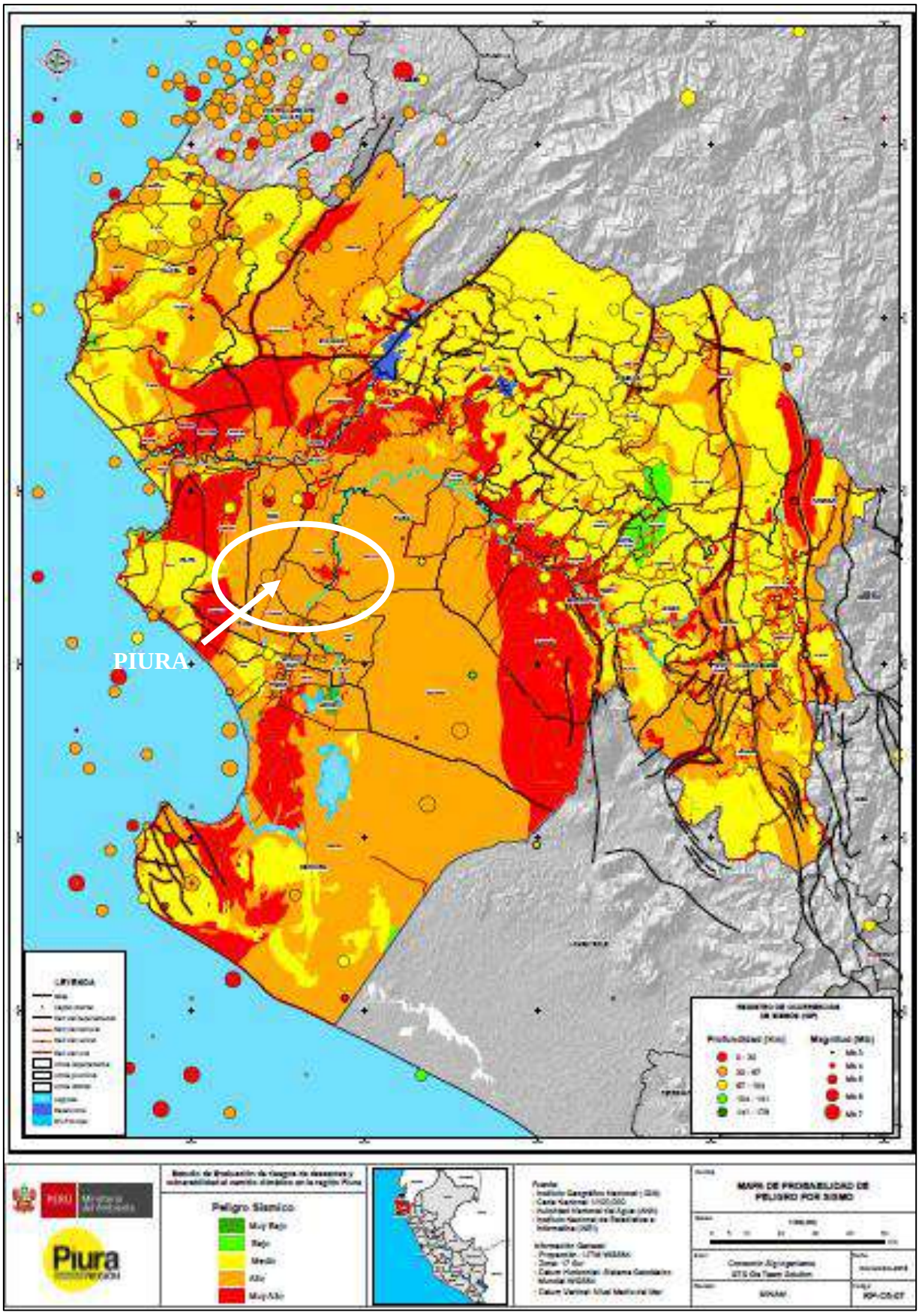


Figura 9. Mapa de Probabilidad de Peligro por Sismo

Fuente: SIAR, 2015.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Capítulo 2
Presas: Marco teórico

La necesidad del hombre por contar con un suministro constante de agua data desde el inicio de los tiempos. A nivel de la ingeniería, la construcción de estructuras hidráulicas que permitan satisfacer esta necesidad, formaba parte de los principales objetivos de las grandes civilizaciones ya que permitían no solamente el almacenamiento del recurso hídrico, sino también daban lugar a lograr organizar de manera óptima y eficiente la distribución y las cantidades de agua destinada para el riego de las zonas agrícolas.

Con el pasar de los años, la demanda se ha elevado debido al aumento de la población mundial, las necesidades y la economía. Además, ya que solo una pequeña parte del volumen total de agua disponible en el mundo es apta para el consumo humano, el riego y uso industrial, la urgencia de contar con presas que permitan almacenar grandes cantidades de agua impera alrededor del mundo (Novak, A., & Nalluri, 2001).

Asimismo, la construcción de estas estructuras actualmente se encuentra orientada a ser sostenible en el tiempo, no afectar el ambiente en el cual se encuentra y resistir los efectos del clima y el terreno de la zona en cuestión.

1. Definición

Una presa se define como una barrera colocada transversalmente en el cauce de un río, arroyo o canal a manera de almacenar agua y controlar el caudal que pasa a través de ella para luego derivar y aprovechar este flujo con fines domésticos, de riego, energía hidroeléctrica, industria, turismo, recreación y esparcimiento, etc. Además, ayuda a contener las avenidas de agua provenientes de las intensas lluvias que podrían llegar a inundar áreas destinadas a la agricultura o asentamientos humanos.

Para el correcto funcionamiento de la presa, ésta debe contar con un embalse, aliviaderos y obras de desagüe. Ahora bien, en esta tesis se hablará fundamentalmente del caso de una presa derivadora, es decir, una estructura que tiene como objetivo captar agua de una corriente superficial, que también cuenta con aliviaderos y obras de desagüe, pero que no almacena volúmenes de agua.

Las presas derivadoras son similares a un obstáculo, que interrumpe el cauce natural del río, siguiendo la pendiente natural del mismo, que elevan el nivel del agua y de esa manera

controlan el caudal que, por gravedad, también podrá permitir moderar la presión con la que el agua continúa su recorrido.

Estas estructuras a su vez cuentan con diversos elementos: vertederos fijos y móviles, canales de captación y de limpieza, desarenadores, defensas ribereñas, etc. todos ellos cumplen con una función diferente, y garantizan que la obra en su conjunto se mantenga y opere de manera eficiente, económica y sostenible.

2. Tipos de presas

A partir de los sistemas de derivación, podemos citar una variedad de métodos usados desde los más básicos hasta las estructuras más complejas como es este caso.

Existen sistemas de captación que, de acuerdo con las necesidades y la superficie de la zona, pueden habilitarse con tan solo una bocatoma que conforma una toma directa del cauce, sin embargo, podemos encontrar en la práctica otros sistemas que se encuentran adecuadamente acondicionados con barrajes fijos en función al volumen de agua que pasa a través de ellos.

Por otro lado, clasificaremos a las presas derivadoras a partir de su eje en planta, que puede ser recto o curvo y a los materiales utilizados para su construcción y según sus mecanismos resistentes.

2.1. Presas de hormigón. Son las estructuras más comunes en la actualidad, dado que el hormigón es el material más económico y de mayor manejabilidad. Antiguamente también se construían presas de mampostería. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

Según los mecanismos resistentes de las presas de hormigón, se pueden distinguir tres grupos:

2.1.1. ***Presas de gravedad.*** Las presas de gravedad se caracterizan por tener una sección que se asemeja a un trapecio, de acuerdo con la **Figura 10**. La base es más ancha, alrededor de 0.75 a 0.85 veces la altura, y a medida que esta aumenta, disminuye el espesor. La cara de la estructura aguas arriba es casi vertical mientras que aguas abajo la inclinación es variable y se encuentra entre 50 y 65°. El mecanismo resistente de este tipo de obras es que, como su propio nombre lo dice, el peso de la presa produce altos índices de rozamiento entre el cuerpo de la estructura y el terreno sobre el que se encuentra apoyada y que a su vez evita

el deslizamiento lateral. Del mismo modo, tienen alta resistencia frente al vuelco. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

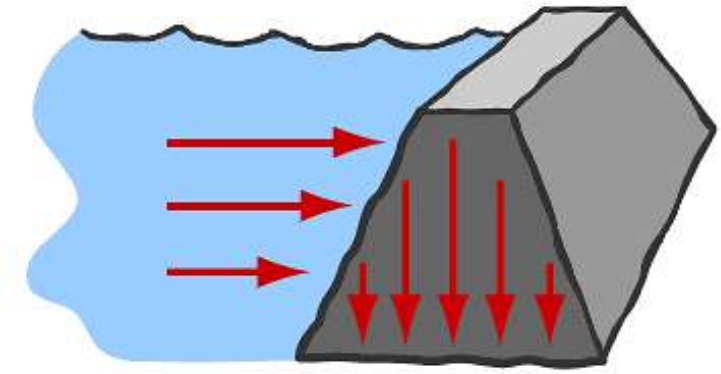


Figura 10. Presas de gravedad
Fuente: Blog Más que Ingeniería, 2016.

Son estructuras con altos niveles de durabilidad y bajo mantenimiento, las alturas oscilan entre los 30 hasta los 90 metros (Novak, A., & Nalluri, 2001), pero en algunos casos como en la Presa Grand Coulee en Washington D.C. de la **Figura 11**, la altura es de 168 *m*.

Figura 11. Presa de la central hidroeléctrica Grand Coulee
Fuente: Blog Spokane Public Radio, 2016.

2.1.2. ***Presas arco.*** Son estructuras más esbeltas, el espesor de la base es alrededor del 30% de la altura y, por lo tanto, para su construcción se emplea una menor cantidad de material. El principio de resistencia se basa en su forma, el arco, como se observa en la **Figura 12**. La carga es repartida de manera uniforme a lo largo de la estructura que trabaja

bajo cargas axiales, las cuales se transfieren a los estribos, cuya resistencia debe ser elevada. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

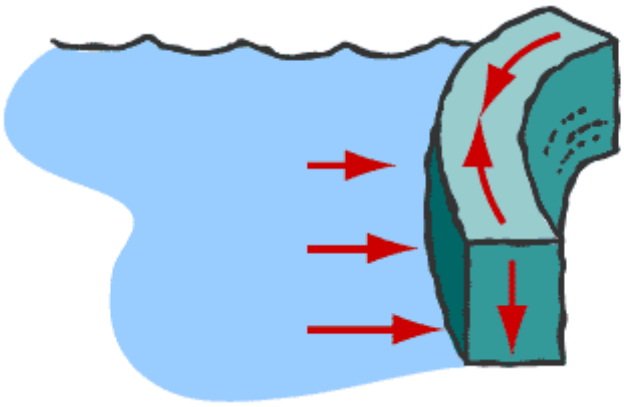


Figura 12. Sección de una presa arco
Fuente: Blog Más que Ingeniería, 2016.

De acuerdo con su sección, se pueden subclasificar en:

- **Presas arco**: sección trapezoidal de planta curva.
- **De doble curvatura**: sección curva de planta curva. Como ejemplo en la **Figura 13** se muestra la presa de doble curvatura Morrow Point en Colorado, EE. UU.
- **Presas arco – gravedad**: combinación entre el principio de resistencia del arco y de gravedad, aumentándose el espesor de la estructura para poder reducir la resistencia de los estribos laterales.

Figura 13. Presa de doble curvatura Morrow Point Dam, Colorado
Fuente: Bureau of Reclamation – Managing Water in the West, 2018.

2.1.3. ***Presas aligeradas o de contrafuerte.*** Son presas con una sección compuesta por un muro en la zona de aguas arriba y una serie de contrafuertes o refuerzos aguas abajo, que dan lugar a un principio similar al usado en las presas de gravedad. Por otro lado, tienen alta resistencia al deslizamiento lateral y al vuelco a pesar de que se haya usado una cantidad menor de material, lo que en algunas ocasiones puede considerarse una ventaja, pero también se eleva el grado de complejidad debido al trabajo adicional de ingeniería que se realiza con instalaciones de concreto reforzado.

Como ventaja puede describirse que el efecto de la sub-presión, es decir, el daño que puede producir la fuerza ascendente del agua sobre la estructura de contención es menor debido a la esbeltez de las presas de contrafuerte. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

Figura 14. Presa Roselend, Francia
Fuente: Wikipedia, 2017.

2.2. Presas de materiales sueltos. Son estructuras construidas a base de arcilla, piedras, etc. que no han sido sometidos a ningún proceso de transformación para ser parte de la construcción de la obra y únicamente pasan por un proceso de compactación para adecuar su sección a una trapezoidal (Novak, A., & Nalluri, 2001). En la **Figura 15** se muestra su sección.

Claramente son más económicas porque pueden ser construidas con el material extraído de la misma zona, y se pueden localizar sobre cualquier tipo de terreno.

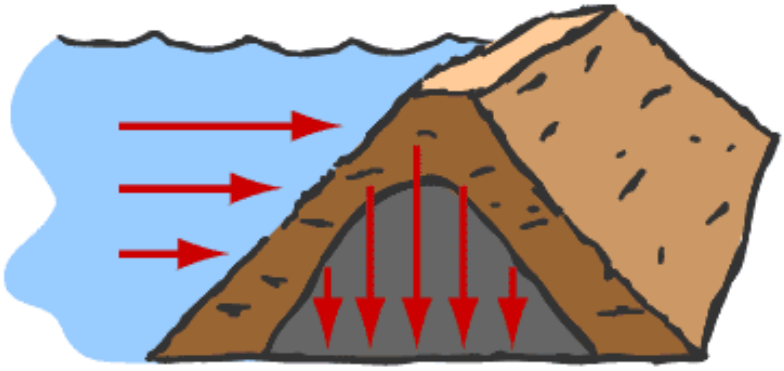


Figura 15. Sección de una presa de materiales sueltos
Fuente: Blog Más que Ingeniería, 2016.

El mecanismo resistente de este tipo de presas es básicamente el mismo del de las presas de gravedad, debido a su gran volumen, se desarrolla una resistencia al empuje del agua similar a la anterior. Tienen una sección transversal y el volumen depende del ángulo de rozamiento de los materiales utilizados para la construcción para evitar desplazamientos laterales. Asimismo, es necesaria la presencia de un material impermeable como arcilla en la construcción de la presa para su adecuado funcionamiento, cosa que sí está garantizada en una presa de hormigón. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

Estas presas pueden clasificarse en:

2.2.1. ***Presas homogéneas.*** Se sirven de materiales impermeables compactados para la estructura en su totalidad de manera que se garantiza un adecuado comportamiento hidráulico. Son usadas para estructuras pequeñas y de acuerdo con las propiedades del material, la base es de 6 a 8 veces la altura.

En algunas oportunidades, para completar la construcción de este tipo de presas, se usan otros materiales como protección o filtros como se muestra en la **Figura 16**, sin que se perjudique el funcionamiento ni su tipología, una disposición común en este tipo de presas se observa en la **Figura 14**. Son ideales en zonas arcillosas por su bajo costo. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

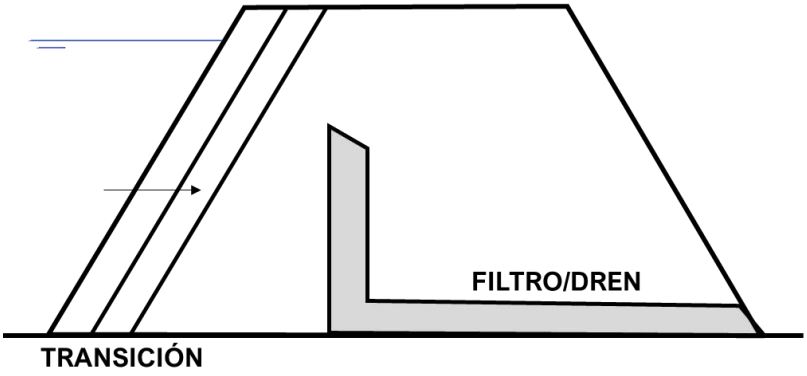


Figura 16. Sección transversal de presas homogéneas
Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. ***Presas en núcleo.*** Conformadas por un núcleo impermeable de materiales arcillosos al interior, ya sea en la parte central de la presa o inclinado respecto a ella, siendo este último el más adecuado por la seguridad que brinda durante el proceso de construcción y su posterior funcionamiento como se observa en la **Figura 17**.

Además del material impermeable, existe una granulometría variada que cubre el núcleo y sirve como filtro o drenaje, denominado material de transición. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

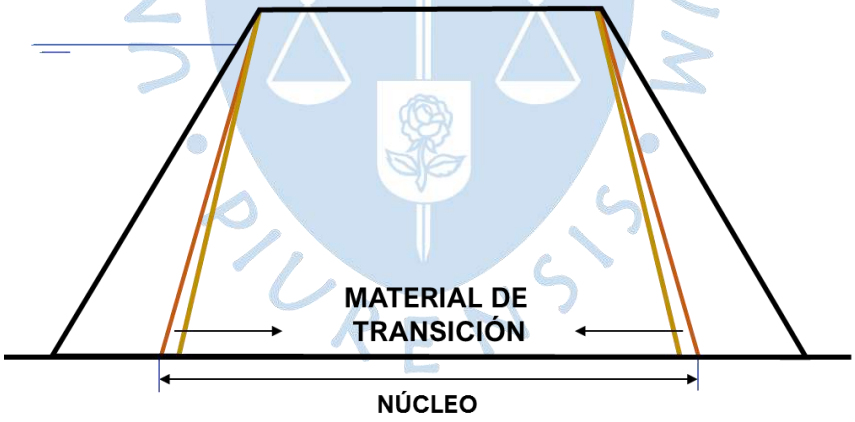


Figura 17. Sección transversal de Presas en núcleo
Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. ***Presas de pantalla.*** A diferencia de las presas de núcleo, el material impermeable conforma una capa alrededor del material de transición aguas arriba de la presa, además de una franja de material que cumple la función de drenaje en la base de la estructura.

Se puede usar como material de transición: hormigón, asfalto y conglomerantes hidráulicos o semi hidráulicos y la base es el triple de la altura. (Novak, A., & Nalluri, 2001).

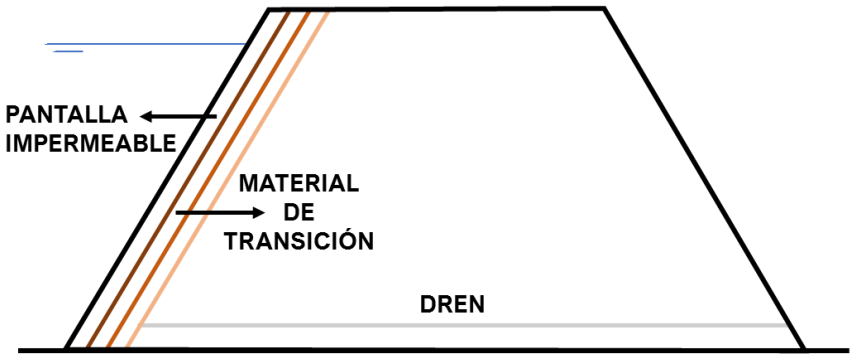


Figura 18. Sección transversal de presas de pantalla
Fuente: Elaboración propia.

3. Elementos de una presa

3.1. Vertedero libre. Un vertedero se define como una abertura en la barrera colocada en un canal o un río por la cual escurre o rebalsa el líquido que circula a lo largo del río o canal (Balloffet, Gotelli, & Meoli, 1955). El propósito de estas estructuras es dejar pasar el flujo de agua de una forma segura y que no implique daños en el complejo al que pertenece, que puede ser una presa, donde el vertedero cumple la función de aliviadero. Por otro lado, también puede utilizarse como un punto de medición de caudales.

De manera general los vertederos son libres, es decir, al dejar pasar el agua cuando sobrepasa el nivel establecido se encuentran funcionando normalmente, aunque también este flujo puede ser controlado por compuertas.

Entre sus principales funciones podemos precisar que permite mantener un nivel constante aguas arriba, dando lugar a que el flujo sobre la corona de la estructura tenga un espesor determinado, además que es de suma importancia para la seguridad en casos de desbordes cuando se produzcan grandes crecidas y finalmente se puede controlar el flujo en las estructuras de caída, transiciones, colchones disipadores de energía y canales de entrada y salida (Chow, 1994).

Estas estructuras tienen una función primordial cuando forman parte de presas. Muchas de ellas han fallado estructural o hidráulicamente debido a un mal diseño del vertedero o una mala localización. Por otro lado, el uso del vertedero se encuentra sujeto a las características de escorrentía de las cuencas en las cuales se ha construido, asimismo, durante las avenidas o cuando las capacidades de los demás elementos hidráulicos se encuentran saturados.

En las presas de hormigón, casi siempre se incorpora un vertedero, mientras que en las presas de material suelto se requiere una estructura de vertedero de pozo independiente o un canal contiguo a la presa (Novak, A., & Nalluri, 2001).

3.1.1. ***Tipos.*** Estas estructuras se pueden clasificar de la siguiente manera:

3.1.1.1. *Por el tipo de cresta.* Cuando se habla de cresta, se trata de la zona en la cual la napa vertiente tiene contacto con el paramento. De acuerdo con este criterio, podemos encontrar dos grandes grupos: vertederos de pared delgada (**Figura 20**) y de pared gruesa (**Figura 21**).

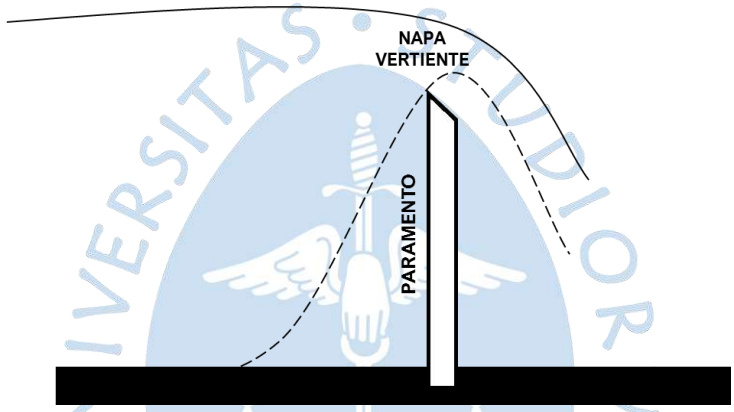


Figura 19. Representación de la cresta del vertedero
Fuente: Elaboración propia.

En los vertederos de pared gruesa, el contacto entre el flujo y el paramento es un plano, mientras que en los de pared delgada, es solo una línea.

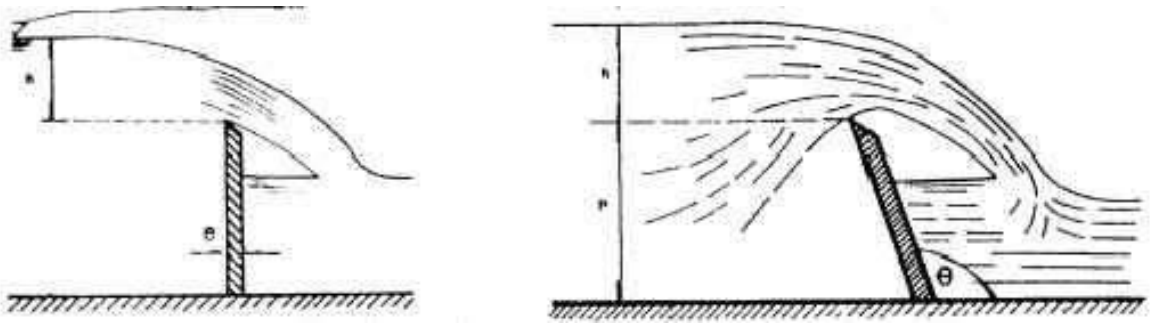


Figura 20. Vertederos de pared delgada
Fuente: Villón, 2007.

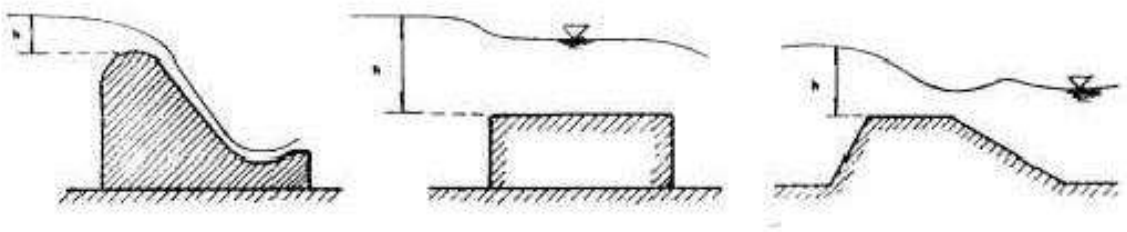


Figura 21. Vertederos de pared gruesa
Fuente: Villón, 2007.

3.1.1.2. *Por niveles aguas abajo.* En este caso hablamos de vertederos libres y sumergidos. En el vertedero libre, el nivel aguas abajo es inferior al de la cresta y el sumergido, viceversa.

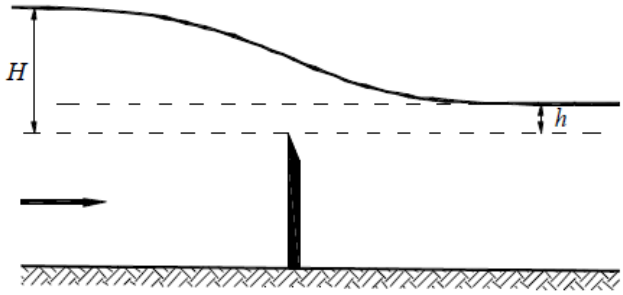


Figura 22. Niveles aguas abajo en vertederos
Fuente: Rocha, 1993.

3.1.1.3. *Por condiciones laterales de descarga.* Pueden clasificarse en vertederos con contracciones laterales o sin ellas.

Cuando la longitud del vertedero es menor que el ancho del canal de aproximación, y la distancia entre los extremos del vertedero y la pared del canal es mínimo tres veces la altura, existe contracción lateral. Por otro lado, si el ancho es igual a la longitud, no la hay.

3.1.1.4. *Por su forma.* Pueden ser rectangulares, trapezoidales, triangulares, circulares, etc.

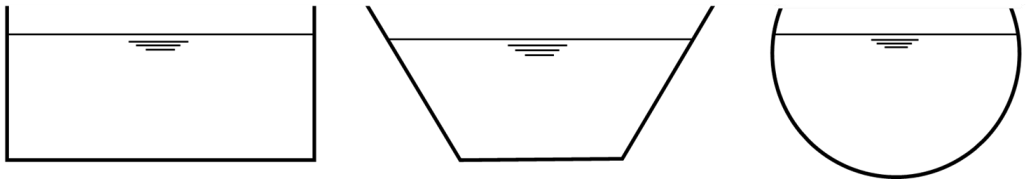


Figura 23. Tipos de vertederos según su forma
Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.5. *Por inclinación del paramento.* El paramento es similar a un muro que forma parte del vertedero y que en muchas ocasiones es vertical, pero puede presentarse cierta inclinación aguas arriba o abajo. En el primer caso, aumenta la contracción y en el segundo, disminuye.

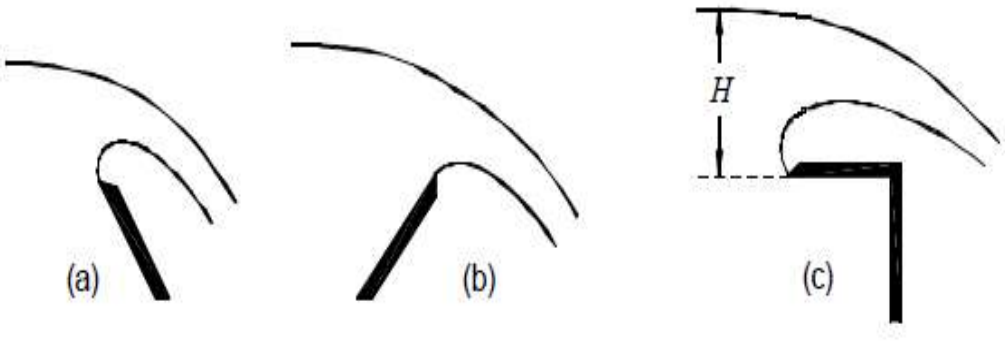


Figura 24. Vertederos según la inclinación del paramento
Fuente: Rocha, 1993.

3.2. Aliviadero de compuertas. Los aliviaderos son estructuras que, junto con otras tales como las presas y canales, forman complejos hidráulicos que tienen el propósito de ya sea almacenar, distribuir o regular el flujo de agua que pasa a través de ellos.

Estas obras tienen como objetivo dejar que el volumen de agua que excede al valor inicialmente dispuesto logre salir o atravesar la presa con fluidez.

Además de esta importante función se constituye el factor de seguridad de la presa y de la zona que la rodea ya que, según estudios (Pardo & Alegret, 2011), más del 80% de las presas fallan en su totalidad, si el aliviadero se diseña con poca o insuficiente capacidad, produciéndose una elevación del nivel aguas arriba no prevista, trayendo como consecuencia la inundación de las tierras aledañas y desde luego, daños estructurales con grandes pérdidas sociales, ambientales y económicas.

3.2.1. ***Componentes.*** Dependen en gran parte de las características del lugar en el que se va a ubicar y el nivel ingeniería que desee aplicarse. Normalmente se cuenta con un canal de aproximación, sección de control, transiciones, rápidas, disipadores de energía y canales de salida.

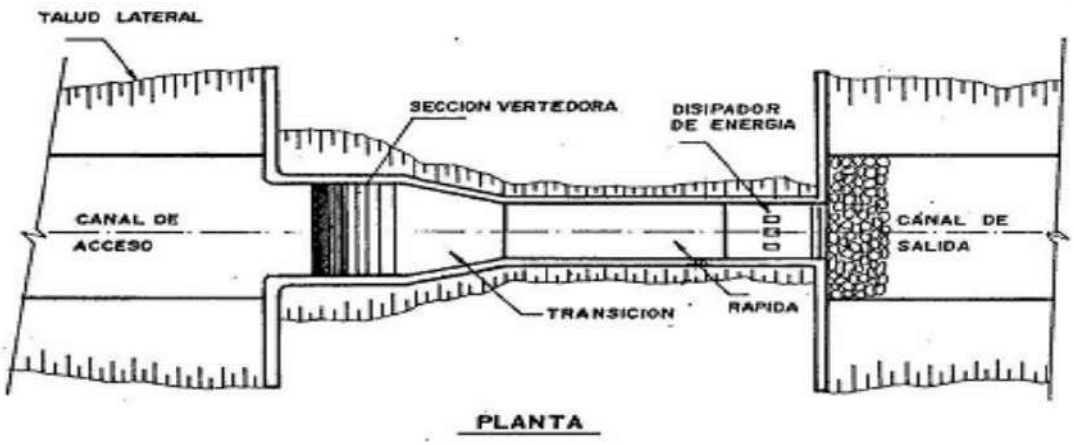


Figura 25. Componentes de un aliviadero
Fuente: Pardo & Alegret, 2011.

- **Canal de aproximación**: capta el flujo aguas arriba y lo conduce hacia la sección de control de manera uniforme.

- **Sección de control**: en esta zona, se define la capacidad de descarga del aliviadero ya que el caudal se encuentra sometido a una carga hidráulica determinada.

- **Zona de transición**: cambia la forma de la sección transversal sobre todo cuando existe una gran diferencia entre el ancho de la sección de control y la rápida.

- **Rápidas**: dado que en estas estructuras se produce una gran diferencia de nivel, la pendiente longitudinal entre esos tramos debe ser lo suficientemente fuerte como para imponer un régimen súper crítico (altas velocidades, bajos tirantes) que define anchos de sección transversal menores en comparación a la sección de control.

- **Disipadores de energía**: como su nombre lo dice, tiene el objetivo de disipar la energía cinética producida por la estructura al final de la rápida.

- **Canal de salida**: acompaña el flujo de agua hacia el cauce natural del río.

3.2.2. ***Clasificación***. Según la bibliografía consultada, los aliviaderos pueden clasificarse de acuerdo con muchos aspectos, entre ellos podemos observar: de acuerdo con su disposición en planta, ubicación, según el tipo de conducción, construcción, vertimiento y en función a la protección de la cortina de agua. Sin embargo, en el marco de esta tesis, he considerado oportuno solamente citar los tipos de estructuras que permitan dar a entender de manera concisa el funcionamiento del aliviadero que forma parte de la presa en cuestión, es decir, obras hidráulicas que describan el funcionamiento del complejo hidráulico, Presa Los

Ejidos, en su conjunto. Por lo tanto, tomando en cuenta la anterior precisión, describiremos los tipos de aliviaderos según el tipo de vertimiento: automáticos o regulados por compuertas.

3.2.2.1. *Automáticos.* Son los que, al sobrepasar la cresta, el agua se vierte automáticamente sin apoyarse en ningún dispositivo que lo controle, para lo que la cresta del vertedero coincidirá con el nivel aguas arriba.

3.2.2.2. *Regulados por compuertas.* Los componentes de control en los aliviaderos regulados como su mismo nombre lo indica, son compuertas. En este caso, el nivel más alto de la cresta no coincide con el nivel aguas arriba y se producen dos tipos diferentes de vertimiento, el libre, cuando se levantan las compuertas y regulado, con el nivel de agua normal.

Una de las principales razones por la cual se opta por la construcción de un aliviadero de compuertas es que existe una necesidad imperante de distribuir un volumen útil diario por debajo del nivel normal de agua de la estructura. Además, contar con un nivel de agua menor al normal, hace que el tirante máximo de agua que se podría presentar durante la ocurrencia de una avenida máxima sea menor, por lo que se disminuye en gran medida el área de inundación que podría afectar los alrededores y, asimismo, el hecho de poder operar las compuertas permite que se le pueda hacer un mantenimiento continuo a fin de prever fallas y realizar reparaciones.

3.2.3. ***Compuertas***. Son placas móviles, curvas o planas usadas para regular caudales y en ciertos casos, para emergencias y/o mantenimiento de las estructuras hidráulicas a las que pertenecen. Estos elementos pueden clasificarse en una primera instancia de acuerdo con el motor que los asiste: hidráulico o mecánico.

Las compuertas de motor hidráulico abarcan a las flotantes y de contrapeso. Las primeras están diseñadas para mantener un equilibrio entre la presión de agua que ingresa a la cámara de flotación y sale. Debido a la ingeniería de su diseño, únicamente funcionan bajo situaciones de repartición uniforme, por lo que no se las puede sujetar a través de medios mecánicos en casos de emergencia. Entonces, se recomienda que sean fijadas en posiciones extremas, donde se presente una abertura total de entrada a la cámara y, de cierre a la salida. Lamentablemente, por el hecho que no se puede regular realmente el flujo del agua a través de este tipo de compuertas, ya no se diseñan en la actualidad (Carrillo, 2009). Un principio similar es el usado en el diseño de las compuertas a contrapeso.

Por otro lado, las compuertas con motor mecánico pueden ser de transmisión a través de cadenas, cables o motor óleo – hidráulico, siendo estas últimas las menos usadas por las fugas de aceite que pueden ocasionarse.

La forma de cómo se operarán las compuertas una vez instaladas es importante. Se recomienda que no se use el principio de funcionamiento automático dado que, si se presenta una avenida máxima, será difícil controlarla. Es por ello que siempre debe estar presente un técnico el cual verifique los caudales para evitar incidentes. Entre los modelos de compuertas más usados, tenemos los siguientes:

3.2.3.1. *Compuertas planas (elevación vertical).* Estas compuertas son diseñadas como un enrejado de vigas dispuestas de forma horizontal y vertical, que contienen además refuerzos o placas de acero de una losa. Estas deben tener un apoyo deslizante o con ruedas, ya sean fijas, tipo oruga o conformadas por un tren de rodillos. Entre este tipo de disposición encontramos las compuertas vagón (ruedas fijas) y Stoney (tren de rodillos) (Novak, A., & Nalluri, 2001).

Las compuertas tipo vagón obligan a construir ranuras que permitan el desplazamiento de grandes dimensiones, que es claramente un inconveniente desde el punto de vista hidráulico. Además, tienen poca impermeabilidad con el paso del tiempo y no son las adecuadas si se desea regular flujos ya que se usan solamente con bajas cargas de agua.

Figura 26. Embalse de Peñaflor, Sevilla
Fuente: Iagua, 2016.

Por otro lado, las compuertas Stoney son similares a las compuertas vagón, la única diferencia es que, para disminuir la resistencia al desplazamiento vertical, se diseñó una disposición de trenes de rodillos especiales, que consisten en tableros metálicos elevados mediante cadenas o cables, del mismo modo, evitando la fricción entre ellos.

Figura 27. Old Iwabuchi Watergate, Tokio
Fuente: Wikipedia, 2006.

3.2.3.2. *Compuertas radiales.* También llamadas Tainter, son construidas como portales con barras transversales y brazos rectos, radiales o inclinados (**Figura 28)**. Generalmente el soporte de estos elementos se encuentra aguas abajo y se diseñan con la finalidad de soportar más de 20MN (mega newtons). El eje de giro de este sector circular se ubica debajo del nivel de agua, es decir, la salida del agua se da por debajo del eje, además, una de las ventajas es su perfil hidrodinámico, no influye en el equilibrio existente y se evitan las vibraciones. Por otra parte, uno de los posibles inconvenientes, es que puede que se necesite un espacio amplio para habilitar su instalación.

3.2.3.3. *Compuertas tambor y tipo sector.* Son similares a la sección transversal de un sector circular, donde los soportes suelen ubicarse aguas arriba de acuerdo con la disposición que se muestra en la **Figura 29.** Las primeras flotan en la cara inferior del tambor mientras que las de tipo sector usualmente están encerradas solo en las superficies aguas arriba o aguas abajo.

Ambos tipos de compuertas son difíciles de instalar, requieren constante mantenimiento y especial cuidado en temporada de invierno. Por otro lado, una de sus mayores ventajas es la facilidad de automatización.

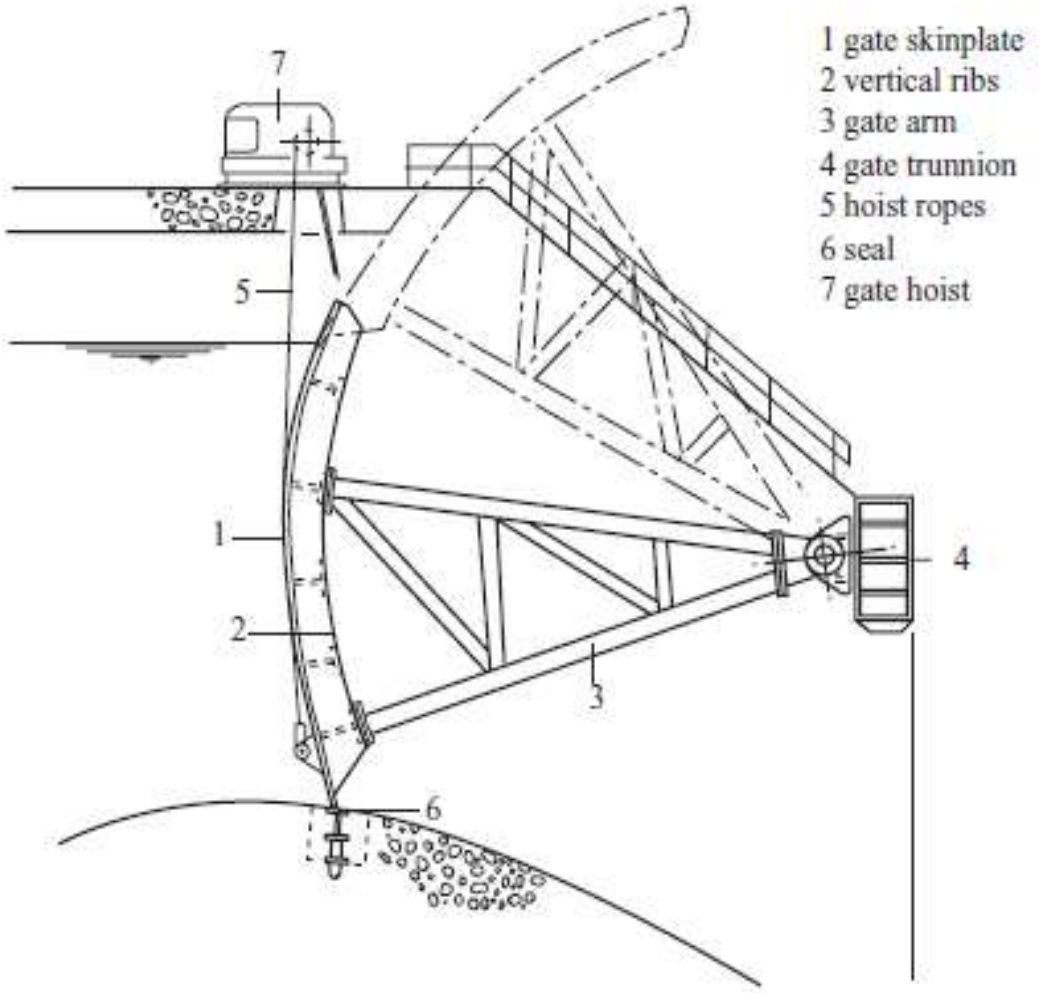


Figura 28. Partes de una compuerta radial
Fuente: Novak, 2001.

3.2.3.4. *Compuertas tipo aleta.* Con bisagras inferiores. Son el tipo de compuertas más simples y utilizadas de manera individual o junto con las compuertas planas de elevación vertical. Por sí solas pueden tener una altura de hasta seis metros y una extensión de treinta. Entre sus principales ventajas se encuentra la precisión de la regulación de nivel, rentabilidad. Sin embargo, requieren protección contra temperaturas extremas frías. **(Figura 30).**

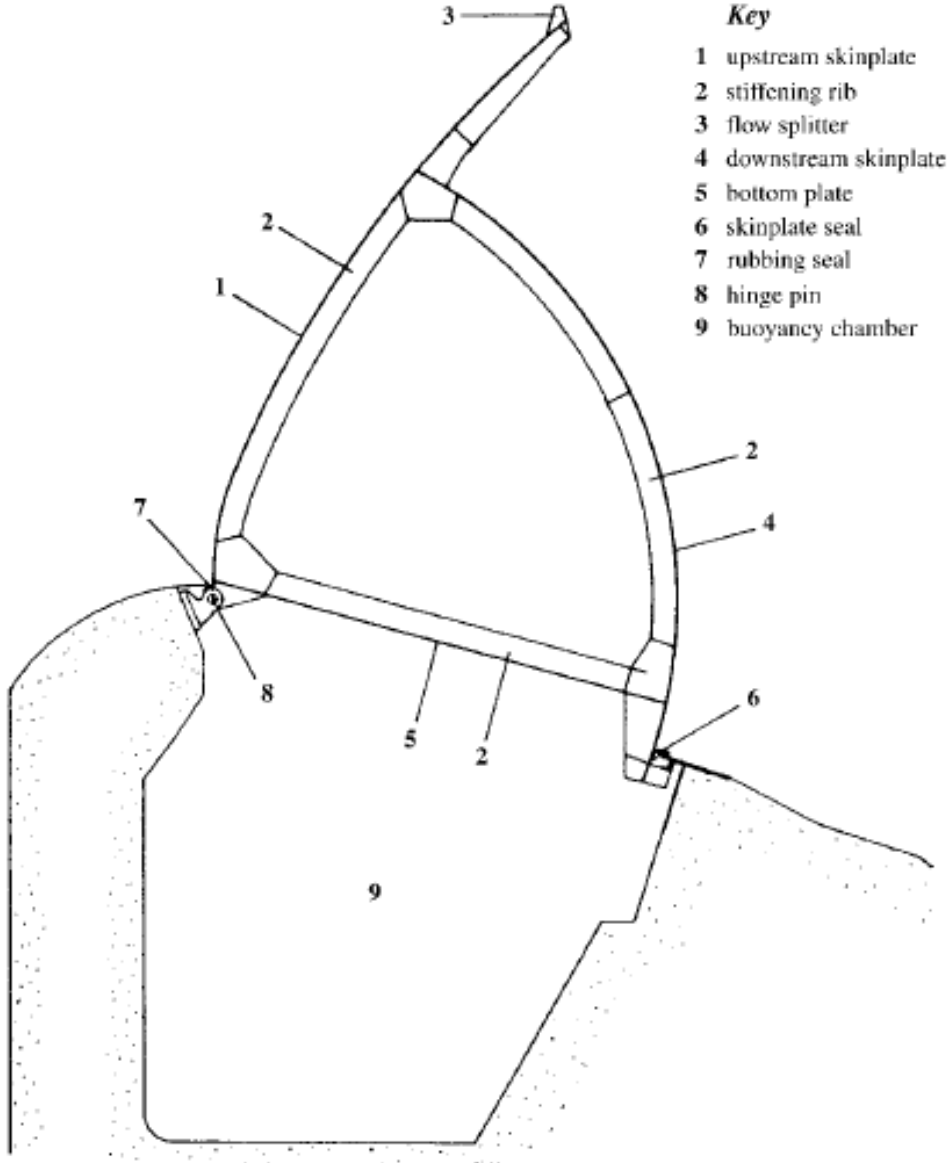


Figura 29. Partes de una compuerta tambor
Fuente: Novak, 2001.

3.2.3.5. *Compuertas tipo clapetas.* O también llamadas compuertas basculantes, formadas por un tablero articulado en su arista superior, que puede colocarse de manera horizontal dando paso al agua, usadas normalmente por izaje automático, cerrando aberturas de poca altura que se encuentran limitadas por las columnas laterales (**Figura 31**). Las clapetas pueden elevarse mecánicamente, con o sin contrapeso y otras mediante su propio peso (Blázquez, 2007).

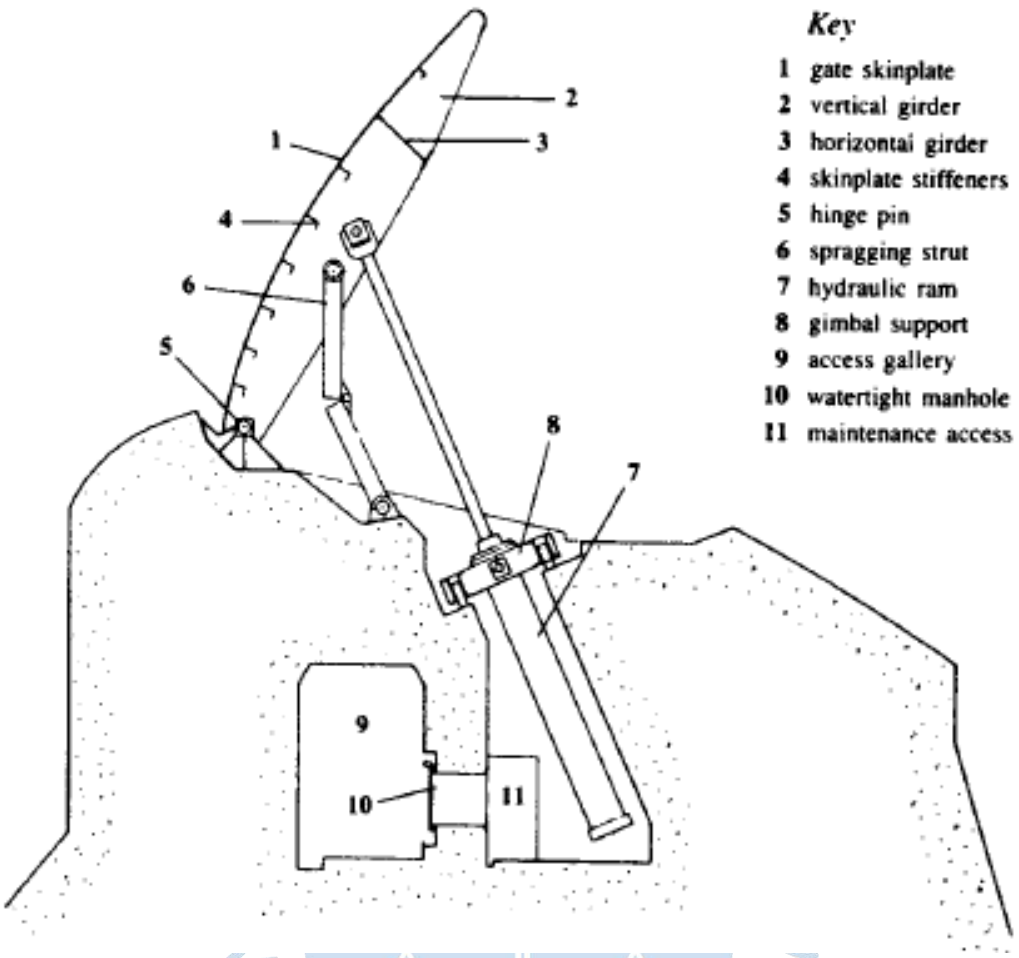


Figura 30. Partes de una compuerta tipo aleta
Fuente: Novak, 2001.

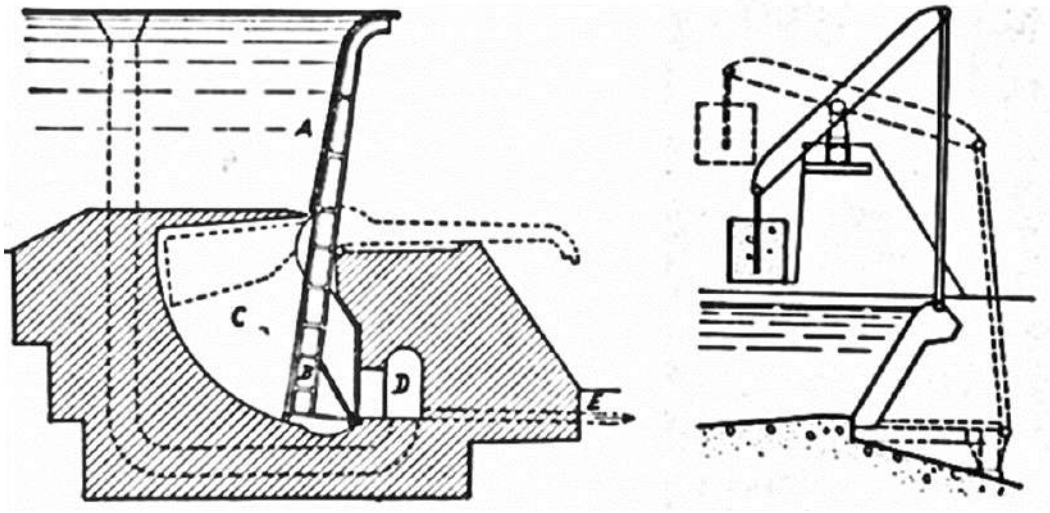


Figura 31. Compuertas tipo clapetas
Fuente: Blázquez, 2007.

Por otro lado, también podemos clasificar a las compuertas de acuerdo con las condiciones que presenta el flujo aguas abajo, que puede ser libre o sumergido (ahogado), lo cual será revisado con mayor detalle en el capítulo siguiente.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Capítulo 3
Ecuaciones: Marco teórico

1. Principios básicos

De acuerdo con lo descrito por Gilberto Sotelo en Hidráulica General (Sotelo, 2009) y Ven Te Chow en Hidráulica de Canales Abiertos (Chow, 1994), principales referencias en esta parte del capítulo, para clasificar un fluido en movimiento debemos considerar los siguientes supuestos:

- Si cada partícula perteneciente a un fluido sigue un recorrido uniforme y no se cruza en ningún momento con otra, hablamos de un flujo ideal, estacionario o laminar. En esta situación, el flujo mantiene todas sus condiciones en el tiempo.

- Si las partículas del fluido se mueven de una forma desordenada y en el trayecto se entrecruzan con otras, formando remolinos, hablamos de un flujo irregular o turbulento.

El flujo estacionario se vuelve turbulento debido a la fricción de las moléculas que constituyen los fluidos, sobre una velocidad crítica. Esta fricción, es la resistencia que presenta cada capa de fluido respecto a otra y se mide con el coeficiente de viscosidad $\boldsymbol{\eta}$. Por otro lado, dado que el comportamiento de los flujos es bastante complejo, usualmente en materia de análisis se asume un fluido incompresible (densidad constante) y estacionario (velocidad constante para cada molécula que lo conforma).

Asimismo, para el análisis de las fórmulas que citaremos a continuación, consideraremos el área de estudio como un canal abierto, de sección transversal rectangular, constante y regular con un flujo estacionario o laminar.

1.1. Ecuación de continuidad. Considerando al fluido en cuestión como homogéneo e incompresible, aplicamos el principio de conservación de la materia, donde el caudal Q ha de permanecer constante a lo largo del camino que recorre, independientemente de los cambios de forma o velocidad que se presenten, de acuerdo con la **Figura 32.**

Para un fluido que se mantiene en el estado estacionario, la cantidad de moléculas que pasan a través de la sección A_1 de la figura anterior, será la misma que pase por la sección A_1.

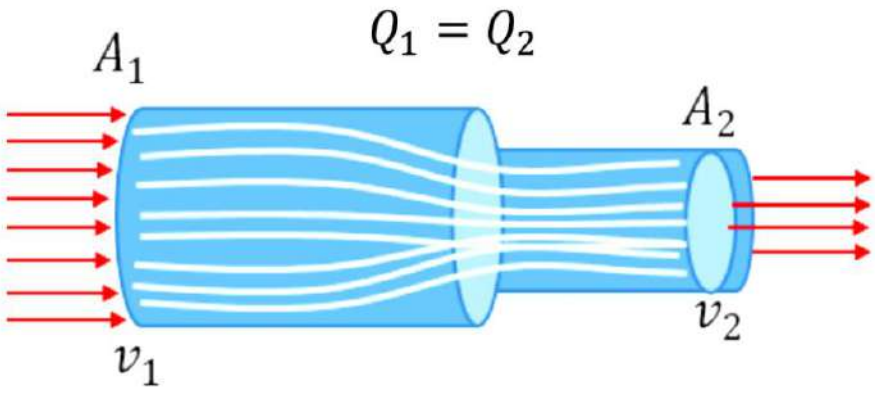


Figura 32. Representación del principio de continuidad
Fuente: Elaboración propia. (Adaptado de Sotelo, 2009)

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Y por la ecuación que describe el caudal Q:

$$Q = v.A \qquad \textbf{(Ec. 3.1)}$$

Tenemos:

$$Q_1 = Q_2$$

1.2. Ecuación de energía. En hidráulica (Chow, 1994), la energía total del agua de cualquier línea de corriente que pasa a través de una sección se expresa como la altura total en unidad de longitud de agua (pies, metros, etc.) que equivale a la suma de:

- Elevación por encima del nivel de referencia (Energía potencial =E_p)
- Altura de la presión (Presión = P)
- Altura de la velocidad (Energía cinética = E_c)

Lo descrito anteriormente se puede observar gráficamente en la **Figura 33** que se muestra a continuación:

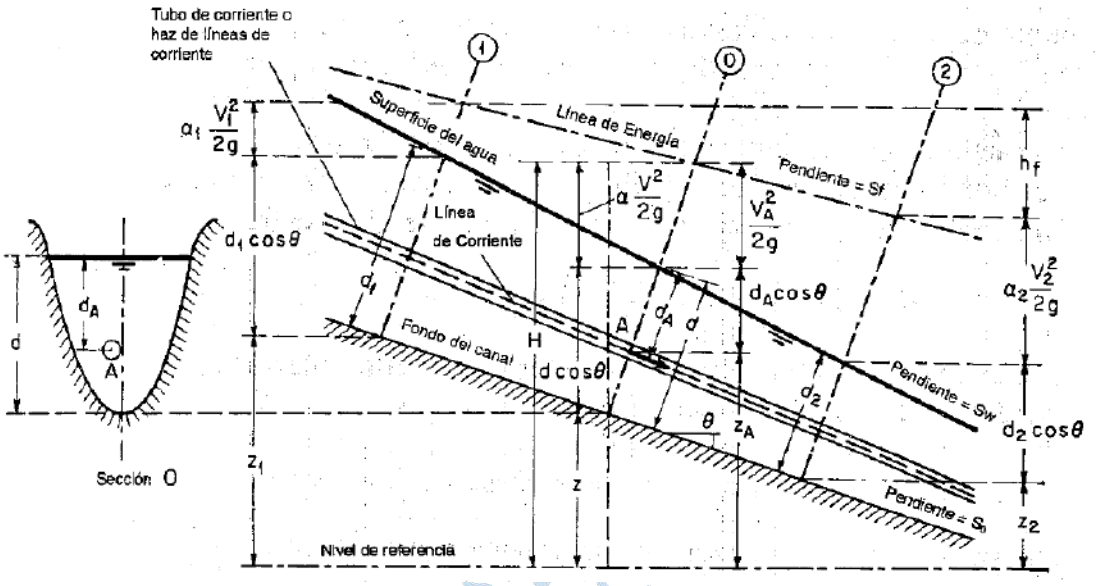


Figura 33. Energía de un flujo gradualmente variado en canales abiertos
Fuente: Chow, 1994.

1.2.1. ***Energía potencial.*** Considerando $mg=W$ unitario, $E_p = h$, que, en el caso de la figura de la referencia, consideramos z.

$$E_p = mgh = wh \qquad \textbf{(Ec. 3.2)}$$

1.2.2. ***Presión.*** El principio fundamental de la hidrostática define a la presión en un punto cualquiera al interior de un fluido, como un valor directamente proporcional a su densidad, la profundidad a la que se encuentra y la gravedad (Chow, 1994).

$$P = \rho . g . h \qquad \textbf{(Ec. 3.3)}$$

O también:

$$P = \gamma . h \qquad \textbf{(Ec. 3.4)}$$

Despejando h:

$$h = {}^{P}/_{\gamma} \qquad \textbf{(Ec. 3.5)}$$

1.2.3. ***Energía cinética.*** Tenemos:

$$E_c = \frac{1}{2} m . v^2 \qquad \textbf{(Ec. 3.6)}$$

El peso: $W=mg$ y despejando la masa, $m=W/g$. considerando el peso unitario, y reemplazando en la **Ecuación 3.6** para simplificar, tenemos:

$$E_c = \frac{v^2}{2g} \qquad \textbf{(Ec. 3.7)}$$

Ahora bien, uniendo todas las expresiones, obtenemos la **Ecuación general de la energía:**

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}} \qquad \textbf{(Ec. 3.8)}$$

Donde $h_{f_{1-2}}$ representa las pérdidas sufridas en el recorrido de la sección 1 a la sección 2.

Considerando a α como el Coeficiente de Coriolis que corrige la velocidad. Ahora bien, con el principio de continuidad:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \qquad \textbf{(Ec. 3.9)}$$

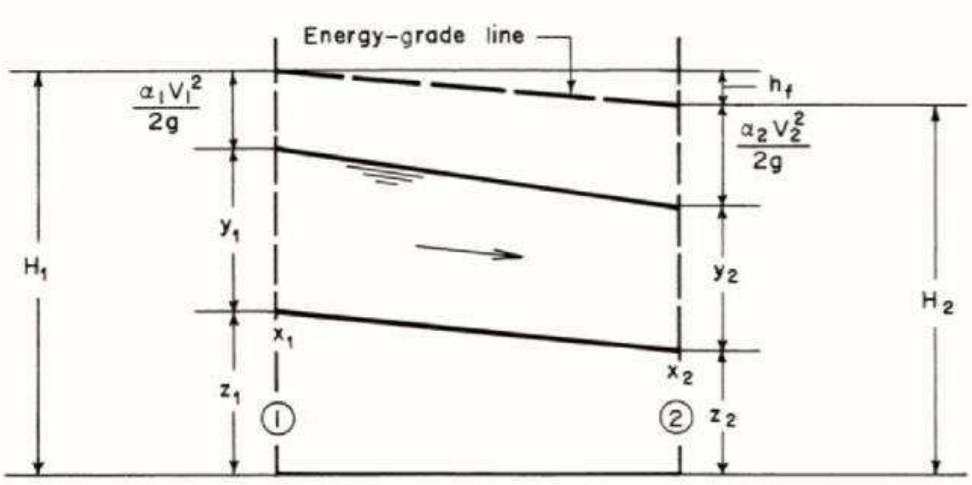


Figura 34. Línea de energía
Fuente: Chow, 1994.

A la suma de los términos anteriores en cada lado de la igualdad, se le conoce como la carga de energía total *H* para la sección 1 y para la sección 2. Por otro lado, simplificando esa expresión en función a la altura piezométrica ($h = z + {}^{\rho}/_{\gamma}$), obtenemos:

$$\frac{h_2-h_1}{V_1^2/2g} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \qquad \textbf{(Ec. 3.10)}$$

$$\frac{h_2-h_1}{V_1^2/2g} = \frac{\Delta h}{V_1^2/2g} \qquad \textbf{(Ec. 3.11)}$$

En ese sentido, a partir de la **Ecuación 3.11** podemos determinar una fórmula para calcular el coeficiente de descarga, que generalmente se encuentra en función de las propiedades geométricas y la rugosidad del contorno del flujo y el número de Froude *Fr* que veremos en el numeral siguiente, cuando hablamos de flujos en superficie libre donde este valor es pequeño.

Ahora bien, tomando el lado derecho de la igualdad mostrada en la **Ecuación 3.11**, la invertimos y luego elevamos a un medio, obtenemos la ecuación del coeficiente de descarga (considerando $q = V_1 L$, donde L es la longitud característica del borde del flujo):

$$C_q = \frac{V_1}{\sqrt{2g\Delta h}} = \frac{q}{L\sqrt{2g\Delta h}} \qquad \textbf{(Ec. 3.12)}$$

En el **segundo numeral** del presente capítulo, se profundizará acerca de los demás coeficientes de gasto.

1.3. Tipos de flujo. Para determinar el tipo de flujo, nos serviremos del número de Froude, que es un valor adimensional que relaciona los efectos de la inercia y la gravedad presentes en un fluido, de manera adimensional, lo que también será útil para el cálculo del resalto hidráulico y en el diseño, análisis y estudio de las estructuras hidráulicas materia de esta tesis. En el caso de secciones rectangulares (Sotelo, 2009), tenemos:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} \qquad \textbf{(Ec. 3.13)}$$

Donde *v* es la velocidad del flujo en la sección (*m/s*), *g* la gravedad y *y* un parámetro de longitud que también puede ser reemplazado por L_c, longitud característica (*m*).

De acuerdo con los valores del número de Froude, clasificaremos al flujo como:

- **Flujo subcrítico (Fr<1)**: caracterizado por una velocidad baja y gran profundidad. Predomina la energía potencial y corresponde a un régimen llano/plano.

- **Flujo crítico (Fr=1)**: punto de transición entre el flujo subcrítico y el supercrítico. Estado teórico.

- **Flujo supercrítico (Fr>1)**: alta velocidad y poca profundidad. Predomina la energía cinética y es propio de los cauces de pendiente alta.

Dado que, en el presente análisis, se tomará en cuenta la presencia de compuertas que implica un cambio o perturbación en el flujo de estudio, podrían producirse ondas. Cuando hablamos de un flujo laminar o estacionario, se toma a la superficie libre como una onda permanente; por otro lado, si hablamos de un flujo crítico, las diversas fuentes de perturbación influyen en las condiciones del flujo ya sea aguas arriba o aguas abajo.

Para poder determinar esta influencia en forma de velocidad de propagación de la onda, se considera en función a la velocidad del flujo. A partir de ello, las condiciones de control de flujo se describen de la siguiente manera (Sotelo, 2009):

- **Flujo subcrítico ($V < V_c$ ó $y > y_c$)**: controlado aguas abajo.

- **Flujo supercrítico ($V > V_c$ ó $y < y_c$):** controlado aguas arriba.

Donde V_c es la velocidad crítica y en su sección transversal se define como:

$$V_c = \sqrt{g\frac{A}{B}} \qquad \textbf{(Ec. 3.14)}$$

Para *A* el área de la sección, *g* la gravedad y *B* el ancho y y_c es la profundidad crítica es la relación entre el área mojada A_c y el ancho de la superficie *B.* Para más detalle, se muestra la **Figura 35.**

$$y_c = {A_c}/{B} \qquad \textbf{(Ec. 3.15)}$$

1.4. Salto hidráulico. Un salto hidráulico se produce cuando se unen dos tipos de flujo distintos, uno que llega supercrítico y otro que sale subcrítico (Peterka, 1984).

Si consideramos un embalse cuya sección se muestra a continuación y el flujo es almacenado hasta alcanzar una profundidad específica aguas abajo, una onda de sumersión empezará a desplazarse hacia aguas arriba. Es a partir de ello que se produce el denominado

salto hidráulico (**Figura 36)**, cuando la velocidad de sumersión de la onda sea igual a la velocidad del flujo supercrítico.

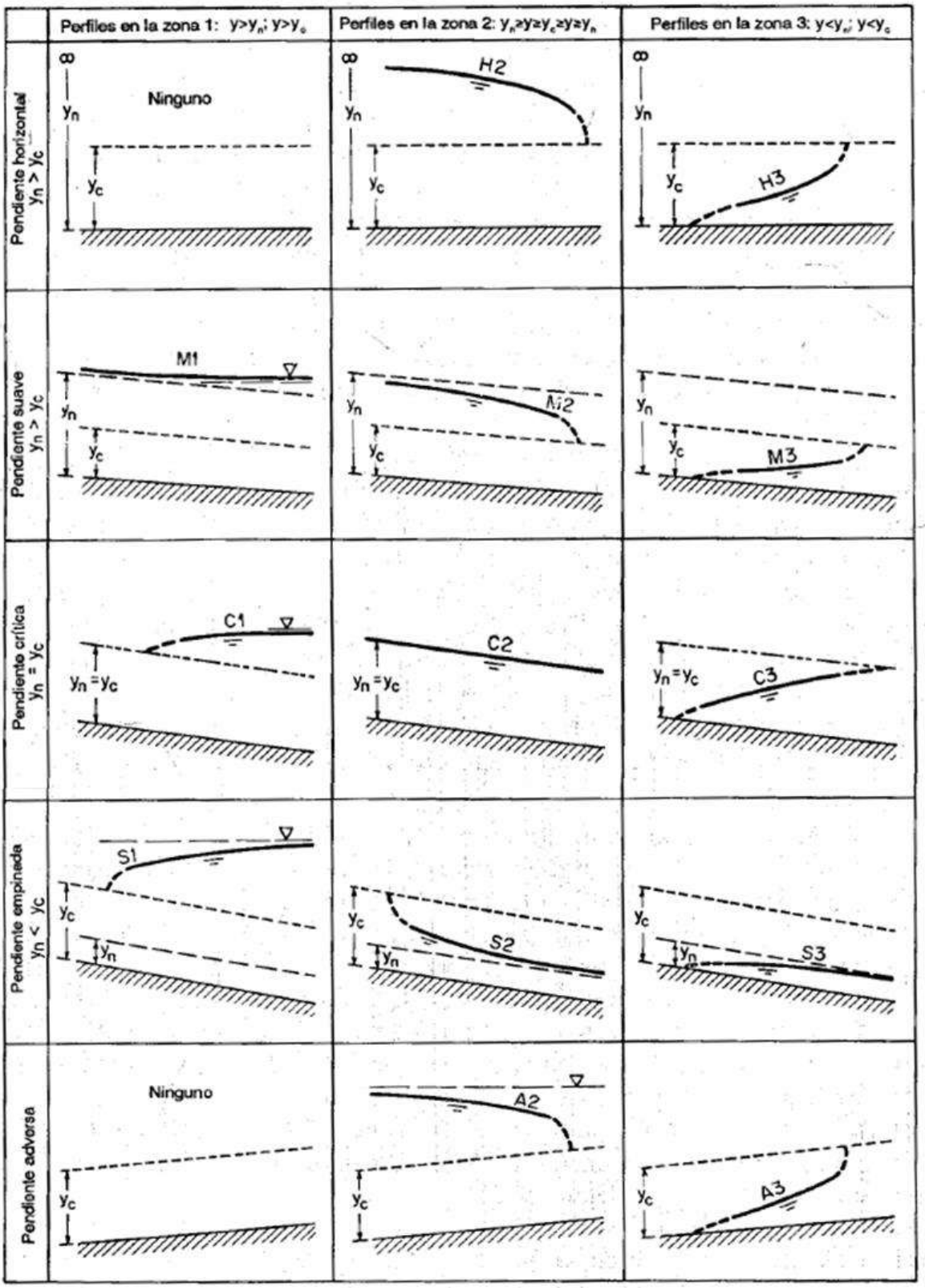


Figura 35. Tipos de perfiles de flujo para flujo gradualmente variado.
Fuente: Chow, 1994.

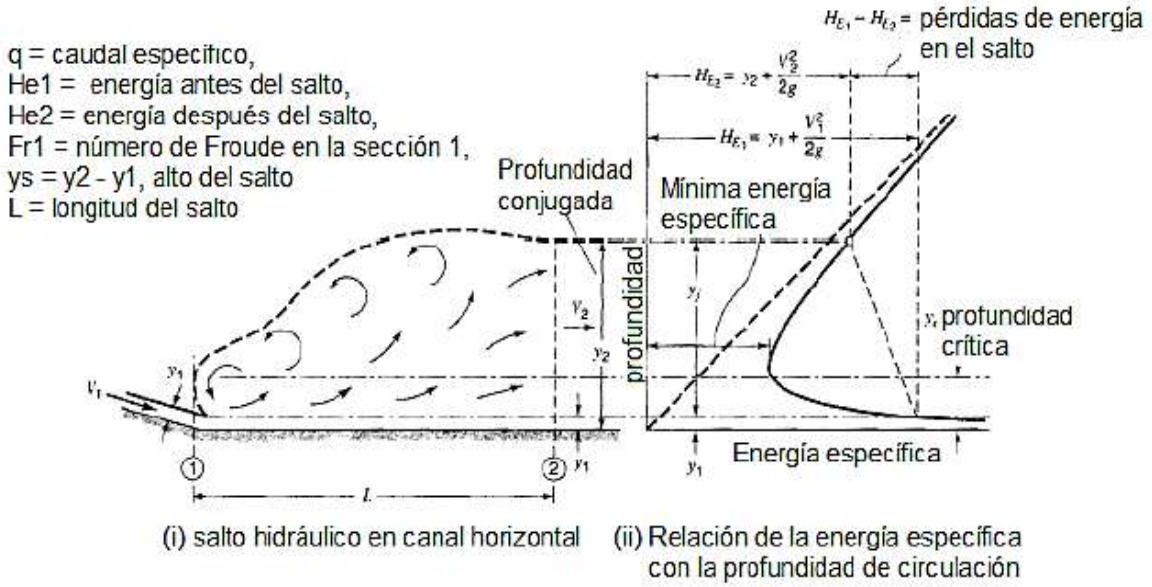


Figura 36. Características del salto hidráulico.
Fuente: Peterka, 1984.

La sección en la que se produce el salto deberá cumplir con la siguiente ecuación:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{8F_{r_1}^2 + 1} - 1\right] \qquad \textbf{(Ec. 3.16)}$$

Donde:

y_1: profundidad de circulación en la sección inicial del salto.

y_2 : profundidad de circulación después del salto (conjugada de y_1).

Fr: número de Froude en la sección inicial del salto, según la **Ecuación 3.13.**

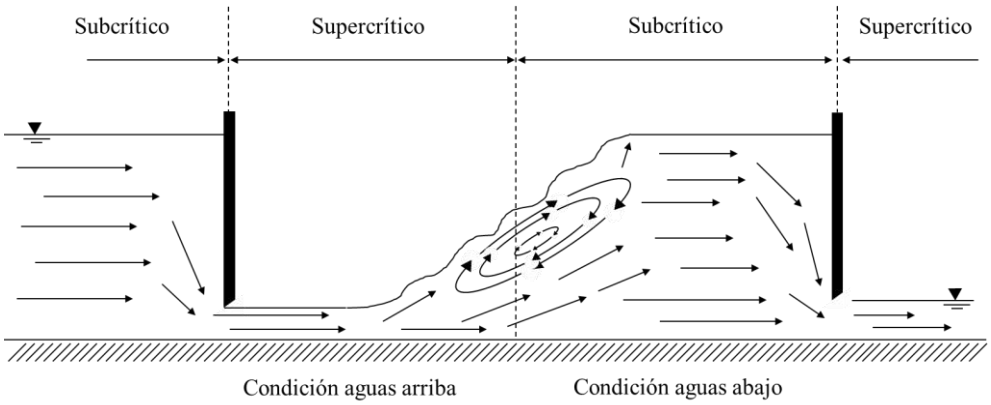


Figura 37. Salto hidráulico
Fuente: Elaboración propia. (Adaptado de Sotelo, 2002).

1.4.1. ***Longitud del salto hidráulico.*** El cálculo de este dato es muy debatido por los estudiosos debido a que aún no se llega a un consenso para definir en dónde termina. Lo más usado es definir la longitud del salto (L_s) la distancia horizontal que abarca desde la entrada hasta donde se encuentre la altura conjugada.

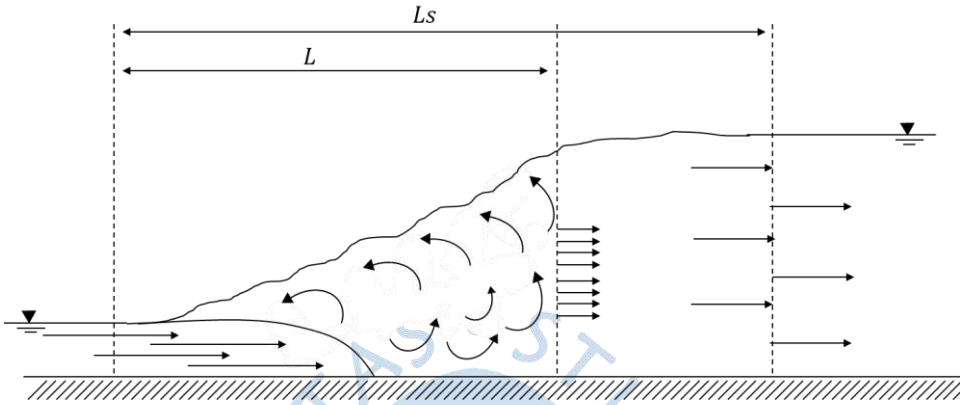
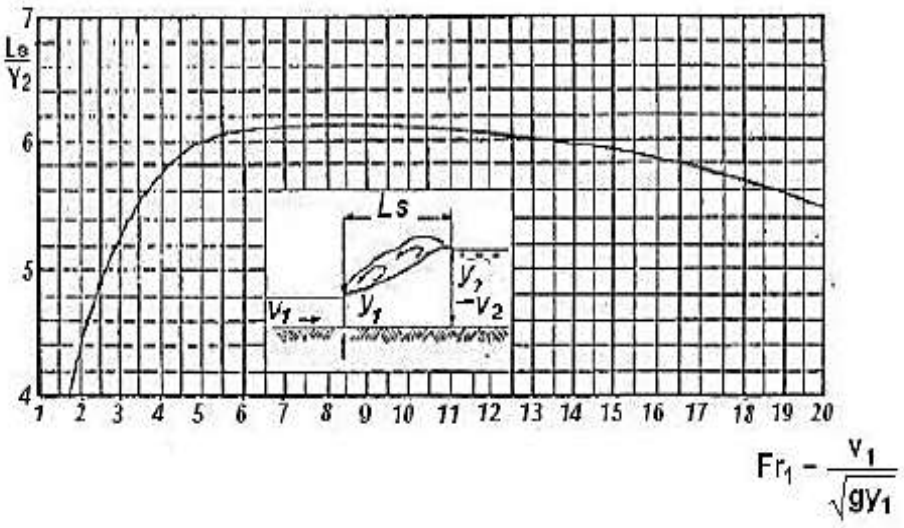


Figura 38. Longitud del salto hidráulico
Fuente: Elaboración propia. (Adaptado de Sotelo, 2002).

De acuerdo con la bibliografía revisada (Chow, 1994), podemos determinar la longitud del salto a partir de las ecuaciones detalladas a continuación y haciendo uso de la **Figura 39** y **40**.

- $L_s = 6(y_2 - y_1)$
- $L_s = 5.9 y_1 F_{r_1}$
- $L_s = 8.3 y_1 (F_{r_1} - 1)$
- $L_s = 10.3 y_1 (F_{r_1} - 1)^{0.81}$



- **Figura 39.** Longitud del salto hidráulico en función de y_2
- **Fuente:** Chow, 1994.

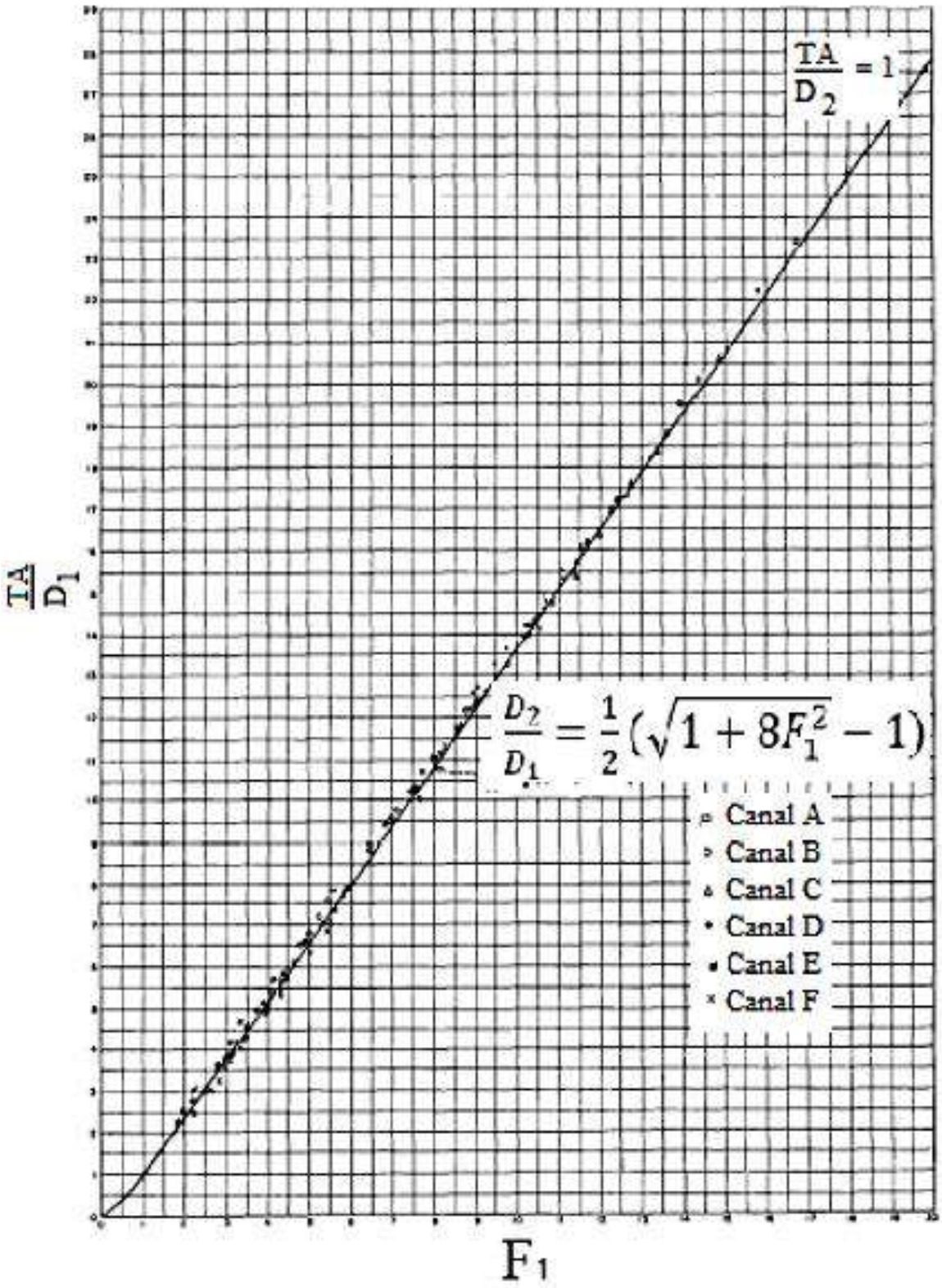


Figura 40. Longitud del salto en función de D2 y D1 (y_2 & y_1).
Fuente: Peterka, 1984.

1.4.2. ***Posición del salto hidráulico.*** Para determinar las posiciones en las cuales aparece el salto hidráulico, es necesario diferenciar con precisión los diferentes tirantes. Mientras y_2 es el tirante conjugado de y_1, y_3 es el tirante que aparece impuesto por las condiciones de circulación aguas abajo del salto, característica del flujo subcrítico.

El primer caso, se presenta cuando $y_2 = y_3$, inmediatamente saliendo de la compuerta. El segundo, ocurre cuando y_3 es menor a y_2 a partir de lo que el salto se traslada aguas abajo hasta un punto en el cual las dos curvas superficiales tengan profundidades conjugadas (Pardo, 2018) de manera que la **Ecuación 3.16** se cumpla. Es recomendable evitar que ocurra esta situación ya que la posición del salto es altamente inestable.

Finalmente, el tercer caso se produce cuando $y_3 > y_2$ produciendo un salto ahogado o sumergido.

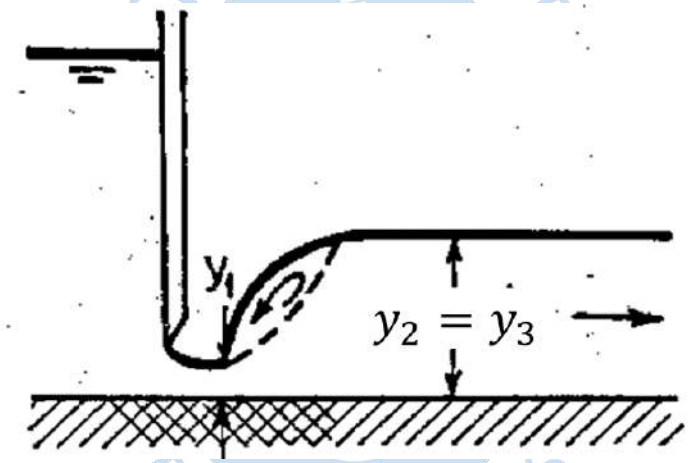


Figura 41. Posición del salto hidráulico (Caso 1)
Fuente: Chow, 1994.

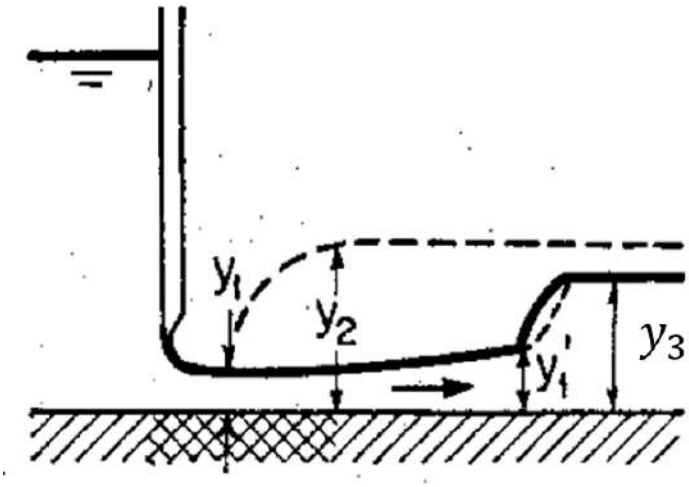


Figura 42. Posición del salto hidráulico (Caso 2)
Fuente: Chow, 1994.

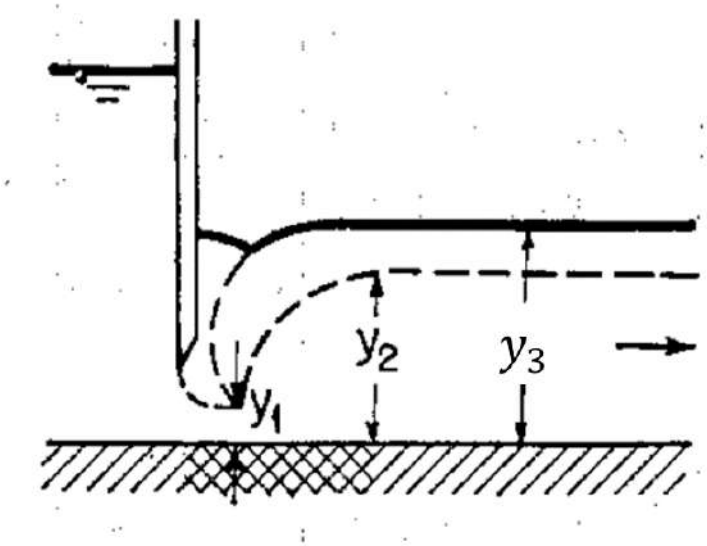


Figura 43. Posición del salto hidráulico (Caso 3)
Fuente: Chow, 1994.

2. Coeficientes de gasto

La estructura que conforma la Presa Los Ejidos está conformada por un vertedero libre y uno de compuertas tal como se detallará en el Capítulo IV, para lo cual se necesitará conocer las ecuaciones básicas referentes a dichas estructuras.

Según lo descrito en el numeral 3.1, podemos encontrar vertederos de pared delgada o de pared gruesa. A continuación, se precisarán las ecuaciones que describen el flujo y que corresponden a ambos tipos, a fin de determinar en qué caso nos encontramos para los cálculos a realizar.

2.1. Ecuación general del gasto. Las expresiones analizadas en el **numeral 1.2** del presente capítulo, a partir de la **Ecuación 3.12** podemos obtener las expresiones de los coeficientes de gasto. La teoría a continuación está basada en el libro de Hidráulica General de Gilberto Sotelo Ávila, 2009.

2.1.1. *Vertederos*

2.1.1.1. *Vertederos de pared delgada.* Considerando un vertedor de pared delgada y sección como se muestra a continuación, con altura de cresta w, distancia entre la cresta y el vertedor h y velocidad V_1, (Sotelo, 2009) tenemos:

$$H = h + \frac{V_1^2}{2g} \qquad \textbf{(Ec. 3.17)}$$

Cuando *w* sea muy grande, el segundo término es despreciable y *H=h*. Por otro lado, aplicando el principio de Bernoulli para el tramo ubicado entre los puntos 1 y 2 de la figura a continuación, tenemos:

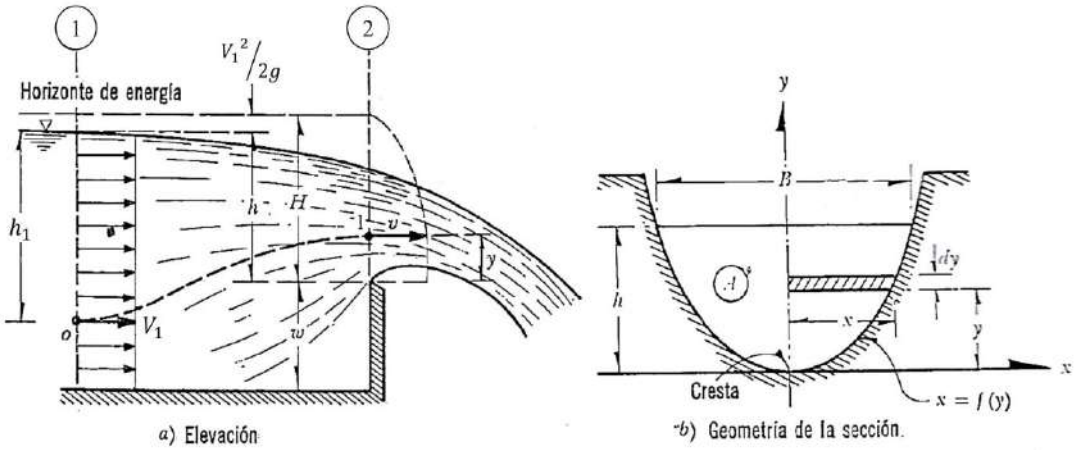


Figura 44. Forma general de vertederos de pared delgada.
Fuente: Sotelo, 2009.

$$h + \frac{V_1^2}{2g} = h_0 - h + y + \frac{V_2{}^2}{2g} \qquad \textbf{(Ec. 3.18)}$$

Simplificando:

$$H = h + \frac{V_1^2}{2g} = y + \frac{V_2{}^2}{2g} \qquad \textbf{(Ec. 3.19)}$$

En el caso que w sea muy grande, eliminando el término v_1, tenemos:

$$v = \sqrt{2g(h-y)} \qquad \textbf{(Ec. 3.20)}$$

Generalizando, para *x* e *y* de la **Figura 44**, donde *x=f(y)* el gasto a través del área de la figura sería:

$$dQ = 2\sqrt{2g}.\mu.x.\sqrt{h-y}.dy \qquad \textbf{(Ec. 3.21)}$$

Donde el coeficiente μ considera el efecto de contracción de la lámina vertiente. Por otro lado, integrando tenemos:

$$Q = 2\sqrt{2g}.\mu \int x.\sqrt{h-y}.dy \qquad \textbf{(Ec. 3.22)}$$

Una vez determinada la forma del vertedor, es posible resolver la integral. Para fines didácticos, tomaremos el ejemplo de un vertedor de pared delgada de tipo rectangular.

Para x=f(y), x=b/2. Reemplazando en la integral, obtenemos la Ecuación de Poleni, usada para llevar a cabo el cálculo hidráulico del caudal en el caso del vertedero libre con flujo no sumergido:

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}.\mu.b.h^{3/2} \qquad \textbf{(Ec. 3.23)}$$

Y agrupando las constantes bajo un solo coeficiente *C*, obtenemos:

$$Q = C.b.h^{3/2} \qquad \textbf{(Ec 3.24)}$$

Donde el coeficiente *C* puede ser hallado a partir de la **Ecuación 3.25**:

$$C = \frac{2}{3}\sqrt{2g}.\mu \qquad \textbf{(Ec. 3.25)}$$

2.1.1.2. *Vertederos de pared gruesa*. Observemos la **Figura 45:**

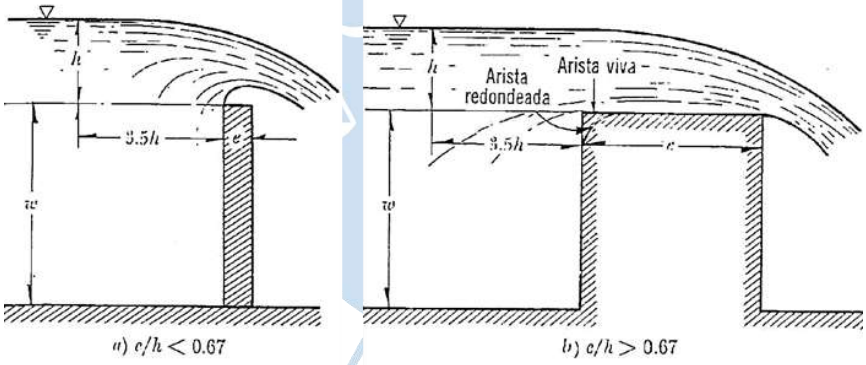


Figura 45. Vertederos rectangulares de pared gruesa
Fuente: Sotelo, 2009.

Cuando *e/h* < 0.67, el chorro de agua se separa de la cresta y el comportamiento es similar a cuando tenemos un vertedero de pared delgada, sin embargo, cuando esta relación es mayor a 0.67 significa que la lámina de agua se adhiere a la cresta del vertedor, por lo que las ecuaciones usadas en primer lugar son diferentes (Sotelo, 2009).

Para el caso que *e/h* > 0.67 y se trate de una sección rectangular, la ecuación a aplicar es la siguiente:

$$Q = \varepsilon_2\, C\, b\, h^{3/2} \qquad \textbf{(Ec. 3.26)}$$

Donde C es el mismo coeficiente enunciado en el análisis de los vertederos de pared delgada, el coeficiente ε_2 depende de la relación e/h cuando esta sea menor o igual a 3:

$$\varepsilon_2 = 0.7 + \frac{0.185}{e/h} \qquad \textbf{(Ec 3.27)}$$

Si 3 < *e/h* < 10, el coeficiente se determina:

$$\varepsilon_2 = 0.75 + \frac{0.1}{e/h} \qquad \textbf{(Ec. 3.28)}$$

En ambos casos, el cálculo del coeficiente es válido para descarga libre.

2.1.2. ***Compuertas.*** Como ya fue mencionado en el capítulo anterior, estructuras como las compuertas consisten en placas móviles ya sean planas o curvas, que al momento de levantase hacen posible controlar la descarga que se produce a través de la abertura que originan. Esta abertura normalmente está ubicada entre el piso de la estructura y el borde inferior de la compuerta (Sotelo, 2009).

Para enunciar la ecuación de gasto para este tipo de estructuras, partiremos desde la forma más general con compuertas planas:

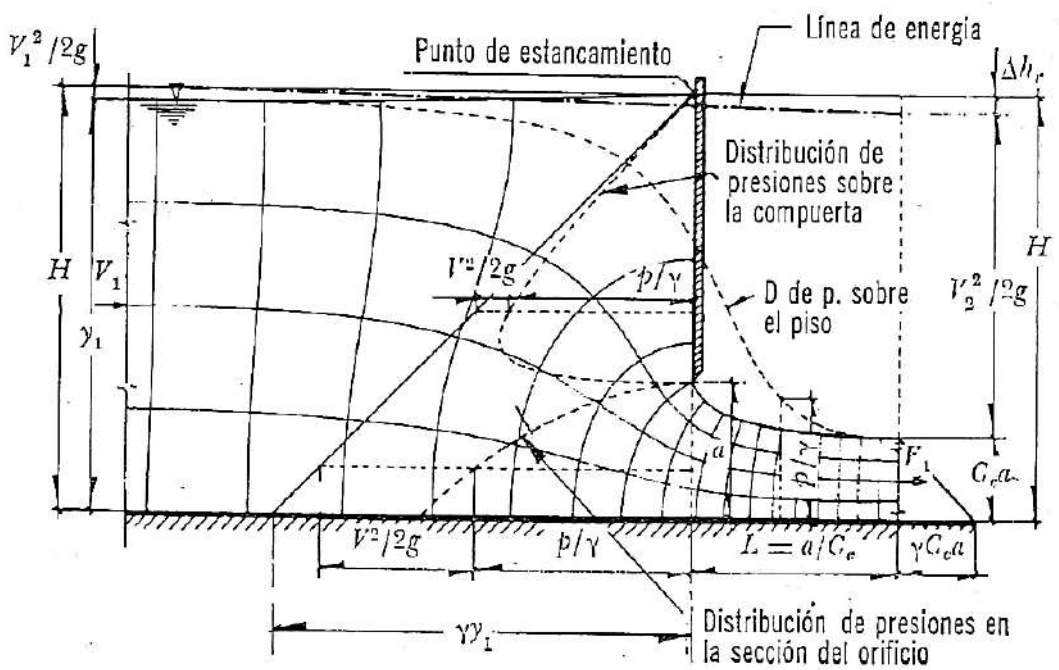


Figura 46. Red de flujo en compuertas planas
Fuente: Sotelo, 2009.

$$H = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = C_C.a + \frac{V_2{}^2}{2g} + \Delta h_r \qquad \textbf{(Ec. 3.29)}$$

Y de la ecuación de continuidad:

$$V_1 = \frac{C_c\, a}{y_1}\, V_2 \qquad \textbf{(Ec. 3.30)}$$

Ahora, sustituyendo en la expresión anterior **(Ec. 3.29),** obtenemos:

$$y_1 + \left(\frac{C_c\, a}{y_1}\right)^2 \frac{{V_2}^2}{2g} = C_c\, a + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{y_1 - C_c\, a}{1 - \left(\frac{C_c\, a}{y_1}\right)^2} = \frac{\left(1 - \frac{C_c\, a}{y_1}\right) y_1}{\left(1 + \frac{C_c\, a}{y_1}\right)\left(1 - \frac{C_c\, a}{y_1}\right)}$$

Por lo cual, la velocidad media en la sección que se contrae es:

$$V_2 = \frac{C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c\, a}{y_1}}} \sqrt{2 g y_1} \qquad \textbf{(Ec. 3.31)}$$

Para las compuertas, el coeficiente de contracción C_c depende de la abertura relativa, es decir, tomando en cuenta la **Figura 49,** sería ${}^{s}/_{y_1} = {}^{a}/_{y_1}$ (suponiendo las condiciones de flujo ideal que se consideraron al inicio).

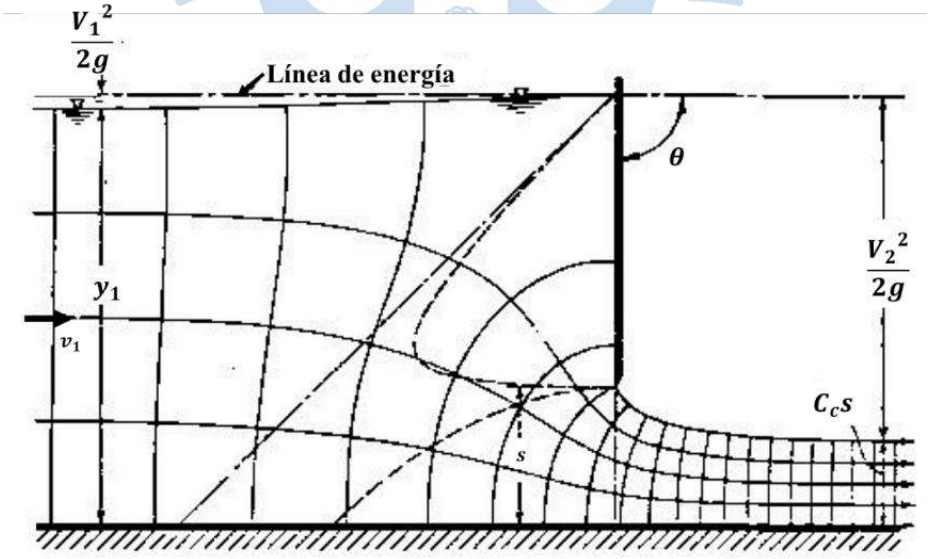


Figura 47. Distribución de presiones en la sección de salida de un flujo libre bajo una compuerta
Fuente: Zamora, 2004.

Asimismo, C_v es el coeficiente de velocidad, donde el caudal es:

$$Q = \frac{C_c\, C_v\, b\, a}{\sqrt{1 + \frac{C_c\, a}{y_1}}} \sqrt{2 g y_1}$$

$$Q = C_d\, b\, a \sqrt{2 g y_1} \qquad \textbf{(Ec. 3.32)}$$

Entonces:

$$C_d = \frac{C_c\, C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c\, a}{y_1}}} \qquad \textbf{(Ec. 3.33)}$$

Los coeficientes de velocidad, contracción y gasto han sido obtenidos experimentalmente; no obstante, en ningún caso los resultados obtenidos por diferentes investigadores coinciden.

Los coeficientes anteriormente mencionados C_c ; C_v y C_d dependen de la geometría del flujo y del tipo de flujo (laminar o turbulento). De acuerdo con Gentilini **(Figura 48)**, podemos observar a continuación la relación entre los coeficientes de gasto C_d y la relación y_1/a.

Este gráfico incluye el caso de la compuerta plana totalmente vertical (90°) que fue estudiado por muchos investigadores, entre ellos, Knapp (Sotelo, 2009) propuso una ecuación para calcular el coeficiente de velocidad en compuertas verticales con descarga libre en función de a/y_1 .

$$C_v = 0.96 + 0.0979 \frac{a}{y_1} \qquad \textbf{(Ec. 3.34)}$$

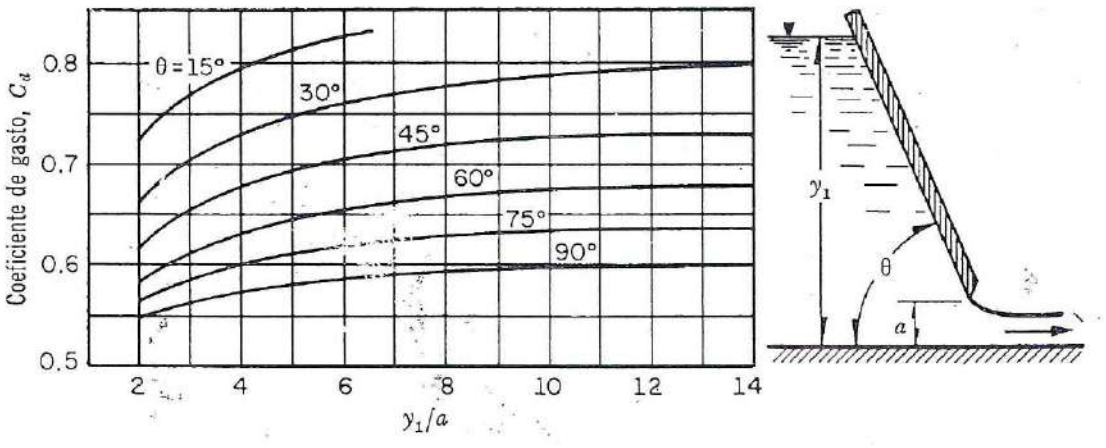


Figura 48. Coeficientes de gasto para compuertas inclinadas con descarga libre
Fuente: Sotelo, 2009.

De acuerdo con la figura siguiente, podemos establecer las variables de las que depende el valor del Coeficiente de descarga:

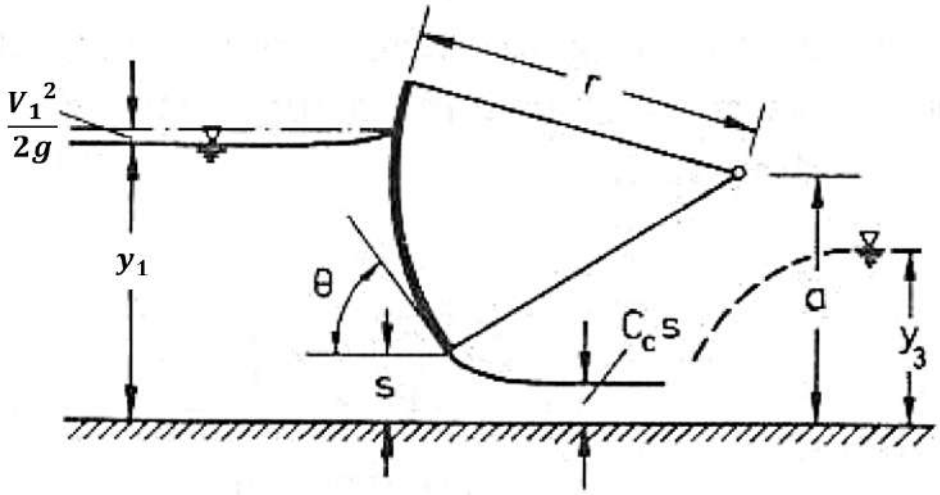


Figura 49. Flujo bajo compuerta radial
Fuente: Zamora, 2004.

$$C_d = f\left(\frac{s}{y_1}, \frac{y_1}{r}, \frac{a}{r}\right)$$

Por otro lado, para compuertas radiales Knapp encontró una relación semejante en función del ángulo de inclinación θ, de la tangente del labio inferior de la compuerta como se observa en la **Figura 50**:

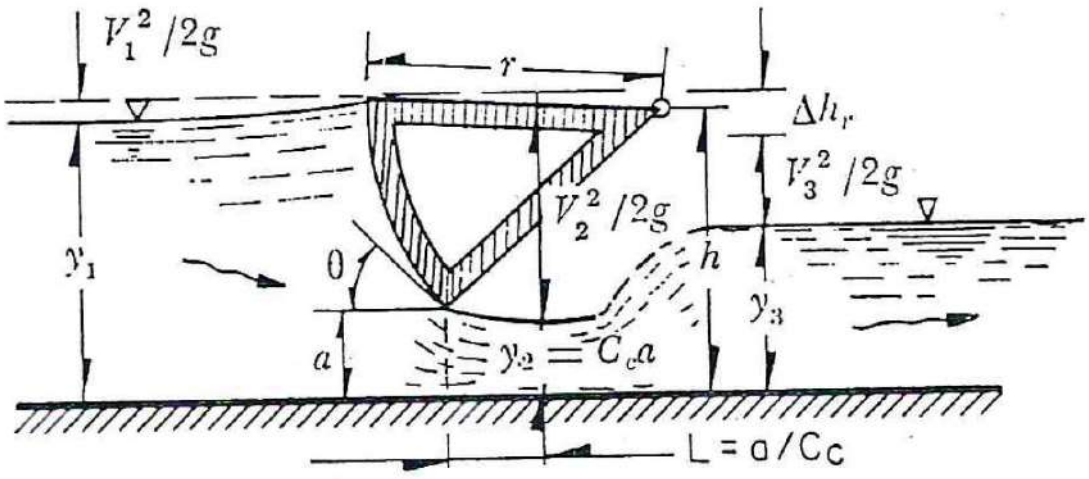


Figura 50. Compuertas radiales
Fuente: Sotelo, 2009.

La expresión es:

$$C_v = 0.96 + (0.001615\theta - 0.0475)\frac{a}{y_1} \qquad \textbf{(Ec. 3.35)}$$

Donde C_v tiene como límite superior 1, la expresión alcanza valores bastante aproximados en compuertas planas e inclinadas con el mismo ángulo.

Asimismo, en la figura siguiente se pueden identificar los valores del coeficiente de gasto obtenidos por Gentilini para compuertas radiales con descarga libre a partir de la relación entre el ángulo θ y la relación y_1/a.

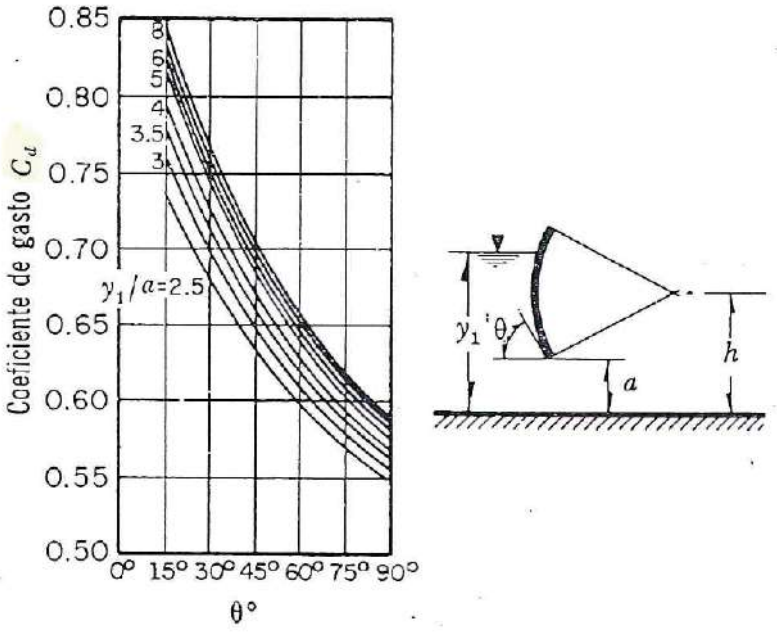


Figura 51. Coeficientes de gasto en compuertas radiales con descarga libre según Gentilini
Fuente: Sotelo, 2009.

Ahora bien, con los valores de C_v , y C_d se puede obtener el valor de C_c para cualquiera que sea la condición de funcionamiento siempre y cuando la descarga sea sumergida. Si bien nos basamos en Knapp para obtener las expresiones anteriores, los resultados de su ecuación para calcular C_c no han sido comprobados experimentalmente (Sotelo, 2009). No obstante, Henderson propuso una ecuación, determinada de forma empírica para calcular este coeficiente:

$$C_c = 1 - 0.00833\theta + 0.0000445\theta^2 \qquad \textbf{(Ec. 3.36)}$$

Por otro lado, según Toch, podemos obtener el valor del Coeficiente de descarga C_d a partir de las relaciones entre $^{y_1}/_{a}$, $^{a}/_{r}$, $^{y_3}/_{r}$ para cada valor de $^{h}/_{r}$, válido para descarga libre y sumergida donde consideramos a h como la altura del perno de la compuerta. Cabe resaltar que estos valores pueden ser aplicados en la **Ecuación 3.32.**

Sin embargo, para calcular el coeficiente de contracción, podemos usar la **Ecuación 3.35,** teniendo en cuenta que:

$$\cos\theta = \frac{h}{r} - \frac{a}{r} \qquad \text{y} \qquad \frac{a}{y_1} = \frac{^{a}/_{r}}{^{y_1}/_{r}}$$

Del mismo modo, los parámetros en los que se basa la **Figura 52** se aproximan bastante a los casos prácticos, ya sea que nos encontremos en una situación de descarga libre o sumergida.

Ahora bien, según el estudio realizado por Class-Salzgitter (2001), para determinar el valor de μ (ó Cd; Cq = coeficiente de gasto) podemos hacer uso de las ecuaciones descritas anteriormente; sin embargo, en el caso que consideremos la influencia aguas abajo del flujo (canal de limpia) se hará uso de la **Figura 52 y 54.**

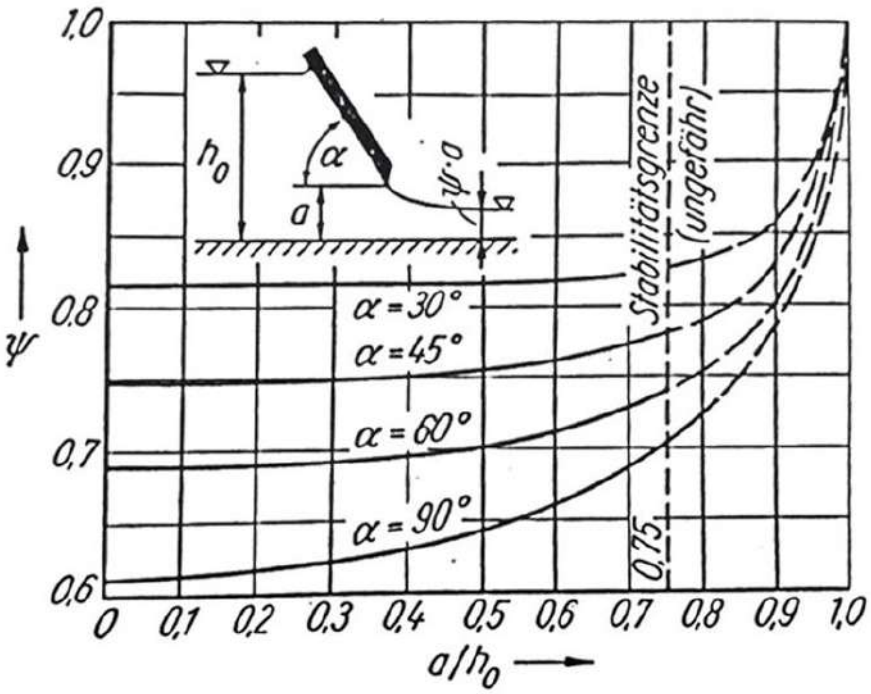


Figura 52. Límite de estabilidad
Fuente: Class-Salzgitter, 2001.

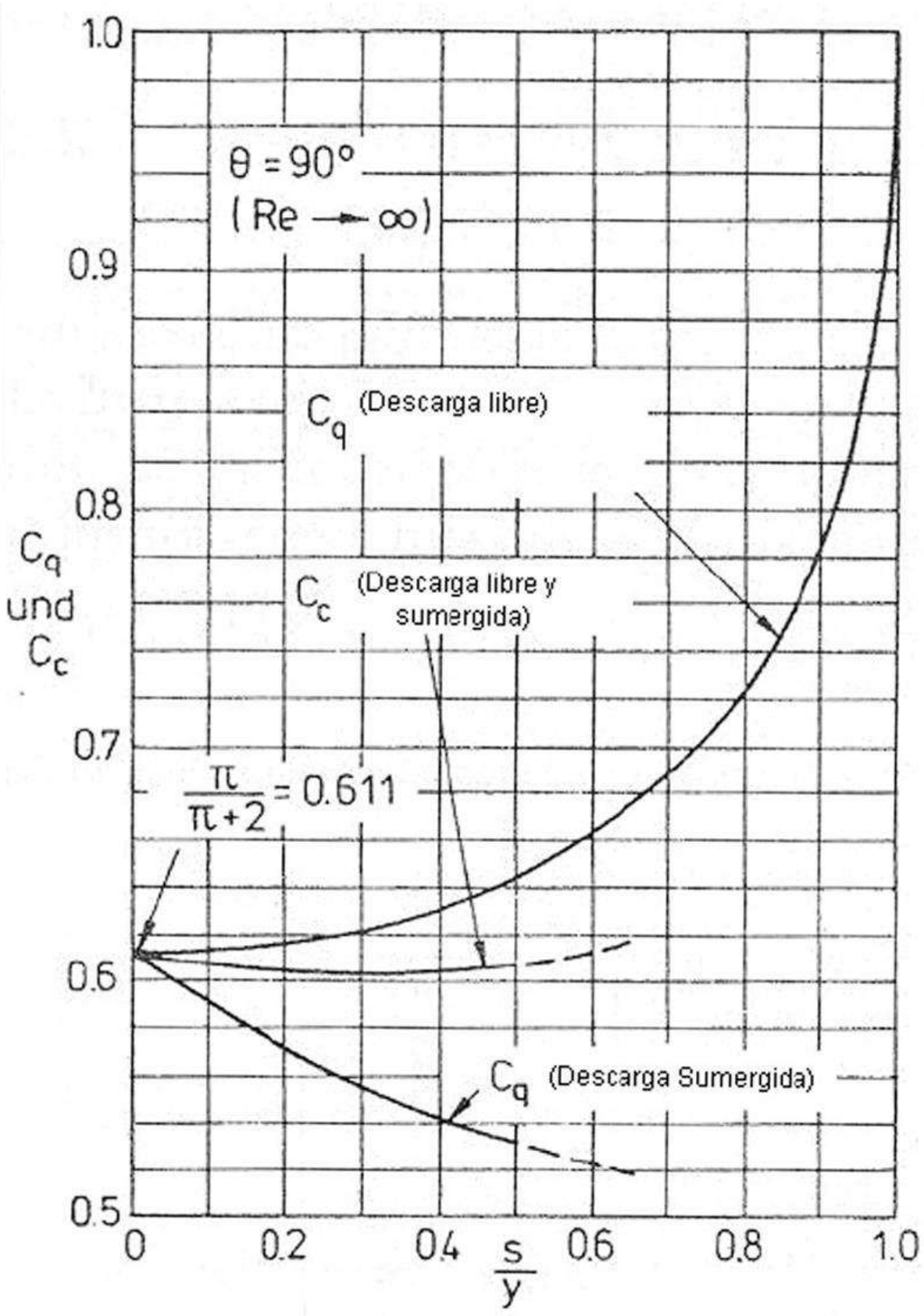


Figura 53. Coeficientes de descarga y contracción para flujo a través de compuertas
Fuente: Zamora, 2004.

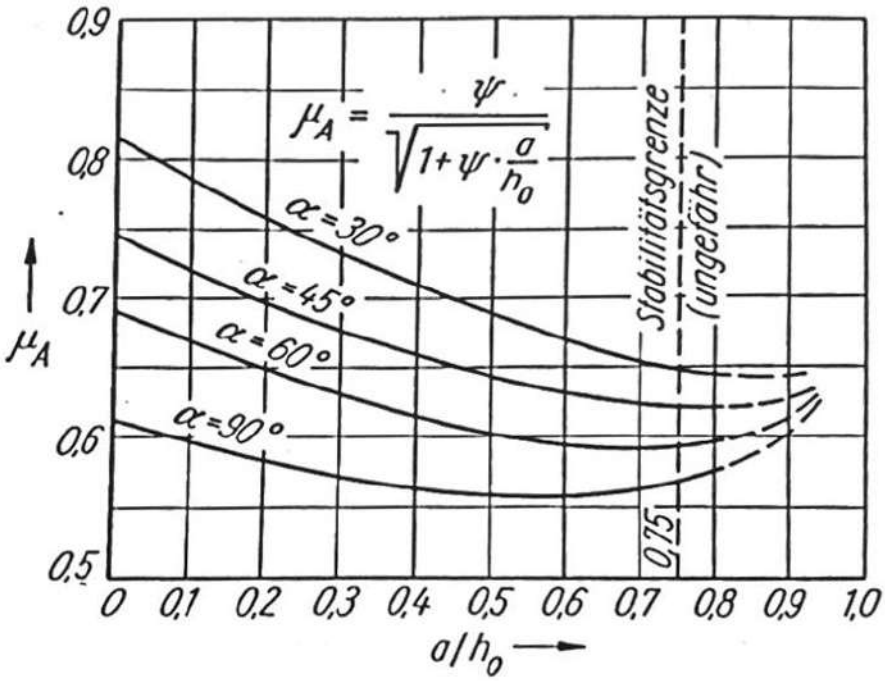


Figura 54. Coeficientes de descarga para compuertas inclinadas
Fuente: Class – Salzgitter, 2001.

Capítulo 4
Presa Los Ejidos

1. Descripción

Una presa es definida como una estructura que está diseñada y construida de manera que funcione como una barrera y logre acumular cierto volumen de agua para elevarla y posteriormente derivarla, logrando satisfacer las necesidades que se presenten, ya sea de abastecimiento o de irrigación.

Ahora bien, en el caso de la presa derivadora Los Ejidos, esta se encuentra localizada en el río Piura, aguas arriba de la ciudad de Piura y fue construida en la segunda etapa del Proyecto Especial Chira – Piura (PECHP).

Este proyecto fue concebido como un sistema de riego integrado originado a partir de la unión de dos cuencas, la perteneciente al río Chira y la otra al río Piura para satisfacer la demanda de 150 000 hectáreas. En líneas generales, inicia con la captación de agua perteneciente a la primera cuenca, controlada por el embalse Poechos, pasando por la central hidroeléctrica de Curumuy a la cuenca del río Piura.

En la primera etapa, se construyó el reservorio Poechos y el canal de derivación Daniel Escobar, que trae agua del río Chira al río Piura, además de otros canales más pequeños, diques y defensas.

Durante la segunda etapa, se presentó el Fenómeno de El Niño (FEN) 1982-83 y varias estructuras fueron dañadas, por lo que, habiendo iniciado en 1980, se terminó en 1989 con todas las reparaciones y reconstrucciones. En esta fase, se construyó la presa derivadora Los Ejidos, el canal principal Biaggio Arbulú, obras de drenaje, riego y defensas.

Finalmente, en la tercera etapa se construyó el canal Miguel Checa, la presa derivadora Sullana, los canales Norte y Sur, un sistema de drenaje y diques de encauzamiento. De acuerdo con las **Figuras 55** y **56**, podemos observar a grandes rasgos el esquema hidráulico del sistema que abarca el Proyecto Especial Chira Piura.

Para efectos de esta tesis y como ya se mencionó, nos enfocaremos principalmente en el análisis de la estructura: presa derivadora Los Ejidos.

El objetivo de esta estructura es elevar el nivel del agua del cauce para que, por gravedad, se irrigue el Bajo Piura. Esto se lleva a cabo gracias a los canales que pertenecen a este gran complejo, entre los cuales se encuentra el canal principal Biaggio Arbulú.

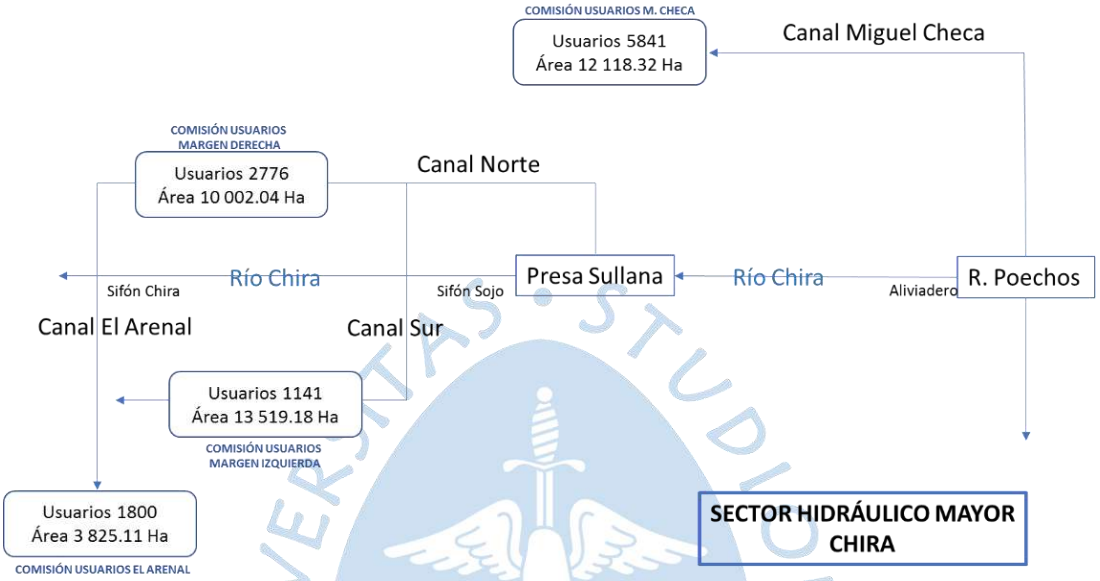


Figura 55. Disposición general del Sector Hidráulico Mayor – Chira
Fuente: Adaptado de PECHP, 2016.

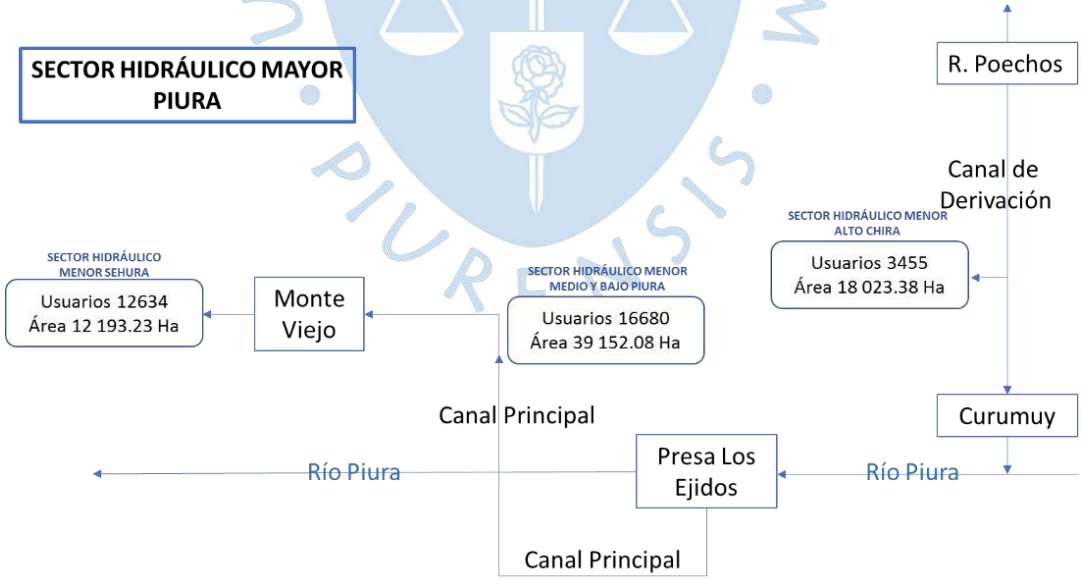


Figura 56. Disposición general del Sector Hidráulico Mayor – Piura
Fuente: Adaptado de PECHP, 2016.

La presa fue diseñada por el Consorcio Ieco-Salzgitter-Lagesa para captar un caudal de 64 m^3/s en período de avenidas y 60 m^3/s en estiaje y además permitir el paso de una

avenida de alrededor de 3200 m^3/s. El nivel máximo de embalse es de 33.75 m.s.n.m. Fue ejecutada por la empresa ENERGOPROJEKT-Belgrado, Yugoslavia y el equipo hidromecánico y eléctrico fue fabricado bajo la modalidad de subcontrata por la empresa GOSA-Smederevska Palanka de Yugoslavia.

Se inició la ejecución de la obra en el año 1980 sin embargo como ya se mencionó, debido al FEN 82-83, la construcción se demoró y finalizó en 1989. En el año 1983 se instaló el equipo hidromecánico y eléctrico.

Durante los más de treinta años de funcionamiento, la presa ha soportado caudales de alrededor de 3900 m^3/s ocurridos durante el FEN de 1982-83 y 4424 m^3/s en 1997-98. Este último valor fue corregido de acuerdo con el análisis y estudio hidráulico efectuado por el diseñador (Consorcio Class - Salzgitter, 2001) a 3200 m^3/s.

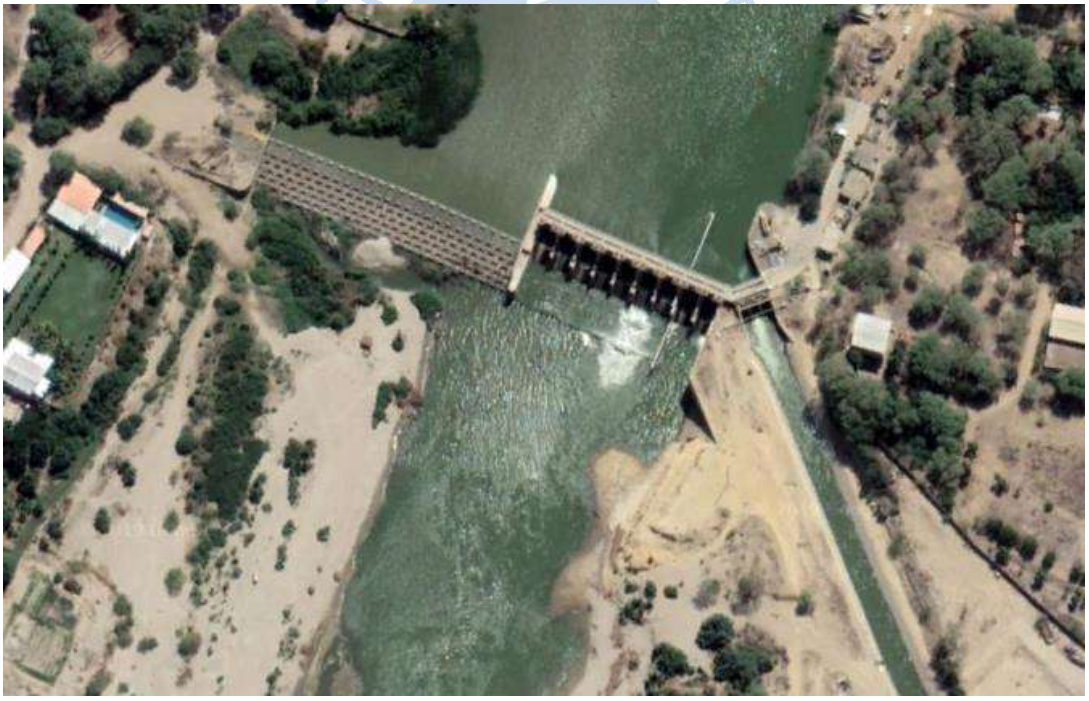


Figura 57. Ubicación de la presa Los Ejidos
Fuente: Google Earth, 2019.

2. Estructuras

La presa Los Ejidos está construida de concreto armado y tablestacas de acero. Entre sus componentes principales encontramos:

- Bocatoma del canal principal
- Canal de limpia

- Aliviadero de compuertas
- Vertedero libre

Todas las estructuras, menos el vertedero libre, cuentan con un equipo hidromecánico y eléctrico para el control del nivel del embalse, suministro al canal principal y toma de datos.

Cabe resaltar que la toma lateral en el canal principal en el km 0 + 139.73 es tomada en cuenta como otra estructura para la operación de la presa.

2.1. Bocatoma del canal principal. Es una estructura de concreto armado localizada en la margen izquierda, está conformada por tres vanos de 4.27 m cada uno. La finalidad de este elemento es regular el caudal que será suministrado al canal principal, tomando como valor máximo de 65 m^3/s en el nivel normal de operación a la altura de 30.50 m.s.n.m.

El ancho total de la estructura es de 14.41 m y está conformada por tres vanos entre los que se encuentran tres compuertas radiales, cada una con sus respectivas guías, mecanismo de izaje y equipo hidromecánico y eléctrico, además cuenta con elementos de cierre (tapas) correspondientes a las compuertas y defensas contra basura, troncos y maleza.

Figura 58. Bocatoma del canal principal en la presa Los Ejidos
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las compuertas, las características principales son las siguientes:

Tabla 7. Características de la bocatoma del canal principal Biaggio Arbulú

Cantidad de las compuertas	3
Abertura libre (ancho x altura)	4.27 m x 2.74 m
Altura de la compuerta	3.03 m
Cota del umbral inferior	27.30 m.s.n.m
Cota del eje de los muñones	30.70 m.s.n.m
Abertura máxima	2.74 m
Cota normal de operación del embalse	30.50 m.s.n.m
Cota máxima de diseño del embalse	33.75 m.s.n.m
Cota máxima permitida del agua en el canal principal	29.80 m.s.n.m
Peso de la compuerta	6.17 t

Fuente: Class-Salzgitter 2001.

Para controlar el caudal y lograr satisfacer las necesidades de la población del Bajo Piura, las compuertas cuentan con mecanismos electromecánicos y manuales.

Para profundizar acerca del mantenimiento de las compuertas de esta estructura, analizaremos los tres tipos de operaciones de compuertas de acuerdo con el período en el que se encuentre. (ver inciso **4. Operación de compuertas**).

2.2. Canal de limpia. Este elemento se encuentra a la derecha de la bocatoma, con un ancho de 18.80 m, consta de 2 vanos de 8 m cada uno. Su objetivo es regular el nivel de operación estándar del embalse, es decir a 30.50 m.s.n.m., además de dejar pasar los sedimentos y evacuar las grandes avenidas.

Cuenta con dos compuertas radiales entre los vanos que, como la estructura anterior, cuentan con guías, mecanismo de izaje y tapas enrejadas como parte del equipo hidromecánico y eléctrico correspondiente, además de contar con un tablero de cierre (ataguía).

Figura 59. Compuertas radiales en canal de limpia de la presa Los Ejidos
Fuente: Elaboración propia.

Las compuertas funcionan con equipos similares a los ya mencionados del canal principal. Usualmente se encuentran cerradas o parcialmente abiertas para mantener el nivel del agua y evitar la sedimentación aguas arriba del canal principal. Las características se muestran en la **Tabla 8.**

Tabla 8. Características del canal de limpia de Los Ejidos

Cantidad de las compuertas	2
Abertura libre (ancho)	8.00 m
Altura de la compuerta	5.70 m
Cota del umbral	25.00 m.s.n.m
Cota del eje de los muñones	30.70 m.s.n.m
Abertura máxima	8.00 m

Fuente: Class-Salzgitter 2001.

Tabla 9. Características del canal de limpia de Los Ejidos (Continuación).

Cota de la cuchilla de la compuerta completamente abierta	33.00 m.s.n.m
Cota normal de operación del embalse	30.50 m.s.n.m
Cota máxima del embalse según diseño	33.75 m.s.n.m
Cota de activación del sistema automático de operación	30.75 m.s.n.m
Peso de la compuerta	15.20 t

Fuente: Class-Salzgitter 2001.

Para este elemento, se instalaron una serie de tablestacas a lo largo de su cimentación en la margen izquierda, además de tres líneas perpendiculares al cauce del río (una al inicio, la siguiente a 12 m de profundidad y finalmente a 8 m de profundidad, al final de la poza disipadora de energía). Por otro lado, para aumentar el nivel de seguridad se colocaron anclajes de acero post tensados a lo largo del colchón disipador en dos líneas.

2.3. Aliviadero. Es una estructura de concreto armado localizada en el centro de la presa, con un ancho de 67 m, formada por siete vanos de 8m cada uno como se observa en la **Figura 60.** Su finalidad es regular el nivel normal del embalse y evacuar las avenidas.

Como parte del equipo hidromecánico y eléctrico cuenta con siete compuertas radiales, guías, mecanismos de izaje y tapas enrejadas además de un juego de tablero de cierre.

Las compuertas se encuentran cerradas durante la operación normal, pero si se identifican diferencias entre el caudal entrante del río y las descargas del canal principal y de limpia, se abrirán algunas compuertas de manera que estos valores se igualen. Por otro lado, también puede dejarse pasar un caudal mínimo biológico para el río. Las características de estas compuertas se muestran en la **Tabla 9.**

Figura 60. Aliviadero de compuertas de la presa Los Ejidos
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Características del aliviadero de compuertas de Los Ejidos

Cantidad de las compuertas	7
Abertura libre (ancho)	8.00 m
Altura de la compuerta	3.70 m
Cota del umbral	27.00 m.s.n.m
Cota del eje de los muñones	30.70 m.s.n.m
Abertura máxima	6.00 m
Cota de la cuchilla de la compuerta completamente abierta	33.00 m.s.n.m
Cota normal de operación del embalse	30.50 m.s.n.m
Cota máxima del embalse según diseño	33.75 m.s.n.m
Cota de activación del sistema automático de operación	31.25 m.s.n.m
Peso total de la compuerta	10.10 t
Cota de muro que divide el aliviadero del colchón disipador	31 m.s.n.m.
Largo de muro que divide el aliviadero del colchón disipador	28 m

Fuente: Class-Salzgitter 2001.

2.4. Vertedero libre Es la única estructura que conforma la presa, se ubica a la derecha del aliviadero de compuertas. No cuenta con equipo hidromecánico y eléctrico. Está construido de concreto armado con tablestacas de acero de 8 m de largo y se ubica al

extremo derecho. El objetivo de este elemento es únicamente evacuar las avenidas. Además, cuenta con dados disipadores de energía en la pendiente que se dirige aguas abajo, distribuidos en 6 filas de 25 dados cada una.

Sus dimensiones se muestran en la **Tabla 10.**

Tabla 11. Características del vertedero libre de Los Ejidos

Largo	120 m
Ancho	32.60 m
Alto	5.70 m
Cota cresta del vertedero	30.70 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, consta de cuatro líneas de tablestacas de 8 m de profundidad, desde el inicio de la plataforma aguas abajo (al final de la estructura) y a lo largo de la misma.

Figura 61. Vertedero libre de la presa Los Ejidos
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, existen instalaciones complementarias en la margen izquierda conformadas por:

- Centro de mando.
- Planta diesel.
- Oficina/Taller/Almacén.
- Oficina.
- Vivienda para operadores.
- Vivienda para la PNP.
- Caseta de guardianía.
- Caseta limnigráfica.
- Depósitos subterráneos para tableros de cierre de compuertas.
- Depósito para combustible.
- Sistema de abastecimiento de agua potable (Dos plantas de bombeo, sedimentador, filtros y tanque elevado).
- Pozo de entrega de aguas servidas (incluye cámara de rebose).
- Área de parqueo.

En la margen derecha encontramos cuatro (4) diques de cierre en las zonas bajas, tres (3) en la zona “La Mariposa” y una (1) en la zona de “Alto Los Ejidos”.

Finalmente, es importante también mencionar que, en el estudio realizado en el año 2001, se recomendaron varias medidas que permiten mejorar el funcionamiento de las estructuras. Entre ellas, mantener la protección anticorrosiva de las compuertas, darle mantenimiento al equipamiento hidromecánico y eléctrico, así como a los elementos de izaje. Si bien el mantenimiento, según lo descrito anteriormente, se viene realizando de manera anual, las demás recomendaciones no se tomaron en cuenta.

3. Niveles de aguas arriba y aguas abajo

Class-Salzgitter (2001), determinó que por la geometría del río aguas arriba de la estructura, el flujo que se dirige hacia ella es oblicuo y con muchas divergencias, las que se incrementan a medida que se acerca a la zona ubicada entre el aliviadero de compuertas y el vertedero fijo. Este escenario no es considerado óptimo ya que trae como consecuencia la disminución del ancho efectivo.

Cabe resaltar además, que de las visitas realizadas con posterioridad a las avenidas máximas en el mes de marzo de 2017, se observó sedimentación en ambas márgenes del cauce, especialmente en la margen derecha, con vegetación aguas arriba del vertedero fijo, situación que es similar a la descrita por Class – Salzgitter (2001), que influencia de manera negativa en la dirección que toma el flujo en su recorrido hacia la presa donde se recomienda la respectiva eliminación y monitoreo continuo.

Por otro lado, aguas abajo se puede determinar el nivel de la presa a partir de la mira ubicada aguas abajo de la poza disipadora del canal de limpia al lado izquierdo.

Estos datos no son importantes debido a que tienen una gran influencia de los flujos que salen de la poza disipadora, sin embargo, si la mira estuviese ubicada a una mayor distancia aguas abajo (alrededor de los 100 metros aguas debajo de la presa) podrían ser más útiles en el análisis del comportamiento hidráulico de la estructura.

Class – Salzgitter (2001) también se infiere que existe una dependencia temporal, es decir, mientras que en los primeros meses del fenómeno los niveles de agua registrados son altos, a medida que pasa el tiempo disminuyen, esto origina una erosión continua en el lecho del cauce, aguas abajo de la presa.

4. Operación de compuertas

Para la correcta operación de la presa, existen tres tipos de períodos durante los cuales el funcionamiento es diferente, entre ellos tenemos: Período de estiaje, período de mantenimiento y el período de avenidas.

De acuerdo con el Manual de Operación y Mantenimiento de la presa derivadora Los Ejidos y canal principal Los Ejidos – Catacaos, la operación y mantenimiento es de suma importancia debido a que el objetivo del Proyecto Especial Chira – Piura como conjunto, es

garantizar el manejo coordinado y eficiente para garantizar que la dotación de agua destinada para irrigar el valle del Bajo Piura se satisfaga.

El periodo de estiaje en el caso del río Piura abarca los meses comprendidos entre mayo y diciembre. Durante esta etapa, se manipulan las compuertas pertenecientes a la bocatoma del canal principal y las compuertas del canal de limpia.

La finalidad de operar las compuertas de la bocatoma es principalmente suministrar los caudales requeridos en el canal principal para irrigar el valle y, por otro lado, proveer el caudal biológico necesario por medio de una compuerta ubicada en el km 0+140.

En el caso del canal de limpia, las compuertas se maniobran no solo para mantener el nivel máximo de operación en la cota normal de funcionamiento del embalse, que es de 30.50 msnm, dejando pasar los caudales excedentes si es que se presenta un cambio sustancial, sino que también ayuda a abastecer el caudal biológico u otros de diversos fines como por ejemplo satisfacer las demandas de pequeños agricultores a orillas del río y evacuar los sedimentos que se acumulan con el tiempo sobre todo en la bocatoma.

Durante el mantenimiento, se realiza una manipulación mensual y mínimo una vez al año de las compuertas que conforman el canal de limpia y el aliviadero.

Este procedimiento habitualmente es realizado durante el período de estiaje, siendo únicamente ejecutado durante avenidas si es que se encuentra necesario contar con un mantenimiento correctivo de emergencia para alguna de las compuertas.

Asimismo, para garantizar que la operatividad de la presa no se vea afectada, se colocan una serie de ataguías o stop logs, que son elementos usados para encauzar flujos. Dichos elementos están hechos a base de varios materiales y, en este caso, evitan el contacto entre las compuertas y el agua. En el caso se necesite aislar alguna compuerta de la bocatoma del canal principal, estos elementos se colocan aguas arriba y aguas debajo de la compuerta, manteniendo el flujo de las demás normal.

Si se trata de una compuerta del canal de limpia o del aliviadero, solo se colocan aguas arriba, teniendo en cuenta y evitando que aguas abajo, los trabajos de mantenimiento no se encuentren en contacto con el agua y que no deriven agua al río con un adecuado monitoreo y operación de la estructura en la cual se esté trabajando.

Por otro lado, el período de avenidas se presenta comúnmente entre los meses de enero a abril y en esta situación, se operan las compuertas de: la bocatoma del canal principal, canal de limpia y aliviadero.

Las compuertas de la bocatoma del canal principal se regulan para en primer lugar proteger que esta estructura se mantenga estable, es decir, sin que supere su capacidad de diseño y, del mismo modo, lograr satisfacer la demanda del valle. Igualmente, las compuertas de las otras dos estructuras (canal de limpia y aliviadero) se manipulan de acuerdo con el paso de las avenidas, sobre todo cuando se encuentren en condiciones extraordinarias.

Cuando hablamos de condiciones extraordinarias, nos referimos generalmente a grandes precipitaciones en las cuencas o en el valle del Bajo Piura, que son las que producen la disminución de la demanda y el incremento del caudal respectivamente. Por lo que, se cierran total o parcialmente las compuertas de la bocatoma del canal principal y se mantienen completamente abiertas las compuertas del canal de limpia y aliviadero, de manera que se dejan pasar los caudales correspondientes a las máximas avenidas.

No obstante, si se lleva a cabo lo que se sugiere en el párrafo anterior, es probable que se desperdicien grandes cantidades de agua si no se presenta una avenida máxima y, además, que se produzca un desequilibrio estático y dinámico por la súbita apertura de todas las compuertas.

Por lo expuesto, el Consorcio IECO – Salzgitter Lagesa, (Manual de Operación y Mantenimiento de la presa derivadora Los Ejidos y canal principal Los Ejidos – Catacaos, 1985) previó una secuencia de funcionamiento que operaba de manera automática las compuertas de manera que se protege el canal cuando el tirante sea mayor al que corresponde a un caudal de 60 m^3/s y cuando la cota en el embalse sea mayor a 30.70 m.s.n.m.

En el caso de la bocatoma del canal principal, si se detecta que el nivel aguas abajo es mayor a 29.80 m.s.n.m., que quiere decir que el caudal excede los 60 m^3/s del diseño, las compuertas abiertas se cierran automáticamente hasta llegar a 0.73 m de abertura. Si es que las compuertas estuvieron completamente abiertas, se cierran de manera escalonada (5 intervalos) cada 15 minutos hasta llegar a los 0.73 m indicados.

En cuanto al aliviadero y canal de limpia, existen tres (03) casos:

- Cuando en la presa se detectan niveles que oscilen entre 30.70 y 31.10 m.s.n.m., las compuertas automáticamente se abren desde 0 a 1.37 m de manera escalonada (6 intervalos) cada 15 minutos.

- Si el nivel de agua sigue aumentando y nos encontramos entre 31.10 y 32.70 m.s.n.m., las compuertas siguen abriéndose hasta quedar completamente abiertas (entre 21 intervalos en el canal de limpia y 17 escalones en el aliviadero).

- Si el nivel de agua sigue aumentando y llega a ser mayor a 32.70 m.s.n.m., las compuertas se abren automáticamente desde donde se quedaron, hasta quedar totalmente abiertas, de manera que las máximas avenidas no encuentren algún obstáculo a su paso.

Para efectos de la supervisión y el control del adecuado funcionamiento de la estructura, sin importar en qué período nos encontremos, los datos de control de las operaciones, así como la fecha y hora de todas las manipulaciones ya sean apertura o cierre de compuertas, niveles de operación alcanzados, son debidamente registrados.

Finalmente, también es necesario detallar los tipos de mandos de acuerdo con los mecanismos de izaje que tienen cada una de las compuertas. Tenemos tres tipos:

4.1. Mando automático. Determinado por un controlador secuencial basado en la tecnología de control estático con un sistema de control incorporado. Esta programación hace que al encender los generadores y accionar las compuertas de la bocatoma del canal principal, éstas se cerrarán de forma escalonada hasta llegar a una abertura mínima de 0.73 m si el tirante de esta estructura es mayor al admitido para un caudal de 60 m^3/s.

En cuanto a las compuertas del aliviadero y del canal de limpia, sucede lo mismo si es que el nivel de agua en el embalse es mayor a 30.70 m.s.n.m.

Todo lo anterior se realiza para que se logre proteger la presa y distribuir el caudal excedente de forma uniforme, a lo largo del canal de limpia, aliviadero y vertedero.

4.2. Mando con control remoto. Operado desde el puesto de control de la caseta de mando. Este tipo de mando permite abrir las compuertas de la manera que se desee, teniendo en cuenta que se deben registrar los datos que muestran los instrumentos indicadores cada hora y de acuerdo con las regulaciones que correspondan.

4.3. Mando con control local. Operado desde los tableros colocados al costado de cada compuerta, es recomendable usar este tipo de control cuando se necesita distribuir de manera uniforme el flujo a lo largo de la estructura. El único inconveniente es que no es posible lograr una abertura menor a 20 cm, por lo que en caso se necesiten abrir dos compuertas se aconseja que estas sean las laterales de manera que se evite la generación de vórtices y si se necesita solamente una, sea la central.

La información hidrometeorológica obtenida durante el período de estiaje o avenidas se centraliza en la presa Los Ejidos. Esta es obtenida de los instrumentos de medición ubicadas en dicha sede, de los reportes de radio desde la represa de Poechos, de las estaciones de aforos en Tambogrande, Nácara y Malacasí y de las precipitaciones en la cuenca.

Estos reportes son registrados cada hora en caso nos encontremos en época de avenidas, sin embargo, en período de estiaje, esta información se procesará de acuerdo con horas preestablecidas.

Del mismo modo, se realiza un control concurrente de la operación y del estado de los equipos, teniendo en cuenta los reportes anteriormente mencionados, los registros de operación de compuertas, etc. Así también, se tomarán en cuenta los partes diarios llenados por los operadores y se emitirán informes mensuales y anuales con estadísticas relacionados con los caudales entregados.

5. Datos de avenidas máximas 2017

Los datos usados en la presente tesis para el cálculo de los caudales fueron obtenidos a partir de la información publicada en la página web del Proyecto Especial Chira – Piura (PECHP) donde se observan los Informes Diarios del Estado Hidrometeorológico y de un consolidado elaborado por la Mgtr. Marina Farías de Reyes en el año 2017. **(Anexo B).**

6. Estado sedimentológico

Antes de analizar el estado sedimentológico de la presa Los Ejidos, partiremos de cuál es el proceso por el que se origina la acumulación de sedimentos en los embalses en general.

Este proceso de sedimentación se da principalmente en las áreas de la estructura donde el flujo pasa a bajas velocidades, esta área usualmente se encuentra frente al vertedero libre.

Una opción para efectuar la limpieza de los sedimentos podría considerarse abriendo las compuertas y dejando pasar un importante flujo de agua, sin embargo, a pesar de aumentar el flujo a través de las ellas, las velocidades en esa zona continúan siendo bajas, por lo que la limpieza no será la adecuada. Por otro lado, cabe resaltar que la presencia de sedimentos en este tipo de estructuras no afecta su operación; sin embargo, puede ocasionar ciertos inconvenientes.

Figura 62. Estado sedimentológico de la presa Los Ejidos
Fuente: Elaboración propia.

Cuando la velocidad del movimiento de los sedimentos en las corrientes y ríos es baja, las partículas más finas que se encuentran suspendidas por el curso de la corriente se asientan. Por otra parte, las partículas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente, a lo que se le denomina arrastre de fondo (Carrión, 2004).

El tipo de suelo en los alrededores del proyecto es en su gran mayoría fino, oscilando entre arcilla y arena fina. De eso se desprende que el arrastre de fondo alcance menos del 5% del material total en movimiento, ya que la mayor parte de este se encontrará en suspensión.

Esta información y sus detalles se registran en la estación hidrométrica puente Sánchez Cerro, con muestreos a partir de un equipo integrador. Según el Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura (Consorcio Class - Salzgitter, 2001), se dispone de registros que cuentan con información relacionada a concentraciones medias diarias y volúmenes totales diarios de

sedimentos. Esta recopilación de datos y los muestreos de sedimentos se registraban desde el año de 1972 hasta el año 1992 no obstante, fueron suspendidas por razones de presupuesto.

La excesiva sedimentación de partículas puede, con el pasar de los años, ocasionar un mayor problema tal como es la colmatación de la estructura. Esto puede solucionarse ya sea con el "dragado mecánico" que consiste en usar máquinas denominadas dragas, compuestas por grúas y cucharas que alcanzan grandes profundidades, extrayendo los residuos acumulados en el fondo del cauce. Sin embargo, el sistema de hidrosucción es considerado el más eficiente y económico, debido a su fácil operación, es capaz de limpiar el embalse en su totalidad. Este sistema consiste en usar el principio del sifón, de manera que instalando una serie de tuberías y aprovechando el desnivel energético, es posible succionar los sedimentos acumulados en determinada zona de la presa (Carrión, 2004).

Por otro lado, debemos considerar como materia de análisis e investigación el aumentar la vida útil del embalse con el fin de evitar la colmatación y cualquier otro inconveniente que se presente en el funcionamiento normal de la presa debido a los sedimentos. Entre ellos debe estar controlar la erosión, problema que fue analizado en el Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura (Class – Salzgitter, 2001). Cabe resaltar además que actualmente, la concentración de sedimentos en la presa Los Ejidos es de $6g/L$ (Laboratorio de Ingeniería Sanitaria UDEP, 2017), es decir, lo suficientemente pequeña como una lámina ubicada en el fondo del cauce, lo que imposibilitaría que influya en el cálculo de caudales.

Asimismo, es importante proteger las áreas propensas a inundaciones de modo que, al evitar su destrucción, controlamos la producción de sedimentos a lo largo de los cauces. También sería útil expandir las áreas de terreno agrícola aledañas al río, evitando desprendimientos de tierra. Otra opción puede ser la construcción de presas aguas arriba con la finalidad de que retengan sedimentos antes de llegar a su destino.

Del mismo modo, es recomendable incorporar un sistema de purga, como ya se mencionó, puede ser el sistema de hidro-succión, que, al proteger la estructura de la acumulación de sedimentos, aumenta la vida útil del proyecto, a través de un sistema de purga económico y de fácil operación. Además, se recomienda realizar un mantenimiento periódico (Carrión, 2004).

7. Influencia de la presa Los Ejidos en el escurrimiento

En el Estudio de Evaluación de la presa derivadora Los Ejidos, Evaluación de las obras civiles, hidráulica y estática se establece que a partir de investigaciones realizadas con el modelo HEC-RAS, la presa Los Ejidos "tiene una influencia hasta 2.5 km aguas arriba" (Consorcio Class - Salzgitter, 2001).

Esta influencia no depende del caudal presente en las avenidas, no obstante, cabe resaltar que a mayor distancia aguas arriba, las condiciones del flujo no dependen en gran medida de la presencia de la estructura en el cauce del río, sino que dicho flujo es mayormente influenciado por la forma del río, es decir, sus condiciones morfológicas, la sedimentación y la magnitud del caudal.

Capítulo 5
Cálculo de caudales

En este capítulo describiremos el proceso a partir del cual se realizó el cálculo de los caudales que originaron las máximas avenidas en el Fenómeno El Niño 2017 para cada estructura que conforma la presa Los Ejidos, repasaremos las variantes que se analizó Class – Salzgitter (2001), tomando en cuenta las condiciones hidrológicas actuales.

Para reducir la muestra y con fines más didácticos, analizaremos las cotas máximas del embalse diarias desde el 26 de enero al 31 de mayo del 2017, considerando que la avenida máxima del período se dio el 27 de marzo.

En ese sentido, primero se verificará la sumergencia en cada estructura (aliviadero de compuertas, canal de limpia, vertedero libre) con la finalidad de determinar si los caudales a calcular serán influenciados por alguna condición aguas arriba.

1. Verificación de sumergencia

Los resultados de los cálculos realizados en esta sección sirven como respaldo para el uso de las expresiones que se describen en el acápite 5.2 del presente capítulo. El detalle del cálculo se muestra a continuación, tomando como base para el cálculo las ecuaciones formuladas.

1.1. Vertedero libre. Para la verificación de esta estructura, se procederá a usar el estudio de los tirantes críticos de acuerdo con la ecuación del impulso (Class – Salzgitter, 2001) tal como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{h_u}{h}+\frac{2}{3}n\right)^3-\frac{4}{9}\left\{\left[2\frac{b}{b_u}+(1+n)^2\right]*\left[\frac{h_u}{h}+\frac{2}{3}n\right]\right\}+\left(\frac{16}{27}*\frac{b^2}{{b_u}^2}\right)=0 \quad \textbf{(Ec. 5.1)}$$

Donde:

h_u: cota aguas abajo.

$\frac{b}{b_u}$: relación entre el ancho del vertedero y el cauce del río aguas abajo del vertedero que, según los estudios realizados, tiene el valor de 0.5.

h: cota aguas arriba.

n: relación entre la altura del vertedero *w* y la altura crítica definida por $h_{crít} = \frac{2}{3}h$.

Cabe resaltar que todas las variables de la fórmula expresada anteriormente son datos que se obtienen de las mediciones diarias de niveles de agua, teniendo en cuenta los niveles de cada una de las estructuras que se describen detalladamente en el **Capítulo 4, acápite 2.**

Para fines prácticos, solo se ha seleccionado el nivel de agua del embalse y estructuras correspondientes a la máxima avenida del 27 de marzo del 2017, asumiendo que el comportamiento es similar en los días que no son considerados como tal.

Según los datos observados en el **Capítulo 4**, la cota máxima del embalse es 34.40 m.s.n.m., la cota del fondo del vertedero es 22 m.s.n.m. y la cota de la corona del vertedero es 30.70 m.s.n.m. Para este último, ya que según los Informes Diarios del Pupitre central de Indicación de la Presa Los Ejidos se registran valores menores, para realizar los cálculos se tomará el más bajo que pertenezca al período de análisis (30.49 m.s.n.m.).

Por otro lado, de acuerdo con los datos de las avenidas máximas del 2017 (**Anexo B**), la cota aguas abajo es de 32.45 m.s.n.m. y la abertura de compuertas *(a)* es de 4.20 m.

En resumen, tenemos:

Cota máxima embalse: 34.40 m.s.n.m

Cota aguas abajo: 32.45 m.s.n.m.

Cota corona del vertedero: 30.49 m.s.n.m.

Cota fondo del vertedero: 22 m.s.n.m.

Abertura de compuertas (*a*): 4.20 *m*

Ahora bien, calcularemos los niveles de agua netos para poder reemplazarlos en la **Ecuación 5.1.** entre los cuales está *h*, la cota aguas arriba, h_u la cota aguas abajo y *w*, que es la altura del vertedero y es necesaria para calcular *n*. Entonces:

$$h = 34.40 - 30.49 = 3.91\ m$$

$$h_u = 32.45 - 30.49 = 1.96\ m$$

$h_{crít} = {}^{2}/_{3}\,(3.91) = 2.61\,m$

$w = 30.49 - 22 = 8.49\,m$

$n = \frac{w}{h_{crít}} = 3.34$

Reemplazando los valores anteriores en la **Ecuación 5.2**, obtenemos -3.48. De la verificación a partir de la ecuación del impulso, si el valor obtenido es mayor a 0, se trata de Flujo Sumergido de lo contrario, Flujo No Sumergido. Por lo tanto, el caso de vertedero libre es de Flujo No Sumergido.

1.2. Aliviadero de compuertas y canal de limpia. En este caso, para las dos estructuras mencionadas, usaremos el estudio de los tirantes críticos de acuerdo con la fórmula a continuación (Class – Salzgitter, 2001).

$$\frac{h_u}{a} = \frac{C_c}{2} * \left\{ \sqrt{1 + \left[16 * \left(\frac{h^2}{a^2}\right)\right] \div \left[C_c * \left(C_c + \frac{h}{a}\right)\right]} - 1 \right\} \qquad \textbf{(Ec 5.2)}$$

Donde todas las alturas en metros (m) y:

h_u: distancia aguas abajo (calculada a partir de la diferencia entre el nivel del agua y la cota de la estructura, aguas abajo).

a: abertura de compuerta (obtenida de los reportes diarios de operación de la presa).

C_c: coeficiente de contracción.

h: distancia aguas arriba (diferencia entre el nivel de agua y lacota de la estructura, aguas arriba, corona del vertedero).

De acuerdo con los datos obtenidos por el PECHP, la Cota máxima del embalse es de 34.40 m.s.n.m., la cota aguas abajo, 32.45 m.s.n.m., la cota corona del vertedero, 27 m.s.n.m. y la abertura de las compuertas (a) es de 4.20 metros.

En primer lugar, calcularemos los coeficientes. Para el caso del aliviadero de compuertas usaremos la gráfica de la **Figura 53** para hallar el coeficiente de contracción C_c. Para ello se calcula la relación *s/y* ó en este caso, *a/h*, donde h es la cota del embalse. Esto es igual a:

$$a = 4.20m$$

$$h = 34.40 - 27 = 7.40m$$

$$a/h = 4.20/7.40 = 0.57$$

Para 0.57, C_c es aproximadamente 0.61, valor que cumple con la ecuación y la gráfica. Ahora, los datos tomados del 27/03/17 son los siguientes:

$h = 34.40 - 27 = 7.40$

$h_u = 32.45 - 27 = 5{,}45$

$C_c = 0.61$

Según la verificación de los tirantes críticos, si el valor de h_u existente, calculado a partir de los datos correspondientes al 27/03/17, es menor que el valor de h_u límite calculado a partir de la **Ecuación 5.2.** se trata de Flujo no sumergido, caso contrario, nos encontraríamos ante la presencia de Flujo sumergido.

$$\frac{h_u}{a} existente = \frac{5.45}{4.20} = 1.30$$

Ahora, reemplazando los datos en la **Ecuación 5.2** para calcular el valor límite:

$$\frac{h_u}{a} límite = 1.51$$

$$\frac{h_u}{a} existente < \frac{h_u}{a} límite$$

Por lo tanto, se trata de flujo no sumergido.

Para el caso del canal de limpia, el valor del coeficiente de contracción C_c usualmente se encuentra entre 0.50 y 1. En esta situación particular, dado que el flujo atraviesa la estructura libremente y por la geometría de esta, el valor para el cálculo es de 0.50 (Consorcio Class - Salzgitter, 2001). Los datos, son los siguientes:

Cota máxima embalse: 34.40 m.s.n.m

Cota aguas abajo: 32.45 m.s.n.m.

Cota corona canal de limpia: 25 m.s.n.m.

Abertura de compuertas (a): 4.20 m

Ahora, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, obtenemos:

$h = 34.40 - 25 = 9.40$

$h_u = 32.45 - 25 = 7{,}45$

$C_c = 0.50$

$$\frac{h_u}{a} existente = \frac{7.45}{4.20} = 1.77$$

$$\frac{h_u}{a} límite = 1.68$$

$$\frac{h_u}{a} existente > \frac{h_u}{a} límite$$

Para este caso, se trata de flujo sumergido.

2. Cálculo de caudales

El caudal total será la sumatoria de los caudales obtenidos por estructura. En este caso, la suma de los caudales correspondientes al vertedero libre, canal de limpia y aliviadero de compuertas.

2.1. Vertedero libre. De la Ecuación de Poleni tenemos:

$$Q = \frac{2}{3} * C_d * b_{ef} * h^{3/2} * \sqrt{2g} \qquad \textbf{(Ec. 5.3)}$$

Donde:

C_d: coeficiente de descarga, para este caso se usará el valor de 0.66 determinado a partir de los resultados de los ensayos realizados en el modelo hidráulico de la presa Los Ejidos (Class – Salzgitter, 2001).

b_{ef}: ancho hidráulicamente efectivo del vertedero.

h: distancia aguas arriba.

g: gravedad.

Debido a que el ancho real se ve afectado por las condiciones de flujo variables, se supone que el ancho efectivo oscila entre el 92% y 95% del real. En el caso del vertedero libre y el aliviadero de compuertas corresponderá el 95% y para el canal de limpia, 92%.

2.2. Canal de limpia. Calcularemos el caudal usando la siguiente ecuación:

$$Q = \mu_{CL} * b_{ef} * a * \sqrt{2gh} \qquad \textbf{(Ec. 5.4)}$$

Donde:

μ_{CL}: coeficiente de descarga por compuertas, $\mu_{CL} = \kappa * C_d$ donde kappa considera la influencia aguas abajo.

b_{ef}: ancho hidráulicamente efectivo del vertedero

a: abertura de compuerta

h: distancia aguas arriba

g: gravedad

El coeficiente de descarga C_d se calculará de acuerdo con lo establecido en el **Capítulo 3, Ecuación 3.33.**

$$C_d = \frac{C_c\, C_v}{\sqrt{1+\frac{C_c\, a}{y_1}}}$$

Para fines prácticos, Sotelo (2009), recomienda usar el valor de 0.62 para el coeficiente de contracción para cualquier relación $^{y_1}/_{a}$, donde y_1 es la cota aguas arriba, denominada también h.

En cuanto al coeficiente de velocidad C_v, consideraremos el límite superior, la unidad, ya que este se obtiene para relaciones de ${}^{a}/_{h} > 0.408$, lo que se verifica en todos los casos analizados.

Finalmente, para calcular el valor del coeficiente κ, usaremos las **Figuras 50 y 51** del **Capítulo 3** en donde, a partir de datos tales como la abertura de la compuerta a, cota aguas arriba h_o, y α, el ángulo de las compuertas de cada estructura.

El ángulo por considerar en el cálculo se obtiene de la geometría del canal de limpia. Si bien es cierto, los valores más importantes que lo describen fueron referidos en el **Capítulo 4**, cabe resaltar que, en este caso, para trabajos de mantenimiento y reparación en las compuertas, se prevé un juego de tableros de cierre, mediante los cuales podemos calcular el ángulo aproximado de funcionamiento. Estos tableros tienen un largo de $8.235\ m$ de largo y $1.90\ m$ de alto y de acuerdo con el Volumen IV – Evaluación de Equipos Hidromecánicos y Eléctricos (Class – Salzgitter, 2001), debido a las condiciones de la estructura se considera un borde libre de $20\ cm$ o más. Entonces, con estos datos y considerando un borde libre de aproximadamente $30\ cm$, se calcula aproximadamente el ángulo:

$$\tan\alpha = \frac{8.235 + 0.30}{1.90} \therefore \alpha = 77.45° \sim 77.5°$$

Con este valor, en la **Figura 48**, obtenemos $\psi \approx 0.675$ y reemplazando en la ecuación de la **Figura 49**, $\mu' = 0.59 \approx 0.60$. Por lo tanto, el coeficiente de descarga a usar para hallar los caudales del canal de limpia será 0.60 para cualquier altura aguas arriba.

2.3. Aliviadero de compuertas. El cálculo se realizará de manera similar al **numeral 2.2.**; incluyendo el cálculo del coeficiente de descarga C_d.

2.4. Resumen de los cálculos.

Tabla 12. Cuadro resumen

ESTRUCTURA	ECUACIÓN	PARÁMETRO	CONDICIÓN	VALOR
Vertedero libre	$Q = \frac{2}{3} * C_d * b_{ef} * h^{3/2} * \sqrt{2g}$	C_d	Para todos los casos	0.66
Canal de limpia y aliviadero de compuertas	$Q = \mu_{CL} * b_{ef} * a * \sqrt{2gh}$	μ_{CL}	$\mu_{CL} = \kappa * C_d$	Depende de Cd
		C_c	$\forall\ a/h$	0.62
		C_v	$\forall\ {}^{a}/_{h} > 0.41$	1
		C_d	$\frac{0.62}{\sqrt{1 + \frac{0.62\,a}{y_1}}}$	Depende de los valores de a/h
		κ	Para todos los casos	0.6

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

Ahora bien, efectuaremos los cálculos para las siguientes variantes:

- **Variante 1:** Ancho efectivo para vertedero libre y aliviadero de compuertas de 95% del ancho real, para el canal de limpia 92% del ancho real. Apertura de compuertas 4.20 m.
- **Variante 2:** Datos iguales a la Variante A1, considerando una apertura de compuertas de 4.30 m.
- **Variante 3:** Datos iguales a la Variante A1, considerando una apertura de compuertas de 4.10 m.
- **Variante 4:** Datos iguales a la Variante A1, con cota aguas arriba de 34 m.s.n.m.
- **Variante 5:** Datos iguales a la Variante A1, pero considerando ancho efectivo igual a ancho real.

Tabla 13. Descripción de variantes para el cálculo de caudales

	Variante 1	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**
Descripción	Ancho efectivo del vertedero libre y aliviadero al 95%. Canal de limpia al 92%	Igual a Variante A1.	Igual a Variante A1.	Igual a Variante A1. Ancho efectivo = Ancho real	Igual Variante A1. Flujo no sumergido (X=1). Ancho efectivo = Ancho real
Apertura de compuertas (m)	4.2	4.3	4.1	4.2	4.2
B_{efect}/B_{real}	95%, 92%	95%, 92%	95%, 92%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Para la máxima avenida ocurrida el 27 de marzo del 2017, tenemos los siguientes resultados:

Tabla 14. Caudales pico del río Piura en 2017 determinados para diferentes escenarios

Estructura hidráulica	**Caudal (m^3/s)**				
	Variante 1	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**
Vertedero libre	1,718	1,718	1,718	1,808	1,808
Aliviadero de compuertas	1,436	1,4670	1,401	1,511	1,511
Canal de limpia	276	283	270	300	501
Caudal total	3,430	3,471	3,389	3,619	3,820

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las variantes descritas con anterioridad son condiciones ideales, considerando aperturas iguales de compuertas para todas las estructuras, sin embargo, en la realidad esto no sucedió. Los resultados detallados En la **Tabla 14** están calculados con la apertura exacta de compuerta a la cual estuvieron las compuertas del canal de limpia y aliviadero, de los reportes diarios a los cuales se tuvo acceso.

Tabla 15. Resultados con datos exactos PECHP

Estructura hidráulica	**Caudal (m^3/s)**		
	Variante 1	**Variante 4**	**Variante 5**
Vertedero libre	1717	1808	1808
Aliviadero de compuertas	1538	1619	1619
Canalde limpia	329	358	596
Caudal total	**3585**	**3785**	**4023**

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 14** no se visualizarán los resultados obtenidos de las variantes 2 y 3 debido a que los supuestos tomados son los mismos que se describen en la variante 1, por lo tanto, los resultados son los mismos.

De todo lo anterior, se puede afirmar que el caudal calculado por el PECHP difiere entre 3 y 14% de las principales variantes. Además, individualmente, el vertedero libre es el que aporta la mayor parte del caudal, alcanzando por sí solo el 48% del total como se muestra en la **Tabla 15.**

Tabla 16. Aporte de caudal por estructura

Estructura hidráulica	Variante 1	Porcentaje %
Vertedero libre	1717	48
Aliviadero de compuertas	1538	43
Canal de limpia	329	9
Caudal total	**3585**	**100**

Fuente: Elaboración propia.

Por último, dado que en condiciones reales el ancho efectivo por el cual pasa el flujo difiere del ancho real ya que no lo ocupa en su totalidad necesariamente (Reyes, 2018), la variante elegida es la número 1.

3.1. Propuestas de mejora del funcionamiento. Como parte del análisis que se ha llevado a cabo en los capítulos anteriores y como parte de las recomendaciones finales de la presente tesis, se evaluarán los aportes de cada estructura para el nuevo caudal de diseño, y se describirán ciertas alternativas para evitar el desborde en la red hidráulica presente en el cauce del río Piura.

En primer lugar, del aporte parcial al caudal de cada estructura de la presa, recalculamos los caudales que debería soportar en el caso de una avenida máxima de 4700 m^3/s como se muestra a continuación:

Tabla 17. Caudales con Qd 4700 $\boldsymbol{m^3/s}$

	Vertedero libre		**Aliviadero de compuertas**		**Canal de limpia**		**Qtotal** (m^3/s)
	q $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	**q** $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	**q** $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	
Av. Máx.	15.07	1,718	28.91	1,538	37.25	329	**3,585**
Aporte %		48		40		15	
Q nuevo	17.60	2,252	33.78	2017	43.52	431	4700

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, la recomendación final se basa en tomar como referencia los caudales unitarios presentes en la avenida máxima ocurrida el 27 de marzo del 2017. Para esto, el criterio por utilizar en este caso es, mantener los márgenes de caudales unitarios por debajo del límite registrado durante esa fecha, de manera que se eviten los daños ocasionados en la presa y demás estructuras que conformaban la red de defensas del valle a lo largo del río Piura.

Como primera alternativa, consideraremos aumentar la longitud del vertedero libre (120 m) 30 metros más, además el caudal unitario se calculará añadiendo una (1) compuerta adicional al aliviadero y otra al canal de limpia. En la **Tabla 17**, se describen los resultados obtenidos para cada estructura.

Tabla 18. Alternativa 1

Vertedero libre		**Aliviadero de compuertas**		**Canal de limpia**		**Qtotal** (m^3/s)
q $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	**q** $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	**q** $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	
más 30m		+ 1 compuerta		+ 1 compuerta		
15.01	2,252	31.51	2,017	17.97	431	4700

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la Alternativa 1, observamos que, para mantener los márgenes adecuados, resulta suficiente añadir una compuerta al canal de limpia. Del mismo modo, incrementando la longitud del vertedero, nos encontramos en la condición esperada. No obstante, se considera que, añadiendo una compuerta en el aliviadero, aún nos encontraríamos en una condición perjudicial, siendo el caudal unitario mayor al ocurrido el 27/03/17.

Como segunda alternativa, consideraremos aumentar 40 metros la longitud del vertedero, añadir dos (2) compuertas al aliviadero y solamente una (1) al canal de limpia. A continuación, los detalles de esta alternativa en la **Tabla 18.**

Tabla 19. Alternativa 2

Vertedero libre		**Aliviadero de compuertas**		**Canal de limpia**		**Qtotal** (m^3/s)
q $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	**q** $(m^3/s/m)$	**Q** (m^3/s)	**q** $(m^3/s/m)$	**Q** $(m \ \ /s)$	
más 40m		+ 2 compuertas		+ 1 compuerta		
14.08	2,252	28.01	2,017	17.97	431	4700

Fuente: Elaboración propia.

De esta alternativa, en cuanto al vertedero libre, seguimos encontrándonos dentro el margen ideal y en el caso del aliviadero, contar con 2 compuertas adicionales resulta mejor para evitar altos niveles aguas arriba durante grandes avenidas.

Conclusiones

- La determinación del caudal en la presa Los Ejidos, se efectúa a través de la sumatoria de los caudales circulantes por sus tres estructuras (vertedero libre, aliviadero de compuertas y canal de limpia), además, este cálculo se lleva a cabo mediante formulaciones hidráulicas recomendadas por la bibliografía y sus diseñadores.

- De las verificaciones realizadas con la metodología en la que se basa en el Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura, del Consorcio Class – Salzgitter, la Presa Los Ejidos trabaja bajo flujo sumergido y no sumergido. La zona principal, conformada por el vertedero fijo y el aliviadero de compuertas, presenta flujo no sumergido, mientras que el canal de limpia, flujo sumergido. Por lo tanto, corresponde afirmar que solamente este último es influenciado por las condiciones aguas abajo de la presa.

- El caudal obtenido aplicando las ecuaciones del diseño de la presa, la metodología del estudio de Class – Salzgitter que corresponde al mismo y además, con los datos a los que se tuvo acceso, de los niveles de agua registrados durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño 2017, asciende a 3585 m^3/s y solamente difiere en un 3% adicional del valor registrado la fecha de la avenida máxima, que fue de 3468 m^3/s. Este caudal además, se determinó considerando que el flujo no ocupa todo el ancho del cauce, es decir, que el ancho efectivo difiere del ancho real.

- Para condiciones de máximas avenidas, la estructura que representa el mayor aporte de caudal del total de la Presa Los Ejidos, es el vertedero libre con un 48%, seguida del aliviadero de compuertas con un 43% y finalmente el canal de limpia con el 9% restante. Por otro lado, cabe resaltar que las dos últimas estructuras pueden ser controladas en mayor medida debido a que el flujo que viaja a través de ellas puede ser regulado con la operación de sus compuertas, mientras que, en cuanto al vertedero, sería necesario incrementar su longitud en caso se presenten caudales mucho mayores que podrían afectar el funcionamiento normal de la presa tal y como la conocemos en la actualidad.

- Para lograr adaptar la Presa Los Ejidos de manera que pueda soportar un caudal de diseño de 4700 m^3/s, la alternativa más adecuada consistiría en incrementar una compuerta en el canal de limpia, dos en el aliviadero de compuertas y finalmente añadir de 30 a 40 metros de longitud en el vertedero libre. Todas estas recomendaciones se fundamentan en mantener los márgenes adecuados de flujo respecto a la máxima avenida del 27 de marzo del 2017, de manera que sea una de las varias medidas por tomar a fin de que se eviten daños a las estructuras o desbordes a lo largo del cauce del río y que lleguen a afectar las zonas del valle del Bajo Piura.

- Los niveles de agua registrados por el Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), pueden haber sido incrementados ligeramente por la gran cantidad de sedimentos presente en la presa Los Ejidos. No obstante, la presencia de los mismos solamente cambiaría el tirante de agua de la presa y no el cálculo de los caudales.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Referencias bibliográficas

Amador, Á. (2016). *Más que Ingeniería* . Obtenido de Más que Ingeniería: https://masqueingenieria.com/

American Metereological Society, A. (11 de Diciembre de 2008). *Glossary of Metereology*. Obtenido de American Metereological Society: http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=trade-winds1

Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira - Piura. (2003). *Diagnóstico de la Cuenca del Río Piura con enfoque de Gestión de Riesgo.* Piura: Proyecto Recuperación y Prevención ante Catástrofes Naturales. Gobierno Regional Piura/GTZ y Autoridad Autónoma de Cuenca Hidrográfica Chira Piura.

Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira - Piura. (2004). *Diagnóstico de la Cuenca del Río Piura con enfoque de Gestión de Riesgo.* Piura: Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira - Piura.

Balloffet, A., Gotelli, L., & Meoli, G. (1955). *Hidráulica.* Buenos Aires: Ediar.

Bjerknes, J. (1966). *A Possible Response of the Atmospheric Hadley Circulation to Equatorial Anomalies of Ocean Temperature.* Tellus.

Blázquez, F. (2007). *Órganos de cierre y aislamiento.* Madrid: EOI Escuela de negocios.

Bureau of Reclamation (@usbr). (26 de Junio de 2018). *Twitter*. Obtenido de https://twitter.com/usbr/status/1011608015538085889

Carrillo, J. (2009). *Tesis: Evaluación de la seguridad hidrológico-hidráulica de la presa de compuerto (T.M. de Velilla del Río Carrión, provincia de Palencia) perteneciente a la cuenca hidrográfica del Duero.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Carrión, R. (2004). *Tesis: Análisis de los efectos del Fenómeno del Niño en el año 1998 en la presa Los Ejidos.* Piura: Universidad de Piura.

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos.* México DF: Diana.

CMO Valves . (s.f.). *CMO Valves* . Obtenido de CMO Valves : http://mail.cmo.es/es

Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Chira - Piura. (2014). *Plan de aprovechamiento de la disponibilidad hídrica - PADH.* Piura: Autoridad Nacional del Agua.

Consorcio Class - Salzgitter. (2001). *Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas Contra Inundaciones en el Bajo Piura.* Piura: Consorcio Class - Salzgitter.

Consorcio Class-Salzgitter. (2001). *Estudio de Evaluación de la Presa Derivadora Los Ejidos.* Piura: Consorcio Class-Salzgitter.

Consorcio IECO - SALZGITTER - LAGESA. (1985). *Manual de Operación y Mantenimiento de la presa derivadora Los Ejidos y canal principal Los Ejidos – Catacaos* . Piura: Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Chira - Piura.

Corporación Andina de Fomento . (2000). *Las lecciones del Niño.* Caracas: CAF.

Dirección Nacional de Proyectos Especiales - INDECI. (2002). *Plan de usos del suelo y propuesta de medidas de mitigación de los efectos producidos por los fenómenos naturales - Ciudad de Castilla.* Piura: INDECI.

Elera, G. (2005). *Tesis: Modelación numérica del Río Piura utilizando River-2D, entre los puentes Cáceres e Integración.* Piura: Universidad de Piura.

Gil, A., & Olcina, J. (2017). *Tratado de climatología.* Universidad de Alicante.

Gobierno Regional de Piura. (2006). *Estudio de Diagnóstico y Zonificación de la provincia de Piura.* Lima: Presidencia de Consejo de Ministros.

Gobierno Regional de Piura. (Noviembre de 2015). *Sistema de Información Ambiental Regional - SIAR*. Obtenido de http://siar.regionpiura.gob.pe/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=680&verPor=&idTipoElemento=&idTipoFuente=5&idfuenteinformacion=71

Gobierno Regional de Piura. (2016). *Análisis Prospectivo Regional (2016-20309.* Piura: Gobierno Regional de Piura.

Guzmán, A. (28 de Enero de 2014). *Udep Hoy*. Obtenido de Udep Hoy: http://udep.edu.pe

Heiwa4126. (4 de Enero de 2007). *Wikimedia Commons*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Old_Iwabuchi_Sluice_-_panoramio.jpg

Holbrook, N. J., Davidson, J., Feng, M., Hobday, A. J., Lough, J. M., McGregor, S., & Risbey, J. S. (2009). El Niño - Southern Oscillation. *Marine Climate Change in Australia*.

Iagua. (2019). *Iagua*. Obtenido de Iagua: https://www.iagua.es/

INDECI. (1998). *Compendio Estadístico de las Emergencias Producidas en el Perú durante 1998.* Lima: INDECI.

INDECI. (2017). *Boletín Estadístico Virtual de la Gestión Reactiva.* Lima: INDECI.

ISET-International, Programa de Resiliencia a las Inundaciones de Zúrich. (2017). *El Niño Costero: Las inundaciones de 2017 en el Perú.* Lima.

Minaya, N. (1993). *El Niño/Oscilación del Sur y las descargas del Río Camaná-Majes.*

Mugica, R. (1983). *Piura 1983.* Piura: Universidad de Piura .

Municipalidad Provincial de Piura. (2017). *Plan de Desarrollo Provincial Concertado 2016 - 2021.* Piura: Municipalidad Provincial de Piura.

Novak, P., A., M., & Nalluri, C. (2001). *Estructuras Hidráulicas.* Colombia: Mc Graw Hill.

Pardo, R. (2018). Disipadores de Energía - Parte I: El salto hidráulico. *Aliviaderos y Obras de toma*, 108-118.

Pardo, R., & Alegret, E. (2011). *Diseño Hidráulico de Aliviaderos y obras de toma para Presas.* Habana: Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría.

Petreka, A. (1984). *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Disipators.* US Department of the interior .

Philander, S. G. (1989). *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation* . Academic Press.

Pielke, R., & Landsea, C. (6 de Abril de 1999). *La Niña, El Niño, and Atlantic Hurricane Damages in the United States*. Obtenido de La Niña, El Niño, and Atlantic Hurricane Damages in the United States: https://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/lanina/figures.html

Pin, J. (27 de Septiembre de 2017). *SEISMICKNOWLEDGE: Advanced solutions for safe and resilient buildings against earthquakes* . Obtenido de http://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/como-se-mide-un-terremoto/

Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable y Programa Nacional de Riego. (2011). *Presas Derivadoras.* Cochabamba: Programa Nacional de Riego (PRONAR).

Proyecto Especial Chira Piura. (2017). *Memoria Institucional Anual 2016.* Piura: Proyecto Especial Chira Piura.

Proyecto Seguros para la Adaptación al Cambio Climático. (2012). *Impactos del Fenómeno El Niño (FEN) en la economía regional de Piura, Lambayeque y La Libertad.* Lima: Galese S.A.C.

Pulgar, J. (1987). *Geografía del Perú.* Lima: Peisa.

Reyes, J. (2018). *Maestría de Recursos Hídricos - Curso: Morfología fluvial.* Piura: Universidad de Piura.

Rocha, A. (1993). *Seminario: Diseño de Presas de Tierra.* Lima: Comité Peruano de Grandes Presas.

Rocha, A. (2006). La Problemática de la Sedimentación de Embalses en el aprovechamiento de los ríos peruanos, aplicada al Embalse de Poechos. *Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente*, (págs. 1-42).

Rocha, A. (2007). El Meganiño 1982-83 "La madre de todos los niños". *II Congreso Internacional "Obras de Saneamiento, Hidráulica, Hidrología y Medio Ambiente"*. Lima.

Rocha, A. (2017). *El Meganiño 1997-98.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

SENAMHI. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú.* Lima.

Sotelo, G. (2009). *Hidráulica general.* México DF: Limusa S.A. .

Spokane Public Radio. (3 de Febrero de 2016). *Spokane Public Radio*. Obtenido de Spokane Public Radio: https://www.spokanepublicradio.org

Takahashi, K. (2017). Fenómeno El Niño: "Global" vs "Costero". *Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*, 1-7.

Takashi, K., & Dewitte, B. (2016). *Strong and moderate nonlinear El Niño regimes.* Lima: Instituto Geofísico del Perú.

Trenberth, K. (1997). The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2771-2777.

Versgui. (16 de Juli0 de 2007). *Wikipedia*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barrage_de_Roselend_2.jpg

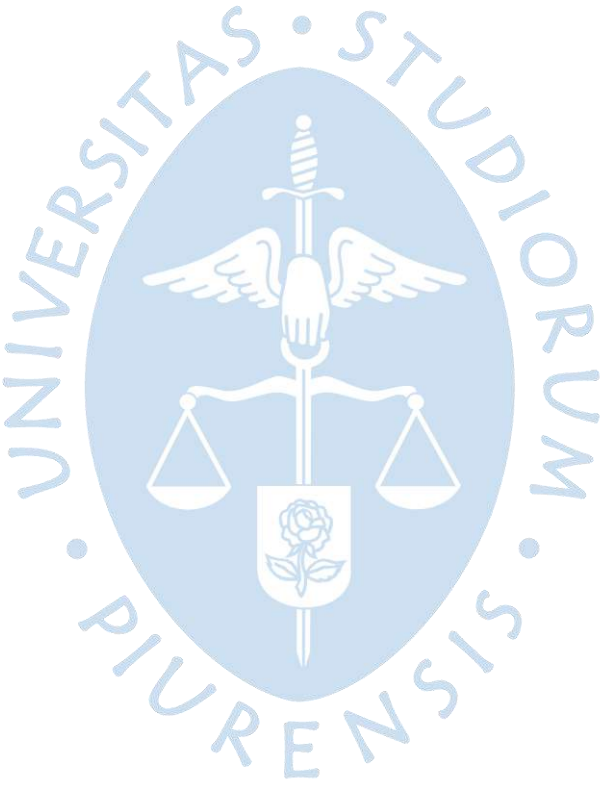
Villón, M. (2007). *Hidráulica de Canales.* Lima: Editorial Villón.

Weather Spark. (31 de Diciembre de 2016). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: https://es.weatherspark.com

Zamora, J. (2004). *Estudio teórico experimental de algunos tipos de estructuras de control.* Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

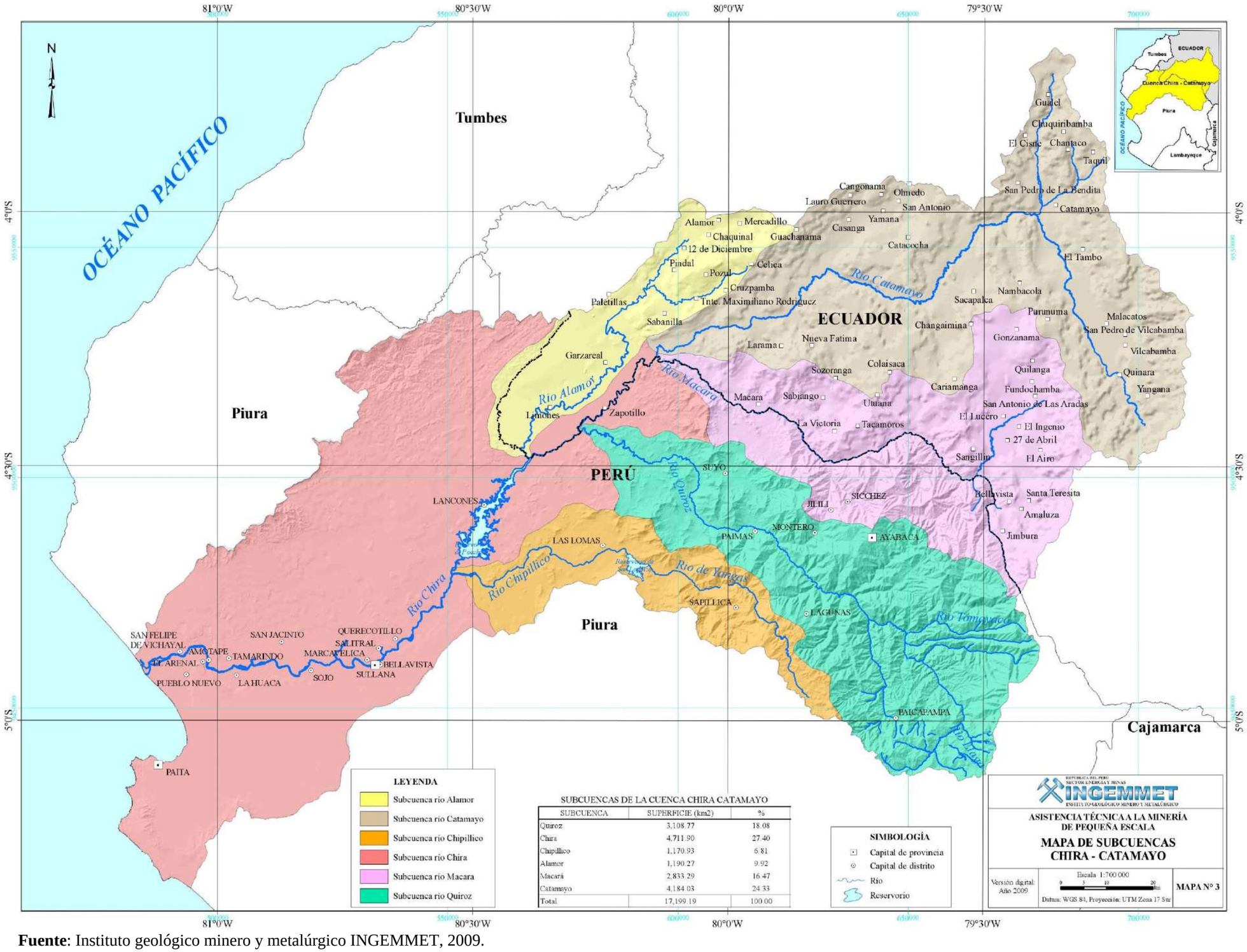
Anexos



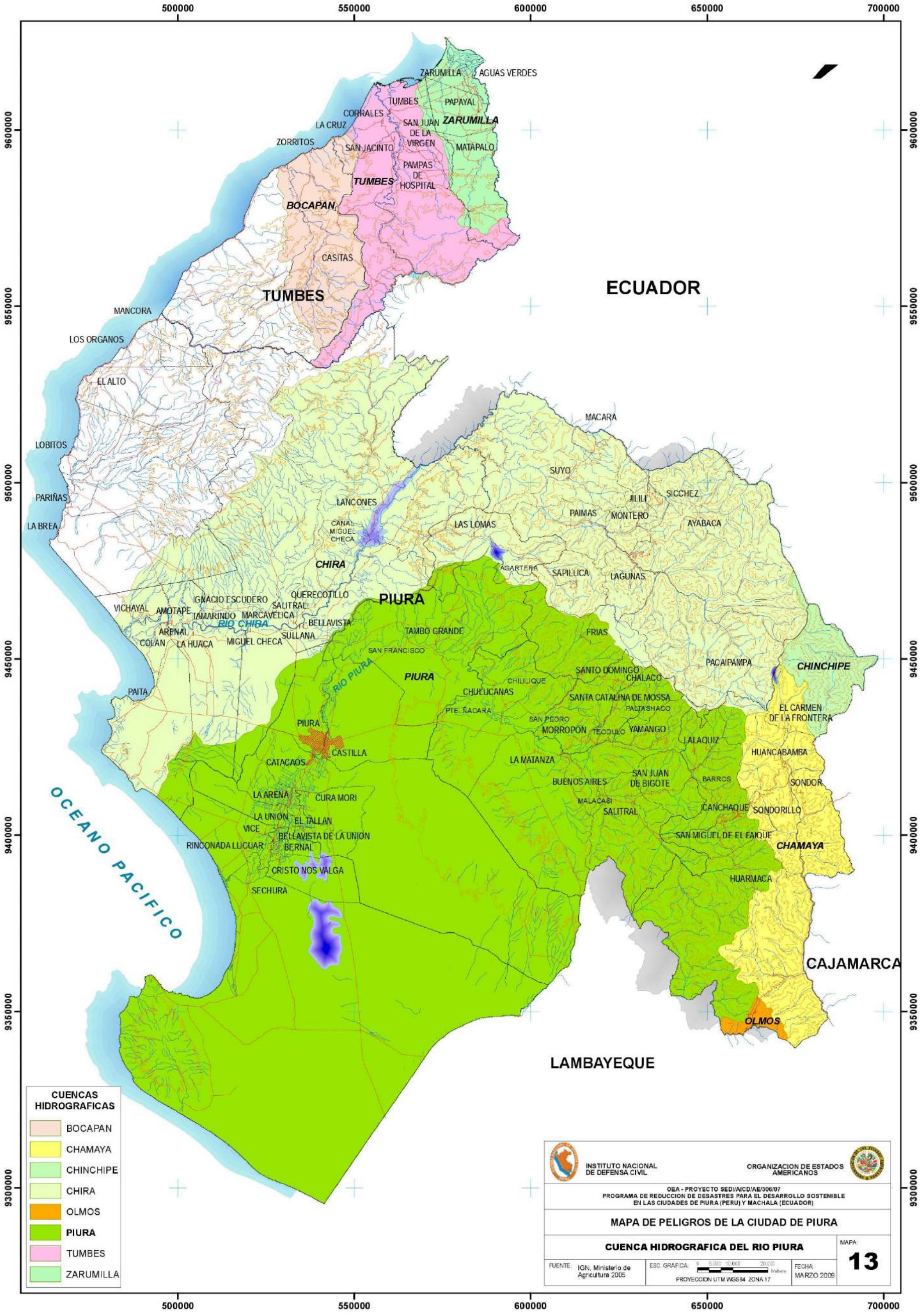
UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Anexo A: Cuenca del río Chira y el río Piura

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS



Fuente: Instituto geológico minero y metalúrgico INGEMMET, 2009.



Fuente: OEA – Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07, 2009

Anexo B: Datos de las avenidas máximas 2017

DATOS INICIALES							
Fecha	PRESA EJIDOS						
	COTA EMBALSE (m.s.n.m.)		PTE. SANCHEZ CERRO (m^3/s)			CANAL PRINCIPAL (m^3/s)	
	07:00Hrs	Máxima 24 Hrs	07:00Hrs	Promedio 24 Hrs	Máxima 24 Hrs	07:00Hrs	Promedio 24 Hrs
26/01	30.33	30.68	0.00	0.50	7	0.00	1.25
27/01	30.68	30.70	7.00	5.29	10	5.00	2.08
28/01	30.68	30.69	5.00	7.71	18	5.00	1.88
29/01	30.68	30.70	9.00	11.92	14	0.00	2.58
30/01	30.68	30.69	14.00	13.54	23	7.00	7.00
31/01	30.63	30.63	18.00	19.42	27	7.00	7.00
01/02	30.60	30.65	27.00	30.42	46	6.50	6.50
02/02	30.65	30.70	46.00	97.27	168	6.50	6.50
03/02	30.52	30.57	137.00	167.07	213	6.50	6.60
04/02	30.53	30.60	213.00	248.79	267	7.00	7.00
05/02	30.60	30.60	267.00	242.83	267	7.00	7.29
06/02	30.55	30.55	204.00	179.71	204	8.00	8.00
07/02	30.48	30.54	192.50	143.79	192	8.00	8.00
08/02	30.52	30.63	134.00	182.58	241	8.00	8.00
09/02	30.60	30.60	229.00	161.12	229	8.00	8.00
10/02	30.55	30.57	126.00	141.62	150	8.00	5.50
11/02	30.49	30.49	135.00	167.29	310	0.00	3.75
12/02	30.41	30.61	310.00	465.38	602	9.00	9.67
13/02	30.60	30.60	602.00	466.88	602	5.00	9.35
14/02	30.50	30.53	252.00	203.00	252	10.80	10.80
15/02	30.42	30.57	181.00	160.84	181	10.80	10.80
16/02	30.51	30.52	147.20	136.62	147	10.80	10.80
17/02	30.52	30.72	141.00	309.46	425	10.80	10.80
18/02	30.49	30.67	389.00	316.02	389	10.80	10.80
19/02	30.54	30.54	244.00	213.75	244	10.80	12.52
20/02	30.45	30.52	170.00	158.71	181	16.60	16.60
21/02	30.50	30.55	181.00	293.83	442	16.60	16.60
22/02	30.50	30.58	442.00	456.67	466	16.60	16.60
23/02	30.52	30.57	454.00	510.33	568	16.60	16.60
24/02	30.50	30.60	568.00	666.00	716	16.60	16.60
25/02	30.60	31.50	716.00	918.58	1089	16.60	16.60
26/02	31.50	32.10	1054.00	1122.75	1236	16.60	18.86
27/02	32.10	32.44	1236.00	1520.29	1610	27.50	27.50
28/02	31.80	31.80	1290.00	867.79	1290	27.50	27.50
01/03	30.60	31.28	497.00	760.00	1250	27.50	27.50
02/03	31.28	31.31	1065.00	821.33	1100	27.50	27.50
03/03	30.50	32.25	497.00	724.46	1314	27.50	28.00

04/03	32.25	32.65	1314.00	1642.75	1931	29.50	20.48
05/03	32.65	32.65	1931.00	1820.42	1977	15.00	15.00
06/03	31.00	31.30	1124.00	906.75	1162	15.00	23.00
07/03	31.20	31.88	1162.00	1300.42	1459	24.00	28.40
08/03	31.88	31.88	1459.00	1328.58	1459	30.00	29.42
09/03	31.60	32.90	1286.00	1663.38	1926	28.00	27.33
10/03	32.90	32.90	1926.00	1685.46	2019	27.00	27.00
11/03	31.30	31.70	1226.00	1273.29	1352	27.00	27.00
12/03	31.40	31.40	1211.00	933.96	1211	27.00	27.00
13/03	31.30	30.70	947.00	863.33	947	27.00	25.00
14/03	30.70	32.00	759.00	1140.04	1440	25.00	25.00
15/03	32.00	32.00	1440.00	1080.29	1441	25.00	25.00
16/03	30.84	31.20	773.00	645.58	773	25.00	21.00
17/03	30.80	32.10	653.00	1096.71	1347	19.00	19.00
18/03	32.00	32.40	1336.00	1420.25	1527	19.00	19.00
19/03	32.40	30.50	1527.00	1504.79	1648	19.00	19.71
20/03	30.50	32.70	1648.00	1701.92	1710	22.00	22.00
21/03	32.70	32.70	1710.00	1558.21	1710	22.00	21.83
22/03	32.00	32.50	1421.00	1543.79	1607	20.00	19.08
23/03	32.10	32.10	1494.00	988.17	1494	19.00	17.50
24/03	31.15	31.80	836.00	1000.96	1074	17.00	16.17
25/03	31.80	32.00	916.00	1020.46	1437	16.00	16.00
26/03	32.00	34.40	1437.00	1988.88	3016	16.00	15.17
27/03	34.40	34.40	3016.00	2754.50	3468	14.00	14.00
28/03	31.90	32.20	1590.00	1557.46	1698	14.00	14.00
29/03	31.30	31.30	1047.00	920.46	1047	14.00	14.00
30/03	31.30	32.70	755.00	1126.38	1338	14.00	14.00
31/03	32.70	33.50	1338.00	2254.00	2254	14.00	14.00
01/04	33.50	33.50	2204.00	1764.92	2204	14.00	14.00
02/04	31.70	31.70	1041.00	880.54	1041	14.00	14.00
03/04	31.10	31.30	679.00	599.92	679	14.00	7.00
04/04	31.30	31.90	602.00	731.12	884	6.00	6.00
05/04	31.50	31.60	638.00	579.63	642	6.00	6.00
06/04	31.30	31.30	439.00	417.33	439	6.00	6.44
07/04	31.10	31.10	371.00	353.08	371	6.50	6.81
08/04	30.95	31.50	342.00	424.67	491	7.00	8.08
09/04	31.20	31.30	414.00	389.13	470	8.00	11.75
10/04	31.30	31.50	470.00	487.08	549	18.00	18.00
11/04	31.50	31.80	501.00	616.29	766	18.00	19.25
12/04	31.30	31.30	439.00	402.58	439	19.50	19.50
13/04	30.97	31.00	381.00	359.75	381	19.50	19.50
14/04	30.90	30.90	339.00	330.38	339	19.50	19.50
15/04	30.80	30.80	318.00	289.67	318	19.50	19.50
16/04	30.65	30.65	280.00	262.50	284	19.50	20.16
17/04	30.53	30.67	254.00	244.63	254	24.40	24.40

18/04	30.67	30.70	229.00	223.54	256	24.40	25.48
19/04	30.60	30.70	198.00	215.67	277	27.80	27.05
20/04	30.70	30.90	277.00	347.54	380	26.80	28.80
21/04	30.70	30.70	319.00	323.13	367	28.80	29.55
22/04	30.68	30.70	245.00	229.50	245	29.80	31.38
23/04	30.58	30.60	218.00	195.25	218	31.80	31.80
24/04	30.60	30.60	204.00	177.13	204	31.80	30.30
25/04	30.50	30.65	158.00	158.80	159	29.80	30.10
26/04	30.65	30.70	159.00	211.71	354	31.00	30.42
27/04	30.60	30.70	316.00	300.46	375	30.00	30.00
28/04	30.60	30.60	312.00	238.17	312	30.00	30.00
29/04	30.60	30.70	204.00	192.87	207	30.00	30.00
30/04	30.70	30.70	188.00	176.00	188	30.00	30.00
01/05	30.65	30.65	170.00	165.63	170	30.00	30.00
02/05	30.50	30.50	149.00	157.33	172	30.00	30.00
03/05	30.59	30.59	152.00	147.92	152	30.00	30.00
04/05	30.60	30.60	141.00	144.75	159	30.00	30.00
05/05	30.60	30.60	136.00	143.50	150	30.00	30.00
06/05	30.60	30.60	150.00	151.38	159	30.00	30.00
07/05	30.54	30.54	153.00	186.54	207	30.00	29.25
08/05	30.60	30.60	191.00	207.96	250	28.00	28.00
09/05	30.60	30.60	224.00	202.45	224	28.00	28.00
10/05	30.65	30.65	206.80	221.53	256	28.00	28.33
11/05	30.60	30.60	246.00	218.33	246	29.00	29.00
12/05	30.60	30.60	191.00	195.92	208	29.00	29.00
13/05	30.60	30.60	172.00	173.17	186	29.00	29.00
14/05	30.60	30.60	172.00	169.50	172	29.00	28.63
15/05	30.60	30.60	172.00	171.83	185	27.50	24.27
16/05	30.60	30.60	185.00	166.21	185	15.00	25.95
17/05	30.58	30.58	158.00	153.42	158	27.80	28.05
18/05	30.50	30.50	148.00	142.38	150	28.80	28.74
19/05	30.60	30.60	150.00	142.63	150	28.50	28.50
20/05	30.58	30.58	141.00	136.63	141	28.30	28.30
21/05	30.58	30.58	131.00	138.33	142	28.30	28.30
22/05	30.60	30.60	142.00	138.08	142	28.30	27.39
23/05	30.61	30.61	137.00	138.00	141	27.40	27.40
24/05	30.60	30.60	137.00	131.58	137	27.40	27.60
25/05	30.60	30.60	132.00	129.58	133	27.60	27.60
26/05	30.60	30.60	133.00	128.42	133	27.60	27.52
27/05	30.60	30.60	128.00	124.17	128.00	27.40	27.40
28/05	30.58	30.58	123.00	121.54	128.00	27.10	27.48
29/05	30.57	30.57	128.00	120.54	128.00	30.20	30.20
30/05	30.52	30.52	112.00	118.83	123.00	30.20	30.20
31/05	30.58	30.58	123.00	118.00	123.00	30.20	30.20

Fuente: PECHP, recopilación: Farías, M.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndices

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice 1: Coeficientes de descarga

Fecha	DATOS		COEFICIENTES						
	PRESA LOS EJIDOS		Cota aguas arriba (y1 = h)		Abertura de compuerta (a=4.2)		Coeficiente de descarga (Cd)		u' final (CdCL*kappa)
	COTA EMBALSE (msnm)		AC	CL	a/y1 = h/y1		AC	CL	CL
	07:00Hrs	Máxima 24 Hrs			AC	CL			
26/01/2017	30.33	30.68	3.68	5.68	1.141304348	0.73943662	0.474457712	0.513388117	0.30803287
27/01/2017	30.68	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
28/01/2017	30.68	30.69	3.69	5.69	1.138211382	0.738137083	0.474724344	0.513529985	0.308117991
29/01/2017	30.68	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
30/01/2017	30.68	30.69	3.69	5.69	1.138211382	0.738137083	0.474724344	0.513529985	0.308117991
31/01/2017	30.63	30.63	3.63	5.63	1.157024793	0.746003552	0.473109428	0.512673011	0.307603807
01/02/2017	30.60	30.65	3.65	5.65	1.150684932	0.743362832	0.47365179	0.512960213	0.307776128
02/02/2017	30.65	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
03/02/2017	30.52	30.57	3.57	5.57	1.176470588	0.754039497	0.471457431	0.51180199	0.307081194
04/02/2017	30.53	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
05/02/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
06/02/2017	30.55	30.55	3.55	5.55	1.183098592	0.756756757	0.470898297	0.511508468	0.306905081
07/02/2017	30.48	30.54	3.54	5.54	1.186440678	0.758122744	0.470617115	0.511361102	0.306816661
08/02/2017	30.52	30.63	3.63	5.63	1.157024793	0.746003552	0.473109428	0.512673011	0.307603807
09/02/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
10/02/2017	30.55	30.57	3.57	5.57	1.176470588	0.754039497	0.471457431	0.51180199	0.307081194
11/02/2017	30.49	30.49	3.49	5.49	1.203438395	0.765027322	0.469194787	0.510618166	0.3063709
12/02/2017	30.41	30.61	3.61	5.61	1.163434903	0.748663102	0.472562947	0.512384249	0.307430549
13/02/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
14/02/2017	30.50	30.53	3.53	5.53	1.1898017	0.759493671	0.470334847	0.511213332	0.306727999

15/02/2017	30.42	30.57	3.57	5.57	1.176470588	0.754039497	0.471457431	0.51180199	0.307081194
16/02/2017	30.51	30.52	3.52	5.52	1.193181818	0.760869565	0.470051486	0.511065155	0.306639093
17/02/2017	30.52	30.72	3.72	5.72	1.129032258	0.734265734	0.475518293	0.513953311	0.308371987
18/02/2017	30.49	30.67	3.67	5.67	1.144414169	0.740740741	0.47419008	0.513245867	0.30794752
19/02/2017	30.54	30.54	3.54	5.54	1.186440678	0.758122744	0.470617115	0.511361102	0.306816661
20/02/2017	30.45	30.52	3.52	5.52	1.193181818	0.760869565	0.470051486	0.511065155	0.306639093
21/02/2017	30.50	30.55	3.55	5.55	1.183098592	0.756756757	0.470898297	0.511508468	0.306905081
22/02/2017	30.50	30.58	3.58	5.58	1.173184358	0.752688172	0.471735394	0.511948151	0.30716889
23/02/2017	30.52	30.57	3.57	5.57	1.176470588	0.754039497	0.471457431	0.51180199	0.307081194
24/02/2017	30.50	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
25/02/2017	30.60	31.5	4.50	6.50	0.933333333	0.646153846	0.493453768	0.523880512	0.314328307
26/02/2017	31.50	32.1	5.10	7.10	0.823529412	0.591549296	0.504450597	0.530329114	0.318197469
27/02/2017	32.10	32.44	5.44	7.44	0.772058824	0.564516129	0.509864892	0.533611039	0.320166623
28/02/2017	31.80	31.8	4.80	6.80	0.875	0.617647059	0.499205203	0.527217522	0.316330513
01/03/2017	30.60	31.28	4.28	6.28	0.981308411	0.668789809	0.488869725	0.521275407	0.312765244
02/03/2017	31.28	31.31	4.31	6.31	0.974477958	0.665610143	0.489514586	0.521639001	0.3129834
03/03/2017	30.50	32.25	5.25	7.25	0.8	0.579310345	0.506904204	0.531807446	0.319084468
04/03/2017	32.25	32.65	5.65	7.65	0.743362832	0.549019608	0.512960213	0.535520068	0.321312041
05/03/2017	32.65	32.65	5.65	7.65	0.743362832	0.549019608	0.512960213	0.535520068	0.321312041
06/03/2017	31.00	31.3	4.30	6.30	0.976744186	0.666666667	0.489300349	0.521518103	0.312910862
07/03/2017	31.20	31.88	4.88	6.88	0.860655738	0.610465116	0.500650566	0.528068347	0.316841008
08/03/2017	31.88	31.88	4.88	6.88	0.860655738	0.610465116	0.500650566	0.528068347	0.316841008
09/03/2017	31.60	32.9	5.90	7.90	0.711864407	0.53164557	0.516423587	0.537684948	0.322610969
10/03/2017	32.90	32.9	5.90	7.90	0.711864407	0.53164557	0.516423587	0.537684948	0.322610969
11/03/2017	31.30	31.7	4.70	6.70	0.893617021	0.626865672	0.49734784	0.526131422	0.315678853
12/03/2017	31.40	31.4	4.40	6.40	0.954545455	0.65625	0.491411097	0.522713761	0.313628256
13/03/2017	31.30	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
14/03/2017	30.70	32	5.00	7.00	0.84	0.6	0.502754119	0.529315527	0.317589316

15/03/2017	32.00	32	5.00	7.00	0.84	0.6	0.502754119	0.529315527	0.317589316
16/03/2017	30.84	31.2	4.20	6.20	1	0.677419355	0.487118005	0.520292442	0.312175465
17/03/2017	30.80	32.1	5.10	7.10	0.823529412	0.591549296	0.504450597	0.530329114	0.318197469
18/03/2017	32.00	32.4	5.40	7.40	0.777777778	0.567567568	0.509254681	0.53323753	0.319942518
19/03/2017	32.40	30.5	3.50	5.50	1.2	0.763636364	0.469481463	0.510767574	0.306460544
20/03/2017	30.50	32.7	5.70	7.70	0.736842105	0.545454545	0.513671472	0.535962158	0.321577295
21/03/2017	32.70	32.7	5.70	7.70	0.736842105	0.545454545	0.513671472	0.535962158	0.321577295
22/03/2017	32.00	32.5	5.50	7.50	0.763636364	0.56	0.510767574	0.534165276	0.320499165
23/03/2017	32.10	32.1	5.10	7.10	0.823529412	0.591549296	0.504450597	0.530329114	0.318197469
24/03/2017	31.15	31.8	4.80	6.80	0.875	0.617647059	0.499205203	0.527217522	0.316330513
25/03/2017	31.80	32	5.00	7.00	0.84	0.6	0.502754119	0.529315527	0.317589316
26/03/2017	32.00	34.4	7.40	9.40	0.567567568	0.446808511	0.53323753	0.548646512	0.329187907
27/03/2017	34.40	34.4	7.40	9.40	0.567567568	0.446808511	0.53323753	0.548646512	0.329187907
28/03/2017	31.90	32.2	5.20	7.20	0.807692308	0.583333333	0.506098128	0.53132015	0.31879209
29/03/2017	31.30	31.3	4.30	6.30	0.976744186	0.666666667	0.489300349	0.521518103	0.312910862
30/03/2017	31.30	32.7	5.70	7.70	0.736842105	0.545454545	0.513671472	0.535962158	0.321577295
31/03/2017	32.70	33.5	6.50	8.50	0.646153846	0.494117647	0.523880512	0.542452139	0.325471283
01/04/2017	33.50	33.5	6.50	8.50	0.646153846	0.494117647	0.523880512	0.542452139	0.325471283
02/04/2017	31.70	31.7	4.70	6.70	0.893617021	0.626865672	0.49734784	0.526131422	0.315678853
03/04/2017	31.10	31.3	4.30	6.30	0.976744186	0.666666667	0.489300349	0.521518103	0.312910862
04/04/2017	31.30	31.9	4.90	6.90	0.857142857	0.608695652	0.50100645	0.528278603	0.316967162
05/04/2017	31.50	31.6	4.60	6.60	0.913043478	0.636363636	0.495431657	0.525019401	0.315011641
06/04/2017	31.30	31.3	4.30	6.30	0.976744186	0.666666667	0.489300349	0.521518103	0.312910862
07/04/2017	31.10	31.1	4.10	6.10	1.024390244	0.68852459	0.484860288	0.519035623	0.311421374
08/04/2017	30.95	31.5	4.50	6.50	0.933333333	0.646153846	0.493453768	0.523880512	0.314328307
09/04/2017	31.20	31.3	4.30	6.30	0.976744186	0.666666667	0.489300349	0.521518103	0.312910862
10/04/2017	31.30	31.5	4.50	6.50	0.933333333	0.646153846	0.493453768	0.523880512	0.314328307
11/04/2017	31.50	31.8	4.80	6.80	0.875	0.617647059	0.499205203	0.527217522	0.316330513

12/04/2017	31.30	31.3	4.30	6.30	0.976744186	0.666666667	0.489300349	0.521518103	0.312910862
13/04/2017	30.97	31	4.00	6.00	1.05	0.7	0.482523148	0.517746431	0.310647859
14/04/2017	30.90	30.9	3.90	5.90	1.076923077	0.711864407	0.480102234	0.516423587	0.309854152
15/04/2017	30.80	30.8	3.80	5.80	1.105263158	0.724137931	0.477592861	0.515065741	0.309039445
16/04/2017	30.65	30.65	3.65	5.65	1.150684932	0.743362832	0.47365179	0.512960213	0.307776128
17/04/2017	30.53	30.67	3.67	5.67	1.144414169	0.740740741	0.47419008	0.513245867	0.30794752
18/04/2017	30.67	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
19/04/2017	30.60	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
20/04/2017	30.70	30.9	3.90	5.90	1.076923077	0.711864407	0.480102234	0.516423587	0.309854152
21/04/2017	30.70	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
22/04/2017	30.68	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
23/04/2017	30.58	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
24/04/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
25/04/2017	30.50	30.65	3.65	5.65	1.150684932	0.743362832	0.47365179	0.512960213	0.307776128
26/04/2017	30.65	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
27/04/2017	30.60	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
28/04/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
29/04/2017	30.60	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
30/04/2017	30.70	30.7	3.70	5.70	1.135135135	0.736842105	0.474989981	0.513671472	0.308202883
01/05/2017	30.65	30.65	3.65	5.65	1.150684932	0.743362832	0.47365179	0.512960213	0.307776128
02/05/2017	30.50	30.5	3.50	5.50	1.2	0.763636364	0.469481463	0.510767574	0.306460544
03/05/2017	30.59	30.59	3.59	5.59	1.169916435	0.751341682	0.472012297	0.512093913	0.307256348
04/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
05/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
06/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
07/05/2017	30.54	30.54	3.54	5.54	1.186440678	0.758122744	0.470617115	0.511361102	0.306816661
08/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
09/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567

10/05/2017	30.65	30.65	3.65	5.65	1.150684932	0.743362832	0.47365179	0.512960213	0.307776128
11/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
12/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
13/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
14/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
15/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
16/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
17/05/2017	30.58	30.58	3.58	5.58	1.173184358	0.752688172	0.471735394	0.511948151	0.30716889
18/05/2017	30.50	30.5	3.50	5.50	1.2	0.763636364	0.469481463	0.510767574	0.306460544
19/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
20/05/2017	30.58	30.58	3.58	5.58	1.173184358	0.752688172	0.471735394	0.511948151	0.30716889
21/05/2017	30.58	30.58	3.58	5.58	1.173184358	0.752688172	0.471735394	0.511948151	0.30716889
22/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
23/05/2017	30.61	30.61	3.61	5.61	1.163434903	0.748663102	0.472562947	0.512384249	0.307430549
24/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
25/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
26/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
27/05/2017	30.60	30.6	3.60	5.60	1.166666667	0.75	0.472288146	0.512239279	0.307343567
28/05/2017	30.58	30.58	3.58	5.58	1.173184358	0.752688172	0.471735394	0.511948151	0.30716889
29/05/2017	30.57	30.57	3.57	5.57	1.176470588	0.754039497	0.471457431	0.51180199	0.307081194
30/05/2017	30.52	30.52	3.52	5.52	1.193181818	0.760869565	0.470051486	0.511065155	0.306639093
31/05/2017	30.58	30.58	3.58	5.58	1.173184358	0.752688172	0.471735394	0.511948151	0.30716889

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2: Variante 1

Fecha	befect=0.95breal				befect=0.92breal		V1
	Vertedero Libre		Aliviadero de Compuertas		Canal de limpia		
	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	Qtotal (m3/s)
	ancho efect			x56		X16	
26/01/2017	0.16	18.40	16.93	900.81	13.66	201.04	1,120.25
27/01/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
28/01/2017	0.17	19.87	16.96	902.54	13.67	201.27	1,123.68
29/01/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
30/01/2017	0.17	19.87	16.96	902.54	13.67	201.27	1,123.68
31/01/2017	0.10	11.64	16.77	892.12	13.58	199.87	1,103.64
01/02/2017	0.12	14.22	16.83	895.60	13.61	200.34	1,110.16
02/02/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
03/02/2017	0.04	5.03	16.57	881.63	13.48	198.47	1,085.13
04/02/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
05/02/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
06/02/2017	0.03	3.27	16.51	878.12	13.45	198.00	1,079.38
07/02/2017	0.02	2.48	16.47	876.35	13.43	197.76	1,076.60
08/02/2017	0.10	11.64	16.77	892.12	13.58	199.87	1,103.64
09/02/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
10/02/2017	0.04	5.03	16.57	881.63	13.48	198.47	1,085.13
11/02/2017	-	-	16.31	867.51	13.35	196.58	1,064.09
12/02/2017	0.08	9.24	16.70	888.64	13.55	199.40	1,097.28
13/02/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
14/02/2017	0.02	1.78	16.44	874.59	13.42	197.53	1,073.89
15/02/2017	0.04	5.03	16.57	881.63	13.48	198.47	1,085.13
16/02/2017	0.01	1.15	16.41	872.83	13.40	197.29	1,071.27
17/02/2017	0.21	24.51	17.06	907.71	13.72	201.97	1,134.19
18/02/2017	0.15	16.97	16.90	899.07	13.64	200.81	1,116.85
19/02/2017	0.02	2.48	16.47	876.35	13.43	197.76	1,076.60
20/02/2017	0.01	1.15	16.41	872.83	13.40	197.29	1,071.27
21/02/2017	0.03	3.27	16.51	878.12	13.45	198.00	1,079.38
22/02/2017	0.05	6.00	16.60	883.39	13.50	198.70	1,088.09
23/02/2017	0.04	5.03	16.57	881.63	13.48	198.47	1,085.13
24/02/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
25/02/2017	1.98	225.52	19.47	1,036.01	14.91	219.46	1,480.99
26/02/2017	3.98	453.89	21.19	1,127.49	15.77	232.18	1,813.56
27/02/2017	5.31	605.00	22.12	1,176.97	16.25	239.15	2,021.12
28/02/2017	2.92	333.13	20.35	1,082.46	15.35	225.89	1,641.48
01/03/2017	1.37	156.01	18.82	1,000.98	14.58	214.64	1,371.63
02/03/2017	1.45	164.98	18.91	1,005.81	14.63	215.30	1,386.09
03/03/2017	4.55	518.77	21.61	1,149.52	15.98	235.28	1,903.57
04/03/2017	6.19	705.32	22.68	1,206.75	16.53	243.37	2,155.44
05/03/2017	6.19	705.32	22.68	1,206.75	16.53	243.37	2,155.44
06/03/2017	1.42	161.97	18.88	1,004.20	14.61	215.08	1,381.25
07/03/2017	3.19	364.11	20.58	1,094.60	15.46	227.58	1,686.29
08/03/2017	3.19	364.11	20.58	1,094.60	15.46	227.58	1,686.29

09/03/2017	7.29	831.25	23.34	1,241.49	16.87	248.31	2,321.05
10/03/2017	7.29	831.25	23.34	1,241.49	16.87	248.31	2,321.05
11/03/2017	2.59	295.72	20.06	1,067.14	15.20	223.76	1,586.62
12/03/2017	1.69	192.87	19.18	1,020.19	14.76	217.28	1,430.34
13/03/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
14/03/2017	3.62	412.26	20.91	1,112.63	15.63	230.10	1,754.99
15/03/2017	3.62	412.26	20.91	1,112.63	15.63	230.10	1,754.99
16/03/2017	1.17	132.92	18.57	988.03	14.46	212.86	1,333.81
17/03/2017	3.98	453.89	21.19	1,127.49	15.77	232.18	1,813.56
18/03/2017	5.14	586.49	22.02	1,171.23	16.19	238.34	1,996.05
19/03/2017	0.00	0.22	16.34	869.29	13.37	196.82	1,066.33
20/03/2017	6.40	729.95	22.82	1,213.76	16.60	244.36	2,188.08
21/03/2017	6.40	729.95	22.82	1,213.76	16.60	244.36	2,188.08
22/03/2017	5.55	633.14	22.28	1,185.54	16.33	240.36	2,059.04
23/03/2017	3.98	453.89	21.19	1,127.49	15.77	232.18	1,813.56
24/03/2017	2.92	333.13	20.35	1,082.46	15.35	225.89	1,641.48
25/03/2017	3.62	412.26	20.91	1,112.63	15.63	230.10	1,754.99
26/03/2017	15.07	1,717.80	26.99	1,435.64	18.78	276.38	3,429.83
27/03/2017	15.07	1,717.80	26.99	1,435.64	18.78	276.38	**3,429.83**
28/03/2017	4.36	496.82	21.47	1,142.21	15.91	234.25	1,873.29
29/03/2017	1.42	161.97	18.88	1,004.20	14.61	215.08	1,381.25
30/03/2017	6.40	729.95	22.82	1,213.76	16.60	244.36	2,188.08
31/03/2017	10.18	1,160.26	24.85	1,321.90	17.65	259.85	2,742.02
01/04/2017	10.18	1,160.26	24.85	1,321.90	17.65	259.85	2,742.02
02/04/2017	2.59	295.72	20.06	1,067.14	15.20	223.76	1,586.62
03/04/2017	1.42	161.97	18.88	1,004.20	14.61	215.08	1,381.25
04/04/2017	3.26	371.99	20.63	1,097.62	15.49	228.01	1,697.62
05/04/2017	2.28	259.83	19.77	1,051.65	15.06	221.62	1,533.10
06/04/2017	1.42	161.97	18.88	1,004.20	14.61	215.08	1,381.25
07/04/2017	0.93	105.85	18.26	971.67	14.31	210.63	1,288.15
08/04/2017	1.98	225.52	19.47	1,036.01	14.91	219.46	1,480.99
09/04/2017	1.42	161.97	18.88	1,004.20	14.61	215.08	1,381.25
10/04/2017	1.98	225.52	19.47	1,036.01	14.91	219.46	1,480.99
11/04/2017	2.92	333.13	20.35	1,082.46	15.35	225.89	1,641.48
12/04/2017	1.42	161.97	18.88	1,004.20	14.61	215.08	1,381.25
13/04/2017	0.71	80.92	17.95	955.12	14.16	208.38	1,244.42
14/04/2017	0.51	58.33	17.64	938.38	14.00	206.11	1,202.81
15/04/2017	0.34	38.35	17.32	921.43	13.85	203.81	1,163.59
16/04/2017	0.12	14.22	16.83	895.60	13.61	200.34	1,110.16
17/04/2017	0.15	16.97	16.90	899.07	13.64	200.81	1,116.85
18/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
19/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
20/04/2017	0.51	58.33	17.64	938.38	14.00	206.11	1,202.81
21/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
22/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
23/04/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
24/04/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
25/04/2017	0.12	14.22	16.83	895.60	13.61	200.34	1,110.16
26/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15

27/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
28/04/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
29/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
30/04/2017	0.19	21.38	17.00	904.27	13.69	201.50	1,127.15
01/05/2017	0.12	14.22	16.83	895.60	13.61	200.34	1,110.16
02/05/2017	0.00	0.22	16.34	869.29	13.37	196.82	1,066.33
03/05/2017	0.06	7.03	16.64	885.14	13.51	198.94	1,091.10
04/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
05/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
06/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
07/05/2017	0.02	2.48	16.47	876.35	13.43	197.76	1,076.60
08/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
09/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
10/05/2017	0.12	14.22	16.83	895.60	13.61	200.34	1,110.16
11/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
12/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
13/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
14/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
15/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
16/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
17/05/2017	0.05	6.00	16.60	883.39	13.50	198.70	1,088.09
18/05/2017	0.00	0.22	16.34	869.29	13.37	196.82	1,066.33
19/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
20/05/2017	0.05	6.00	16.60	883.39	13.50	198.70	1,088.09
21/05/2017	0.05	6.00	16.60	883.39	13.50	198.70	1,088.09
22/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
23/05/2017	0.08	9.24	16.70	888.64	13.55	199.40	1,097.28
24/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
25/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
26/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
27/05/2017	0.07	8.11	16.67	886.89	13.53	199.17	1,094.16
28/05/2017	0.05	6.00	16.60	883.39	13.50	198.70	1,088.09
29/05/2017	0.04	5.03	16.57	881.63	13.48	198.47	1,085.13
30/05/2017	0.01	1.15	16.41	872.83	13.40	197.29	1,071.27
31/05/2017	0.05	6.00	16.60	883.39	13.50	198.70	1,088.09

Fuente: PECHP, elaboración propia.

Apéndice 3: **Variante 2**

Fecha	befect=0.95breal				befect=0.92breal		V2
	Vertedero Libre		Aliviadero de Compuertas		Canal de limpia		
	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	Qtotal (m3/s)
	ancho efect			x56		X16	
26/01/2017	0.16	18.40	17.34	922.25	13.98	205.82	1,146.48
27/01/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
28/01/2017	0.17	19.87	17.37	924.03	14.00	206.06	1,149.96
29/01/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
30/01/2017	0.17	19.87	17.37	924.03	14.00	206.06	1,149.96
31/01/2017	0.10	11.64	17.17	913.37	13.90	204.63	1,129.63
01/02/2017	0.12	14.22	17.24	916.93	13.93	205.11	1,136.26
02/02/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
03/02/2017	0.04	5.03	16.97	902.62	13.80	203.19	1,110.84
04/02/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
05/02/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
06/02/2017	0.03	3.27	16.90	899.02	13.77	202.71	1,105.00
07/02/2017	0.02	2.48	16.87	897.22	13.75	202.47	1,102.17
08/02/2017	0.10	11.64	17.17	913.37	13.90	204.63	1,129.63
09/02/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
10/02/2017	0.04	5.03	16.97	902.62	13.80	203.19	1,110.84
11/02/2017	-	-	16.69	888.17	13.67	201.26	1,089.43
12/02/2017	0.08	9.24	17.10	909.79	13.87	204.15	1,123.18
13/02/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
14/02/2017	0.02	1.78	16.83	895.41	13.74	202.23	1,099.42
15/02/2017	0.04	5.03	16.97	902.62	13.80	203.19	1,110.84
16/02/2017	0.01	1.15	16.80	893.61	13.72	201.99	1,096.75
17/02/2017	0.21	24.51	17.47	929.33	14.05	206.78	1,160.61
18/02/2017	0.15	16.97	17.30	920.48	13.97	205.59	1,143.04
19/02/2017	0.02	2.48	16.87	897.22	13.75	202.47	1,102.17
20/02/2017	0.01	1.15	16.80	893.61	13.72	201.99	1,096.75
21/02/2017	0.03	3.27	16.90	899.02	13.77	202.71	1,105.00
22/02/2017	0.05	6.00	17.00	904.42	13.82	203.43	1,113.85
23/02/2017	0.04	5.03	16.97	902.62	13.80	203.19	1,110.84
24/02/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
25/02/2017	1.98	225.52	19.94	1,060.67	15.26	224.68	1,510.88
26/02/2017	3.98	453.89	21.70	1,154.34	16.15	237.71	1,845.94
27/02/2017	5.31	605.00	22.65	1,204.99	16.63	244.84	2,054.84
28/02/2017	2.92	333.13	20.83	1,108.23	15.71	231.27	1,672.63
01/03/2017	1.37	156.01	19.26	1,024.81	14.93	219.75	1,400.57
02/03/2017	1.45	164.98	19.36	1,029.75	14.97	220.43	1,415.16
03/03/2017	4.55	518.77	22.12	1,176.89	16.36	240.88	1,936.54
04/03/2017	6.19	705.32	23.22	1,235.49	16.93	249.16	2,189.97
05/03/2017	6.19	705.32	23.22	1,235.49	16.93	249.16	2,189.97
06/03/2017	1.42	161.97	19.33	1,028.11	14.96	220.20	1,410.28
07/03/2017	3.19	364.11	21.07	1,120.66	15.83	233.00	1,717.77
08/03/2017	3.19	364.11	21.07	1,120.66	15.83	233.00	1,717.77

09/03/2017	7.29	831.25	23.89	1,271.05	17.27	254.23	2,356.52
10/03/2017	7.29	831.25	23.89	1,271.05	17.27	254.23	2,356.52
11/03/2017	2.59	295.72	20.54	1,092.54	15.56	229.09	1,617.36
12/03/2017	1.69	192.87	19.63	1,044.48	15.11	222.45	1,459.80
13/03/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
14/03/2017	3.62	412.26	21.41	1,139.12	16.00	235.58	1,786.96
15/03/2017	3.62	412.26	21.41	1,139.12	16.00	235.58	1,786.96
16/03/2017	1.17	132.92	19.01	1,011.55	14.81	217.93	1,362.41
17/03/2017	3.98	453.89	21.70	1,154.34	16.15	237.71	1,845.94
18/03/2017	5.14	586.49	22.54	1,199.12	16.58	244.01	2,029.62
19/03/2017	0.00	0.22	16.73	889.98	13.69	201.50	1,091.71
20/03/2017	6.40	729.95	23.36	1,242.66	17.00	250.18	2,222.80
21/03/2017	6.40	729.95	23.36	1,242.66	17.00	250.18	2,222.80
22/03/2017	5.55	633.14	22.82	1,213.76	16.72	246.08	2,092.99
23/03/2017	3.98	453.89	21.70	1,154.34	16.15	237.71	1,845.94
24/03/2017	2.92	333.13	20.83	1,108.23	15.71	231.27	1,672.63
25/03/2017	3.62	412.26	21.41	1,139.12	16.00	235.58	1,786.96
26/03/2017	15.07	1,717.80	27.63	1,469.83	19.22	282.97	3,470.59
27/03/2017	15.07	1,717.80	27.63	1,469.83	19.22	282.97	**3,470.59**
28/03/2017	4.36	496.82	21.98	1,169.41	16.29	239.83	1,906.06
29/03/2017	1.42	161.97	19.33	1,028.11	14.96	220.20	1,410.28
30/03/2017	6.40	729.95	23.36	1,242.66	17.00	250.18	2,222.80
31/03/2017	10.18	1,160.26	25.44	1,353.38	18.07	266.04	2,779.68
01/04/2017	10.18	1,160.26	25.44	1,353.38	18.07	266.04	2,779.68
02/04/2017	2.59	295.72	20.54	1,092.54	15.56	229.09	1,617.36
03/04/2017	1.42	161.97	19.33	1,028.11	14.96	220.20	1,410.28
04/04/2017	3.26	371.99	21.12	1,123.75	15.86	233.43	1,729.18
05/04/2017	2.28	259.83	20.24	1,076.69	15.41	226.89	1,563.42
06/04/2017	1.42	161.97	19.33	1,028.11	14.96	220.20	1,410.28
07/04/2017	0.93	105.85	18.70	994.81	14.65	215.64	1,316.30
08/04/2017	1.98	225.52	19.94	1,060.67	15.26	224.68	1,510.88
09/04/2017	1.42	161.97	19.33	1,028.11	14.96	220.20	1,410.28
10/04/2017	1.98	225.52	19.94	1,060.67	15.26	224.68	1,510.88
11/04/2017	2.92	333.13	20.83	1,108.23	15.71	231.27	1,672.63
12/04/2017	1.42	161.97	19.33	1,028.11	14.96	220.20	1,410.28
13/04/2017	0.71	80.92	18.38	977.86	14.49	213.34	1,272.12
14/04/2017	0.51	58.33	18.06	960.72	14.34	211.01	1,230.06
15/04/2017	0.34	38.35	17.73	943.36	14.18	208.67	1,190.38
16/04/2017	0.12	14.22	17.24	916.93	13.93	205.11	1,136.26
17/04/2017	0.15	16.97	17.30	920.48	13.97	205.59	1,143.04
18/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
19/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
20/04/2017	0.51	58.33	18.06	960.72	14.34	211.01	1,230.06
21/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
22/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
23/04/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
24/04/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
25/04/2017	0.12	14.22	17.24	916.93	13.93	205.11	1,136.26
26/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48

27/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
28/04/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
29/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
30/04/2017	0.19	21.38	17.40	925.80	14.01	206.30	1,153.48
01/05/2017	0.12	14.22	17.24	916.93	13.93	205.11	1,136.26
02/05/2017	0.00	0.22	16.73	889.98	13.69	201.50	1,091.71
03/05/2017	0.06	7.03	17.03	906.21	13.84	203.67	1,116.91
04/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
05/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
06/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
07/05/2017	0.02	2.48	16.87	897.22	13.75	202.47	1,102.17
08/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
09/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
10/05/2017	0.12	14.22	17.24	916.93	13.93	205.11	1,136.26
11/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
12/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
13/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
14/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
15/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
16/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
17/05/2017	0.05	6.00	17.00	904.42	13.82	203.43	1,113.85
18/05/2017	0.00	0.22	16.73	889.98	13.69	201.50	1,091.71
19/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
20/05/2017	0.05	6.00	17.00	904.42	13.82	203.43	1,113.85
21/05/2017	0.05	6.00	17.00	904.42	13.82	203.43	1,113.85
22/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
23/05/2017	0.08	9.24	17.10	909.79	13.87	204.15	1,123.18
24/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
25/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
26/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
27/05/2017	0.07	8.11	17.07	908.00	13.85	203.91	1,120.02
28/05/2017	0.05	6.00	17.00	904.42	13.82	203.43	1,113.85
29/05/2017	0.04	5.03	16.97	902.62	13.80	203.19	1,110.84
30/05/2017	0.01	1.15	16.80	893.61	13.72	201.99	1,096.75
31/05/2017	0.05	6.00	17.00	904.42	13.82	203.43	1,113.85

Fuente: PECHP, elaboración propia.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice 4: Variante 3

Fecha	befect=0.95breal				befect=0.92breal		V3
	Vertedero Libre		Aliviadero de Compuertas		Canal de limpia		
	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	Qtotal (m3/s)
	ancho efect			x56		X16	
26/01/2017	0.16	18.40	16.53	879.36	13.33	196.25	1,094.01
27/01/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
28/01/2017	0.17	19.87	16.56	881.05	13.35	196.48	1,097.40
29/01/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
30/01/2017	0.17	19.87	16.56	881.05	13.35	196.48	1,097.40
31/01/2017	0.10	11.64	16.37	870.88	13.25	195.11	1,077.64
01/02/2017	0.12	14.22	16.43	874.28	13.29	195.57	1,084.07
02/02/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
03/02/2017	0.04	5.03	16.18	860.64	13.16	193.74	1,059.41
04/02/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
05/02/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
06/02/2017	0.03	3.27	16.11	857.21	13.13	193.28	1,053.76
07/02/2017	0.02	2.48	16.08	855.49	13.11	193.05	1,051.03
08/02/2017	0.10	11.64	16.37	870.88	13.25	195.11	1,077.64
09/02/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
10/02/2017	0.04	5.03	16.18	860.64	13.16	193.74	1,059.41
11/02/2017	-	-	15.92	846.86	13.04	191.90	1,038.76
12/02/2017	0.08	9.24	16.31	867.48	13.22	194.66	1,071.37
13/02/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
14/02/2017	0.02	1.78	16.05	853.77	13.10	192.82	1,048.37
15/02/2017	0.04	5.03	16.18	860.64	13.16	193.74	1,059.41
16/02/2017	0.01	1.15	16.02	852.04	13.08	192.59	1,045.79
17/02/2017	0.21	24.51	16.66	886.10	13.39	197.16	1,107.77
18/02/2017	0.15	16.97	16.50	877.67	13.32	196.02	1,090.66
19/02/2017	0.02	2.48	16.08	855.49	13.11	193.05	1,051.03
20/02/2017	0.01	1.15	16.02	852.04	13.08	192.59	1,045.79
21/02/2017	0.03	3.27	16.11	857.21	13.13	193.28	1,053.76
22/02/2017	0.05	6.00	16.21	862.35	13.18	193.97	1,062.32
23/02/2017	0.04	5.03	16.18	860.64	13.16	193.74	1,059.41
24/02/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
25/02/2017	1.98	225.52	19.01	1,011.34	14.55	214.23	1,451.09
26/02/2017	3.98	453.89	20.69	1,100.65	15.40	226.66	1,781.19
27/02/2017	5.31	605.00	21.60	1,148.95	15.86	233.46	1,987.41
28/02/2017	2.92	333.13	19.86	1,056.68	14.98	220.51	1,610.33
01/03/2017	1.37	156.01	18.37	977.15	14.23	209.53	1,342.68
02/03/2017	1.45	164.98	18.46	981.86	14.28	210.17	1,357.01
03/03/2017	4.55	518.77	21.09	1,122.15	15.60	229.68	1,870.60
04/03/2017	6.19	705.32	22.14	1,178.02	16.14	237.57	2,120.92
05/03/2017	6.19	705.32	22.14	1,178.02	16.14	237.57	2,120.92
06/03/2017	1.42	161.97	18.43	980.29	14.26	209.96	1,352.22
07/03/2017	3.19	364.11	20.09	1,068.54	15.09	222.17	1,654.81
08/03/2017	3.19	364.11	20.09	1,068.54	15.09	222.17	1,654.81

09/03/2017	7.29	831.25	22.78	1,211.93	16.47	242.40	2,285.58
10/03/2017	7.29	831.25	22.78	1,211.93	16.47	242.40	2,285.58
11/03/2017	2.59	295.72	19.58	1,041.73	14.84	218.44	1,555.89
12/03/2017	1.69	192.87	18.72	995.90	14.41	212.10	1,400.88
13/03/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
14/03/2017	3.62	412.26	20.42	1,086.14	15.26	224.62	1,723.02
15/03/2017	3.62	412.26	20.42	1,086.14	15.26	224.62	1,723.02
16/03/2017	1.17	132.92	18.13	964.50	14.12	207.80	1,305.22
17/03/2017	3.98	453.89	20.69	1,100.65	15.40	226.66	1,781.19
18/03/2017	5.14	586.49	21.49	1,143.34	15.81	232.66	1,962.49
19/03/2017	0.00	0.22	15.95	848.59	13.05	192.13	1,040.94
20/03/2017	6.40	729.95	22.27	1,184.86	16.21	238.55	2,153.36
21/03/2017	6.40	729.95	22.27	1,184.86	16.21	238.55	2,153.36
22/03/2017	5.55	633.14	21.75	1,157.31	15.94	234.64	2,025.09
23/03/2017	3.98	453.89	20.69	1,100.65	15.40	226.66	1,781.19
24/03/2017	2.92	333.13	19.86	1,056.68	14.98	220.51	1,610.33
25/03/2017	3.62	412.26	20.42	1,086.14	15.26	224.62	1,723.02
26/03/2017	15.07	1,717.80	26.34	1,401.46	18.33	269.80	3,389.07
27/03/2017	15.07	1,717.80	26.34	1,401.46	18.33	269.80	**3,389.07**
28/03/2017	4.36	496.82	20.96	1,115.02	15.53	228.67	1,840.51
29/03/2017	1.42	161.97	18.43	980.29	14.26	209.96	1,352.22
30/03/2017	6.40	729.95	22.27	1,184.86	16.21	238.55	2,153.36
31/03/2017	10.18	1,160.26	24.26	1,290.43	17.23	253.67	2,704.36
01/04/2017	10.18	1,160.26	24.26	1,290.43	17.23	253.67	2,704.36
02/04/2017	2.59	295.72	19.58	1,041.73	14.84	218.44	1,555.89
03/04/2017	1.42	161.97	18.43	980.29	14.26	209.96	1,352.22
04/04/2017	3.26	371.99	20.14	1,071.49	15.12	222.58	1,666.06
05/04/2017	2.28	259.83	19.30	1,026.62	14.70	216.34	1,502.79
06/04/2017	1.42	161.97	18.43	980.29	14.26	209.96	1,352.22
07/04/2017	0.93	105.85	17.83	948.54	13.97	205.61	1,260.00
08/04/2017	1.98	225.52	19.01	1,011.34	14.55	214.23	1,451.09
09/04/2017	1.42	161.97	18.43	980.29	14.26	209.96	1,352.22
10/04/2017	1.98	225.52	19.01	1,011.34	14.55	214.23	1,451.09
11/04/2017	2.92	333.13	19.86	1,056.68	14.98	220.51	1,610.33
12/04/2017	1.42	161.97	18.43	980.29	14.26	209.96	1,352.22
13/04/2017	0.71	80.92	17.53	932.38	13.82	203.42	1,216.72
14/04/2017	0.51	58.33	17.22	916.03	13.67	201.20	1,175.56
15/04/2017	0.34	38.35	16.91	899.49	13.52	198.96	1,136.80
16/04/2017	0.12	14.22	16.43	874.28	13.29	195.57	1,084.07
17/04/2017	0.15	16.97	16.50	877.67	13.32	196.02	1,090.66
18/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
19/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
20/04/2017	0.51	58.33	17.22	916.03	13.67	201.20	1,175.56
21/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
22/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
23/04/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
24/04/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
25/04/2017	0.12	14.22	16.43	874.28	13.29	195.57	1,084.07
26/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82

27/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
28/04/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
29/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
30/04/2017	0.19	21.38	16.59	882.73	13.36	196.70	1,100.82
01/05/2017	0.12	14.22	16.43	874.28	13.29	195.57	1,084.07
02/05/2017	0.00	0.22	15.95	848.59	13.05	192.13	1,040.94
03/05/2017	0.06	7.03	16.24	864.06	13.19	194.20	1,065.29
04/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
05/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
06/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
07/05/2017	0.02	2.48	16.08	855.49	13.11	193.05	1,051.03
08/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
09/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
10/05/2017	0.12	14.22	16.43	874.28	13.29	195.57	1,084.07
11/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
12/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
13/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
14/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
15/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
16/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
17/05/2017	0.05	6.00	16.21	862.35	13.18	193.97	1,062.32
18/05/2017	0.00	0.22	15.95	848.59	13.05	192.13	1,040.94
19/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
20/05/2017	0.05	6.00	16.21	862.35	13.18	193.97	1,062.32
21/05/2017	0.05	6.00	16.21	862.35	13.18	193.97	1,062.32
22/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
23/05/2017	0.08	9.24	16.31	867.48	13.22	194.66	1,071.37
24/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
25/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
26/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
27/05/2017	0.07	8.11	16.27	865.77	13.21	194.43	1,068.31
28/05/2017	0.05	6.00	16.21	862.35	13.18	193.97	1,062.32
29/05/2017	0.04	5.03	16.18	860.64	13.16	193.74	1,059.41
30/05/2017	0.01	1.15	16.02	852.04	13.08	192.59	1,045.79
31/05/2017	0.05	6.00	16.21	862.35	13.18	193.97	1,062.32

Fuente: PECHP, elaboración propia.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice 5: Variante 4

Fecha	befect=breal						V4
	Vertedero Libre		Aliviadero de Compuertas		Canal de limpia		
	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	Qtotal (m3/s)
	ancho efect			x56		X16	
26/01/2017	0.16	19.37	16.93	948.22	13.66	218.52	1,186.11
27/01/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
28/01/2017	0.17	20.92	16.96	950.04	13.67	218.77	1,189.73
29/01/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
30/01/2017	0.17	20.92	16.96	950.04	13.67	218.77	1,189.73
31/01/2017	0.10	12.25	16.77	939.08	13.58	217.25	1,168.58
01/02/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	13.61	217.76	1,175.47
02/02/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
03/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	13.48	215.72	1,149.05
04/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
05/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
06/02/2017	0.03	3.44	16.51	924.33	13.45	215.21	1,142.98
07/02/2017	0.02	2.61	16.47	922.48	13.43	214.96	1,140.05
08/02/2017	0.10	12.25	16.77	939.08	13.58	217.25	1,168.58
09/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
10/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	13.48	215.72	1,149.05
11/02/2017	-	-	16.31	913.17	13.35	213.67	1,126.85
12/02/2017	0.08	9.72	16.70	935.41	13.55	216.74	1,161.87
13/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
14/02/2017	0.02	1.87	16.44	920.62	13.42	214.70	1,137.19
15/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	13.48	215.72	1,149.05
16/02/2017	0.01	1.22	16.41	918.76	13.40	214.44	1,134.42
17/02/2017	0.21	25.80	17.06	955.49	13.72	219.53	1,200.81
18/02/2017	0.15	17.86	16.90	946.39	13.64	218.27	1,182.52
19/02/2017	0.02	2.61	16.47	922.48	13.43	214.96	1,140.05
20/02/2017	0.01	1.22	16.41	918.76	13.40	214.44	1,134.42
21/02/2017	0.03	3.44	16.51	924.33	13.45	215.21	1,142.98
22/02/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	13.50	215.98	1,152.17
23/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	13.48	215.72	1,149.05
24/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
25/02/2017	1.98	237.39	19.47	1,090.53	14.91	238.54	1,566.47
26/02/2017	3.98	477.77	21.19	1,186.84	15.77	252.37	1,916.98
27/02/2017	5.31	636.85	22.12	1,238.91	16.25	259.94	2,135.71
28/02/2017	2.92	350.66	20.35	1,139.43	15.35	245.54	1,735.63
01/03/2017	1.37	164.22	18.82	1,053.66	14.58	233.30	1,451.18
02/03/2017	1.45	173.66	18.91	1,058.74	14.63	234.02	1,466.43
03/03/2017	4.55	546.08	21.61	1,210.02	15.98	255.74	2,011.83
04/03/2017	6.19	742.44	22.68	1,270.27	16.53	264.53	2,277.24
05/03/2017	6.19	742.44	22.68	1,270.27	16.53	264.53	2,277.24
06/03/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	14.61	233.78	1,461.33
07/03/2017	3.19	383.27	20.58	1,152.21	15.46	247.37	1,782.85
08/03/2017	3.19	383.27	20.58	1,152.21	15.46	247.37	1,782.85

09/03/2017	7.29	875.00	23.34	1,306.83	16.87	269.91	2,451.74
10/03/2017	7.29	875.00	23.34	1,306.83	16.87	269.91	2,451.74
11/03/2017	2.59	311.29	20.06	1,123.30	15.20	243.22	1,677.81
12/03/2017	1.69	203.02	19.18	1,073.89	14.76	236.17	1,513.08
13/03/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
14/03/2017	3.62	433.96	20.91	1,171.19	15.63	250.11	1,855.26
15/03/2017	3.62	433.96	20.91	1,171.19	15.63	250.11	1,855.26
16/03/2017	1.17	139.92	18.57	1,040.03	14.46	231.37	1,411.32
17/03/2017	3.98	477.77	21.19	1,186.84	15.77	252.37	1,916.98
18/03/2017	5.14	617.35	22.02	1,232.87	16.19	259.06	2,109.29
19/03/2017	0.00	0.23	16.34	915.04	13.37	213.93	1,129.20
20/03/2017	6.40	768.37	22.82	1,277.64	16.60	265.61	2,311.63
21/03/2017	6.40	768.37	22.82	1,277.64	16.60	265.61	2,311.63
22/03/2017	5.55	666.47	22.28	1,247.93	16.33	261.26	2,175.66
23/03/2017	3.98	477.77	21.19	1,186.84	15.77	252.37	1,916.98
24/03/2017	2.92	350.66	20.35	1,139.43	15.35	245.54	1,735.63
25/03/2017	3.62	433.96	20.91	1,171.19	15.63	250.11	1,855.26
26/03/2017	15.07	1,808.21	26.99	1,511.21	18.78	300.42	3,619.83
27/03/2017	15.07	1,808.21	26.99	1,511.21	18.78	300.42	**3,619.83**
28/03/2017	4.36	522.97	21.47	1,202.33	15.91	254.62	1,979.92
29/03/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	14.61	233.78	1,461.33
30/03/2017	6.40	768.37	22.82	1,277.64	16.60	265.61	2,311.63
31/03/2017	10.18	1,221.33	24.85	1,391.48	17.65	282.45	2,895.26
01/04/2017	10.18	1,221.33	24.85	1,391.48	17.65	282.45	2,895.26
02/04/2017	2.59	311.29	20.06	1,123.30	15.20	243.22	1,677.81
03/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	14.61	233.78	1,461.33
04/04/2017	3.26	391.57	20.63	1,155.39	15.49	247.83	1,794.79
05/04/2017	2.28	273.51	19.77	1,107.00	15.06	240.89	1,621.40
06/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	14.61	233.78	1,461.33
07/04/2017	0.93	111.42	18.26	1,022.81	14.31	228.95	1,363.18
08/04/2017	1.98	237.39	19.47	1,090.53	14.91	238.54	1,566.47
09/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	14.61	233.78	1,461.33
10/04/2017	1.98	237.39	19.47	1,090.53	14.91	238.54	1,566.47
11/04/2017	2.92	350.66	20.35	1,139.43	15.35	245.54	1,735.63
12/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	14.61	233.78	1,461.33
13/04/2017	0.71	85.18	17.95	1,005.39	14.16	226.50	1,317.07
14/04/2017	0.51	61.40	17.64	987.76	14.00	224.03	1,273.19
15/04/2017	0.34	40.37	17.32	969.92	13.85	221.54	1,231.83
16/04/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	13.61	217.76	1,175.47
17/04/2017	0.15	17.86	16.90	946.39	13.64	218.27	1,182.52
18/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
19/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
20/04/2017	0.51	61.40	17.64	987.76	14.00	224.03	1,273.19
21/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
22/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
23/04/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
24/04/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
25/04/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	13.61	217.76	1,175.47
26/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39

27/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
28/04/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
29/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
30/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	13.69	219.02	1,193.39
01/05/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	13.61	217.76	1,175.47
02/05/2017	0.00	0.23	16.34	915.04	13.37	213.93	1,129.20
03/05/2017	0.06	7.40	16.64	931.72	13.51	216.23	1,155.35
04/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
05/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
06/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
07/05/2017	0.02	2.61	16.47	922.48	13.43	214.96	1,140.05
08/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
09/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
10/05/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	13.61	217.76	1,175.47
11/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
12/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
13/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
14/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
15/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
16/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
17/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	13.50	215.98	1,152.17
18/05/2017	0.00	0.23	16.34	915.04	13.37	213.93	1,129.20
19/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
20/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	13.50	215.98	1,152.17
21/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	13.50	215.98	1,152.17
22/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
23/05/2017	0.08	9.72	16.70	935.41	13.55	216.74	1,161.87
24/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
25/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
26/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
27/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	13.53	216.49	1,158.59
28/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	13.50	215.98	1,152.17
29/05/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	13.48	215.72	1,149.05
30/05/2017	0.01	1.22	16.41	918.76	13.40	214.44	1,134.42
31/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	13.50	215.98	1,152.17

Fuente: PECHP, elaboración propia.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice 6: Variante 5

Fecha	breal = befect						V5
	Vertedero Libre				Canal de limpia		
	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	q (m3/s/m)	Q (m3/s)	Qtotal (m3/s)
	ancho efect	x120		x56		x16	
26/01/2017	0.16	19.37	16.93	948.22	22.76	364.20	1,331.79
27/01/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
28/01/2017	0.17	20.92	16.96	950.04	22.79	364.62	1,335.58
29/01/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
30/01/2017	0.17	20.92	16.96	950.04	22.79	364.62	1,335.58
31/01/2017	0.10	12.25	16.77	939.08	22.63	362.09	1,313.42
01/02/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	22.68	362.93	1,320.64
02/02/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
03/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	22.47	359.54	1,292.87
04/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
05/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
06/02/2017	0.03	3.44	16.51	924.33	22.42	358.69	1,286.46
07/02/2017	0.02	2.61	16.47	922.48	22.39	358.26	1,283.36
08/02/2017	0.10	12.25	16.77	939.08	22.63	362.09	1,313.42
09/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
10/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	22.47	359.54	1,292.87
11/02/2017	-	-	16.31	913.17	22.26	356.12	1,269.30
12/02/2017	0.08	9.72	16.70	935.41	22.58	361.24	1,306.37
13/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
14/02/2017	0.02	1.87	16.44	920.62	22.36	357.84	1,280.33
15/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	22.47	359.54	1,292.87
16/02/2017	0.01	1.22	16.41	918.76	22.34	357.41	1,277.39
17/02/2017	0.21	25.80	17.06	955.49	22.87	365.88	1,347.17
18/02/2017	0.15	17.86	16.90	946.39	22.74	363.78	1,328.03
19/02/2017	0.02	2.61	16.47	922.48	22.39	358.26	1,283.36
20/02/2017	0.01	1.22	16.41	918.76	22.34	357.41	1,277.39
21/02/2017	0.03	3.44	16.51	924.33	22.42	358.69	1,286.46
22/02/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	22.50	359.97	1,296.16
23/02/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	22.47	359.54	1,292.87
24/02/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
25/02/2017	1.98	237.39	19.47	1,090.53	24.85	397.56	1,725.49
26/02/2017	3.98	477.77	21.19	1,186.84	26.29	420.62	2,085.23
27/02/2017	5.31	636.85	22.12	1,238.91	27.08	433.24	2,309.00
28/02/2017	2.92	350.66	20.35	1,139.43	25.58	409.23	1,899.32
01/03/2017	1.37	164.22	18.82	1,053.66	24.30	388.84	1,606.72
02/03/2017	1.45	173.66	18.91	1,058.74	24.38	390.03	1,622.44
03/03/2017	4.55	546.08	21.61	1,210.02	26.64	426.23	2,182.32
04/03/2017	6.19	742.44	22.68	1,270.27	27.56	440.88	2,453.60
05/03/2017	6.19	742.44	22.68	1,270.27	27.56	440.88	2,453.60
06/03/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	24.35	389.64	1,617.18
07/03/2017	3.19	383.27	20.58	1,152.21	25.77	412.29	1,947.77
08/03/2017	3.19	383.27	20.58	1,152.21	25.77	412.29	1,947.77

09/03/2017	7.29	875.00	23.34	1,306.83	28.12	449.84	2,631.67
10/03/2017	7.29	875.00	23.34	1,306.83	28.12	449.84	2,631.67
11/03/2017	2.59	311.29	20.06	1,123.30	25.34	405.37	1,839.96
12/03/2017	1.69	203.02	19.18	1,073.89	24.60	393.62	1,670.52
13/03/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
14/03/2017	3.62	433.96	20.91	1,171.19	26.05	416.85	2,022.00
15/03/2017	3.62	433.96	20.91	1,171.19	26.05	416.85	2,022.00
16/03/2017	1.17	139.92	18.57	1,040.03	24.10	385.62	1,565.57
17/03/2017	3.98	477.77	21.19	1,186.84	26.29	420.62	2,085.23
18/03/2017	5.14	617.35	22.02	1,232.87	26.99	431.77	2,282.00
19/03/2017	0.00	0.23	16.34	915.04	22.28	356.55	1,271.82
20/03/2017	6.40	768.37	22.82	1,277.64	27.67	442.69	2,488.70
21/03/2017	6.40	768.37	22.82	1,277.64	27.67	442.69	2,488.70
22/03/2017	5.55	666.47	22.28	1,247.93	27.21	435.44	2,349.84
23/03/2017	3.98	477.77	21.19	1,186.84	26.29	420.62	2,085.23
24/03/2017	2.92	350.66	20.35	1,139.43	25.58	409.23	1,899.32
25/03/2017	3.62	433.96	20.91	1,171.19	26.05	416.85	2,022.00
26/03/2017	15.07	1,808.21	26.99	1,511.21	31.29	500.70	3,820.11
27/03/2017	15.07	1,808.21	26.99	1,511.21	31.29	500.70	**3,820.11**
28/03/2017	4.36	522.97	21.47	1,202.33	26.52	424.37	2,149.67
29/03/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	24.35	389.64	1,617.18
30/03/2017	6.40	768.37	22.82	1,277.64	27.67	442.69	2,488.70
31/03/2017	10.18	1,221.33	24.85	1,391.48	29.42	470.75	3,083.56
01/04/2017	10.18	1,221.33	24.85	1,391.48	29.42	470.75	3,083.56
02/04/2017	2.59	311.29	20.06	1,123.30	25.34	405.37	1,839.96
03/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	24.35	389.64	1,617.18
04/04/2017	3.26	391.57	20.63	1,155.39	25.82	413.05	1,960.01
05/04/2017	2.28	273.51	19.77	1,107.00	25.09	401.48	1,781.99
06/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	24.35	389.64	1,617.18
07/04/2017	0.93	111.42	18.26	1,022.81	23.85	381.58	1,515.81
08/04/2017	1.98	237.39	19.47	1,090.53	24.85	397.56	1,725.49
09/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	24.35	389.64	1,617.18
10/04/2017	1.98	237.39	19.47	1,090.53	24.85	397.56	1,725.49
11/04/2017	2.92	350.66	20.35	1,139.43	25.58	409.23	1,899.32
12/04/2017	1.42	170.49	18.88	1,057.05	24.35	389.64	1,617.18
13/04/2017	0.71	85.18	17.95	1,005.39	23.59	377.50	1,468.07
14/04/2017	0.51	61.40	17.64	987.76	23.34	373.38	1,422.54
15/04/2017	0.34	40.37	17.32	969.92	23.08	369.23	1,379.52
16/04/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	22.68	362.93	1,320.64
17/04/2017	0.15	17.86	16.90	946.39	22.74	363.78	1,328.03
18/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
19/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
20/04/2017	0.51	61.40	17.64	987.76	23.34	373.38	1,422.54
21/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
22/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
23/04/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
24/04/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
25/04/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	22.68	362.93	1,320.64
26/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41

27/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
28/04/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
29/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
30/04/2017	0.19	22.51	17.00	951.86	22.82	365.04	1,339.41
01/05/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	22.68	362.93	1,320.64
02/05/2017	0.00	0.23	16.34	915.04	22.28	356.55	1,271.82
03/05/2017	0.06	7.40	16.64	931.72	22.52	360.39	1,299.51
04/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
05/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
06/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
07/05/2017	0.02	2.61	16.47	922.48	22.39	358.26	1,283.36
08/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
09/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
10/05/2017	0.12	14.97	16.83	942.74	22.68	362.93	1,320.64
11/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
12/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
13/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
14/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
15/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
16/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
17/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	22.50	359.97	1,296.16
18/05/2017	0.00	0.23	16.34	915.04	22.28	356.55	1,271.82
19/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
20/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	22.50	359.97	1,296.16
21/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	22.50	359.97	1,296.16
22/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
23/05/2017	0.08	9.72	16.70	935.41	22.58	361.24	1,306.37
24/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
25/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
26/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
27/05/2017	0.07	8.53	16.67	933.57	22.55	360.82	1,302.91
28/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	22.50	359.97	1,296.16
29/05/2017	0.04	5.29	16.57	928.03	22.47	359.54	1,292.87
30/05/2017	0.01	1.22	16.41	918.76	22.34	357.41	1,277.39
31/05/2017	0.05	6.31	16.60	929.88	22.50	359.97	1,296.16

Fuente: PECHP, elaboración propia.