



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISIPADOR PARA LA
REDUCCIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA EN LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL PLATANAL EN
CAÑETE”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Pompio Rolo Castañeda Rojas

Asesor:

Ing. Rembrandt Ubalde Enríquez

Lima – Perú

2016

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de suficiencia profesional desarrollado por el Bachiller **Pompio Rolo Castañeda Rojas**, denominada:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISIPADOR PARA LA REDUCCIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL PLATANAL EN CAÑETE”

Ing. Rembrandt Ubalde Enríquez.
ASESOR

Ing. José Huapaya Barrientos
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Juan Carlos Durand Porras.
JURADO

Ing. Alejandro Vildoso Flores.
JURADO

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi hijo Santiago, por darme la felicidad durante el tiempo que estuvo a mi lado y también por permitirme conocer el amor más puro y sublime.

También a mi familia, en especial a mi esposa y madre por el apoyo incondicional en los momentos más difíciles, por su gran amor y la confianza depositada hacia mi persona.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Jehová, por darme la fortaleza y sabiduría para tomar las decisiones correctas.

Quiero agradecer profundamente a mi amigo Bryan Castañeda y compañeros de clases por el apoyo mutuo durante el tiempo de la carrera universitaria.

También quiero agradecer a la Universidad Privada del Norte por las herramientas brindadas durante mi formación universitaria.

Quiero dirigir mi agradeciendo infinito a los gerentes de la empresa Dimperu que me apoyaron en todo momento.

A mi esposa por todo el cariño y motivación que me ha transmitido, lo cual ha sido un pilar fundamental para lograr concluir este trabajo de tesis y también hermanos por confiar en mí, y brindar su apoyo incondicional en todo momento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes	13
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	16
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
2 MARCO TEÓRICO	17
2.1 Energía renovable	17
2.2 Energía hidráulica	19
2.2.1 <i>Plantas hidroeléctricas</i>	20
2.2.2 <i>Tipos de Centrales hidráulicas</i>	20
2.2.2.1 <i>Centrales de Agua Embalsada</i>	21
2.2.2.2 <i>Presas hidroeléctricas</i>	21
2.2.2.3 <i>Tipos de presas</i>	22
2.3 Disipadores de energía hidráulica.....	26
2.3.1 <i>Resalto hidráulico</i>	27
2.3.1.1 <i>Tipos de resalto hidráulico</i>	29
2.3.2 <i>Consideraciones para la selección de disipadores</i>	29
2.3.3 <i>Tipos de disipadores</i>	30
2.3.3.1 <i>Salto de esquí</i>	30
2.3.3.2 <i>Disipador con bloques de impacto o con umbrales</i>	31
2.3.3.3 <i>Disipador con umbral continuo y discontinuo</i>	31
2.3.3.4 <i>Losa con bloques</i>	32
2.3.3.5 <i>Losa con pilares deflectores</i>	33
2.3.3.6 <i>Tanques amortiguadores</i>	33
2.3.3.7 <i>Estanques amortiguadores</i>	34
2.3.3.8 <i>Estanques amortiguadores de la U.S.B.R.</i>	34
2.3.3.9 <i>Disipador de rejillas</i>	35
2.3.4 <i>Variables en la disipación de energía</i>	36



2.3.4.1	Caudal	36
2.3.4.2	Presión	37
2.4	Desarenadores	39
2.4.1	Principios de funcionamiento	41
2.4.2	Estudios necesarios para el diseño del desarenador	41
2.4.3	Tipos de desarenadores	42
2.4.4	Elementos de un desarenador	42
2.5	Proceso de fabricación y montaje de estructuras metálica industrial	43
2.5.1	Proceso de fabricación	44
2.5.2	Proceso de montaje	45
2.6	Software para simulación de ingeniería	45
2.6.1	Solid Word	45
2.6.2	Ansys 15	46
2.7	Definición de términos básicos	47
3	DESARROLLO	49
3.1	Descripción de empresa proveedora de servicios electromecánicos: Dimperu.	49
3.2	Descripción de la empresa cliente: Central hidroeléctrica el platanal S.A – Celepsa.	50
3.3	Organigramas de la empresa proveedora y empresa cliente	53
3.4	Descripción de los problemas	54
3.4.1	Identificación de problema 01	56
3.4.2	Identificación de problema 02	57
3.5	Actividades realizadas para solución de problemas	58
3.5.1	Macroproceso de implementación de disipador de energía Presa Capillucas-Dimperu	59
3.5.2	Estudio del régimen hidráulico de la bocatoma y el desarenador de la central hidroeléctrica el platanal.	60
3.5.3	Diseño de disipador adecuado según los estudios.	63
3.5.4	Simulación de disipador con software de ingeniería Solid Works – Ansys 15.....	67
3.5.5	Proceso de fabricación del disipador	72
3.5.6	Proceso de montaje de disipador in situ	84
3.5.7	Pruebas	94
3.5.8	Dossier	99
4	RESULTADOS	101
4.1	Simulación beneficiosa mediante el software previo a la fabricación del disipador.	101
4.2	Fabricación del disipador con estándares internacionales	102
4.3	Monitoreo exitoso del funcionamiento del disipador.	103
5	DISCUSIÓN	106
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	111
	REFERENCIAS	112
	ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 1-1. Condición actual presa Capillucas	16
Tabla n.º 2-1. Algunos ejemplos de relación de esbeltez para presas construidas en el mundo. ..	24
Tabla n.º 2-2. Presas más altas del mundo según materiales de construcción	24
Tabla n.º 2-3. Tipos de presas hidráulicas	26
Tabla n.º 2-4. Tipos de resalto hidráulico según el número de Froude	29
Tabla n.º 3-1. Diagrama de Ishikawa - Parada de planta genera elevado costo de manteamiento por saturación de purga de desarenador	54
Tabla n.º 3-2. Tabla operacionalización de variables.	55
Tabla n.º 3-3. Costo por mantenimiento de los desarenadores en Presa Capillucas expresado en dólares americanos	56
Tabla n.º 3-4. Datos del nivel del agua y operación de compuertas para el abastecimiento de agua por el desarenador – Presa Capillucas.	57
Tabla n.º 3-5. Pruebas de instalación de disipador con máxima carga	97
Tabla n.º 5-1. Costo de maquinaria pesada externa para mantenimiento de desarenador	107
Tabla n.º 5-2, costo de mantenimiento del desarenador al año.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1-1. Producción de energía eléctrica por fuentes de generación (GWh).	12
Figura n.º 2-1. Fuentes de energía renovable	18
Figura n.º 2-2. Central hidroeléctrica de Xiangjiaba. 6.448 MW. China.	19
Figura n.º 2-3. Partes central hidroeléctrica	20
Figura n.º 2-4. Presa baja derivadora. Vega R. O. Arrequín C., F. I. 1987.....	22
Figura n.º 2-5. Esquema típico, a) Vertedera móvil, b) vertedera fija y c) presa sorda.	23
Figura n.º 2-6. Relación de esbeltez.	23
Figura n.º 2-7. Ejemplos de presas rígidas.	25
Figura n.º 2-8. Esquemas de presas flexibles. a) Presa homogénea con dren de pata. b) Presa de Enrocado con núcleo impermeable.	25
Figura n.º 2-9. Disipadores de energía hidráulica	27
Figura n.º 2-10. Resalto hidráulico	28
Figura n.º 2-11. Lugares apropiados para formarse el resalto hidráulico	28
Figura n.º 2-12. Salto de esquí sumergido.....	30
Figura n.º 2-13. Salto de esquí estriado	31
Figura n.º 2-14. Bloques de impacto	31
Figura n.º 2-15. Disipador con umbral continuo y discontinuo.....	32
Figura n.º 2-16. Losa con bloques dentados	32
Figura n.º 2-17. Pilares deflectores en el canal de entrega	33
Figura n.º 2-18. Disipador tipo tanque por cambio de profundidad	33
Figura n.º 2-19. Tipos estanques amortiguadores según U.S. Bureau of Reclamation	35
Figura n.º 2-20. Disipador de rejillas de barrotes longitudinales.....	36
Figura n.º 2-21. Desarenador presa Capillucas-Cañete	40
Figura n.º 2-22. Esquema de un desarenador de lavado intermitente	43
Figura n.º 3-1. Mapa de ubicación Dimperu – sede Lima.....	49
Figura n.º 3-2. Infraestructura central hidroeléctrica El Platanal - Celepsa	51
Figura n.º 3-3. Mapa de ubicación central hidroeléctrica el platanal - Celepsa	52
Figura n.º 3-4. Áreas en los organigramas de las empresas donde se realizó el trabajo.	53
Figura n.º 3-5. Vista de del comportamiento del caudal actual (turbulencia y oleaje)	56
Figura n.º 3-6. Desgaste de álabes de turbina ocasionado por erosión.	58
Figura n.º 3-7. Macroproceso de operaciones de implementación de disipador de energía hidráulica Presa Capillucas.....	59
Figura n.º 3-8. Resultado del estudio del régimen hidráulico Presa Capillucas.	60
Figura n.º 3-9. Modelo de Disipador presentado en el estudio hidráulico	61
Figura n.º 3-10. Perfiles y estructuras del modelo presentado en es estudio.	62
Figura n.º 3-11. Condiciones de velocidad y saturación (desviación máxima $1.31 \times E+0mm$)	63
Figura n.º 3-12. Gantt detallado días de ejecución de diseño e ingeniería	64
Figura n.º 3-13. Imágenes de diseños preliminares de disipador	65
Figura n.º 3-14. Diseño final de disipador de energía.....	66
Figura n.º 3-15. Diseño de estructuras auxiliares del disipador.....	67
Figura n.º 3-16. Diseño de disipador aprobado	68
Figura n.º 3-17. Modelo geométrico del Disipador modificado final.....	69
Figura n.º 3-18. Fracción volumétrica de agua considerando el Disipador final.....	70
Figura n.º 3-19. Líneas de flujo del agua considerando el Disipador	70
Figura n.º 3-20. Presión del agua considerando el Disipador.....	71
Figura n.º 3-21. Velocidad del agua en diferentes planos considerando el Disipador	72
Figura n.º 3-22. Diagrama de procesos de fabricación de disipador	73
Figura n.º 3-23. Cronograma detallado de fabricación de disipador de energía Presa Capillucas .	74
Figura n.º 3-24. Plano general de fabricación de disipador de energía – Central Hidroeléctrica el Platanal.....	75
Figura n.º 3-25. Transporte y recepción de materiales del disipador	76
Figura n.º 3-26. Trazado y preparación de perfiles.....	77
Figura n.º 3-27. Corte de material con CNC y amoladora	78
Figura n.º 3-28. Armado de piezas de disipador, pasarelas y pórtico	79
Figura n.º 3-29. Proceso de soldadura de disipador.....	80
Figura n.º 3-30. Método de preparación de superficie	81

Figura n.º 3-31. Métodos de preparación de superficie	82
Figura n.º 3-32. Tratamiento de superficie SSPC –SP 06 de disipador	83
Figura n.º 3-33. Aplicación de pintura de disipador y estructuras.....	83
Figura n.º 3-34. Control de calidad de estructuras de disipador	84
Figura n.º 3-35. Descarga de elementos estructurales.....	88
Figura n.º 3-36. Esquema de montaje de pórticos y montaje de guías de disipador.	89
Figura n.º 3-37. Montaje de pasarela in situ con grúa de 15tn	90
Figura n.º 3-38. Partes de despiece de disipador	91
Figura n.º 3-39. Secuencia de proceso de montaje de disipador	92
Figura n.º 3-40. Proceso de inspección de soldadura con NDT	93
<i>Figura n.º 3-41. Resane de zona dañada y tratamiento de superficie.....</i>	<i>93</i>
Figura n.º 3-42. Resultados de prueba preliminar de disipador con software Ansys 15	97
Figura n.º 3-43. Prueba preliminar de inmersión de disipador.....	98
Figura n.º 3-44. Pruebas en campo de disipador.....	99
Figura n.º 3-45. Diagrama de metodo de calibración.....	100
Figura n.º 4-1. Resultado de simulación del diseño de Disipador con software de ingeniería.	101
Figura n.º 4-2. Simulación de memoria de cálculos del diseño de estructuras de Disipador	102
Figura n.º 4-3. Implementación del Disipador en la entrada del desarenador Presa Capillucas.....	103
Figura n.º 4-4. Comparación de velocidad de ingreso de agua al desarenador del año 2014 y 2015	103
Figura n.º 4-5. Monitoreo de velocidad crítica a laminar.....	104
Figura n.º 4-6. Comparación de cantidad de paradas de planta por mantenimiento de desarenador del año 2014 y 2015.	104
Figura n.º 4-7. Comparación del año 2015 y 2016 de costo de mantenimiento de paradas al año	105
Figura n.º 4-8. Imagen flujo laminar óptimo para decantación de sólidos en el desarenador	105
Figura n.º 5-1. Ahorro proyectado en costos de mantenimiento de 2010 al 2027	108
Figura n.º 5-2. Proyección detallada de ahorro en costos de mantenimiento por año desde inicio de operaciones [2010 – 2027]	109

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis titulado: **Implementación de un disipador para la reducción de energía hidráulica**, se desarrolla una estructura que rigen el fenómeno de la disipación de energía debido a la descarga de flujo a través del canal de entrada hacia el desarenador de la presa Capillucas de la Central Hidráulica El Platanal, cuyo objetivo principal es la reducción parcial del exceso de velocidad que causa oleaje y turbulencia.

Para la realización de implementación se planteó el diseño y simulación con la asistencia de software de ingeniería, tomando las variables según el estudio del régimen hidráulico para determinar y validar el funcionamiento.

La implementación del disipador se realizó en tres etapas:

En la primera etapa se realizó la evaluación de diseño del modelo físico compuesta de perfiles y estructuras de metal y simulación de la misma, con el programa Solid Works y Ansys 15, siguiendo la normativa y estándares internacionales para garantizar su funcionamiento y resistencia.

La segunda etapa se concentró en la fabricación del Disipador según los planos y especificaciones técnicas determinadas por el área de ingeniería de la empresa Dimperu.

La tercera etapa se realizó el montaje del Disipador en campo, siguiendo un estricto control de los procesos de operación. Cabe mencionar que en esta última etapa también se realizó las pruebas del funcionamiento del Disipador, cumpliendo así con el objetivo principal, de reducir el exceso de la velocidad del flujo de agua el cual representa un alto costo de manteniendo en la operación de la planta, debido a la saturación de la zona de purga de desarenadores así como también el desgaste de álabes de turbina por la erosión causada por los sólidos que no completaron la sedimentación en el canal del desarenador.

Finalmente para cuantificar los resultados de la propuesta presentada se realizan pruebas y mediciones de la energía del flujo en el modelo implementado, aguas arriba y aguas debajo del canal del vertedero hacia el desarenador, con lo que finalmente, luego de analizar los factores y variables, es posible alcanzar exitosos efectos de disipación de la velocidad de agua en la alternativa presentada.

ABSTRACT

In the present dissertation titled: Implementation of a dissipator for the reduction of hydraulic energy, a structure is developed that govern the phenomenon of the energy dissipation due to the discharge of flow through the channel of entry to the precinter of the dam Capillucas of the Hydraulic Power Plant The Platanal whose main objective is the partial reduction of the excess speed that causes waves and turbulence.

For the realization of implementation, the design and simulation with the assistance of engineering software was considered, taking the variables according to the study of the hydraulic regime to determine and validate the operation.

The dissipator implementation was performed in three stages:

The first part was the evaluation of the design of the physical model composed of metal profiles and structures and simulation of the same, with the program Solid Works and Ansys 15, following the norms and international standards to guarantee its operation and resistance. The second stage was concentrated in the manufacture of the dissipator according to the plans and technical specifications determined by the engineering area of the company Dimperu.

The third stage was the installation of the dissipator in the field, following a strict control of the operation processes. It is worth mentioning that in this last stage, tests were also carried out on the operation of the dissipator thus fulfilling the main objective of reducing excess water flow velocity which represents a high cost of maintaining in the operations of the plant due To the saturation of the purging zone of sanders.

Finally, in order to quantify the results of the presented proposal, tests are carried out and measurements of the energy of the flow in the implemented model, upstream and downstream of the channel of the landfill towards the shredder with which finally, after analyzing the factors and variables, It is possible to achieve successful dissipation effects of the water velocity in the presented alternative.

1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial hay una concientización cada vez mayor sobre la importancia del uso de la energía renovable y la eficiencia energética, para atender la demanda y proporcionar acceso a la energía limpia a miles de millones de usuarios que aún no cuentan con este servicio, es por ello que particularmente en años recientes los avances tecnológicos han contribuido al incremento a nivel mundial el uso de las fuentes de energía renovable.

Nuestro país posee una matriz energética diversificada, es decir, cuenta con distintos recursos energéticos por explotar como es el gas natural, petróleo, hidroeléctricas, solar, biomasa, entre otros. En las últimas décadas el principal recurso renovable ha sido la energía hidroeléctrica, es decir que es el único recurso renovable que verdaderamente se explota en el Perú en mayor porcentaje. Somos el segundo país de la región con mayor número de hidroeléctricas en operación, las cuales producen el 58% de la energía eléctrica que se genera anualmente en nuestro país.

Es por ello que los problemas en las operaciones de la hidráulica en presas y canales se ha vuelto de vital importancia para la solución de problemas relacionados con el flujo turbulento volviéndose ésta, una materia obligada de estudio; ya que en ella se destacan los comportamientos y características del flujo de agua a través de los canales por el cual circula.

En el presente trabajo se abordara la los factores que influyen en la disipación de energía cinética del agua en un canal de origen artificial, descubierto a la atmosfera, en una empresa hidroeléctrica constituida en el Perú, cuyo principal objeto social es la generación y comercialización de energía.

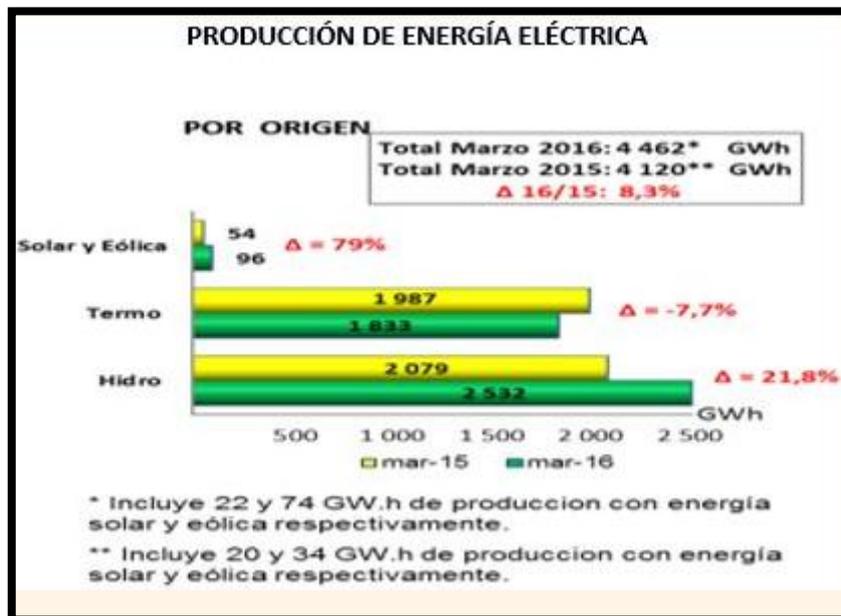


Figura n.º 1-1. Producción de energía eléctrica por fuentes de generación (GWh).

Fuente: <http://gestion.pe/economia/produccion-energia-electrica>

1.1 Antecedentes

La compañía eléctrica CELEPSA S.A, es una de las empresas importantes en el Perú, que opera con energía renovable hace muchos años, a través de la Central Hidroeléctrica G1 El Platanal Presa Capillucas, teniendo como zonas de influencia en el sur del país Provincia de Cañete y Yauyos. Está ubicada en el Departamento de Lima en el Km. 65.5 de la Carretera Cañete - Yauyos, Distrito de Zúñiga.

Desde los inicios en sus operaciones se ha registrado muchas variaciones en cuanto al flujo del caudal, principalmente durante las épocas de estiaje el nivel de agua en la Presa Capillucas oscila de 1531 a 1534 m.s.n.m, y la época de avenida el nivel de agua varía entre de 1533.2 a 1534.9 msnm. En consecuencia la velocidad del agua al ingreso de la bocatoma también es variable debido a estos factores.

Así mismo, durante la transición de la época de estiaje a avenida, el nivel de agua en la Presa Capillucas se incrementa hasta descargar por el vertedero a 1540.3 msnm, provocando que la velocidad de ingreso del agua por la compuerta de la bocatoma se incrementa hasta los 12 m/s aproximadamente.

Durante la operación de la Planta con niveles más altos en la Presa Capillucas y a diferentes cargas y caudales, se experimenta diferentes velocidades y mayor turbulencia del agua al ingreso por la Bocatoma, originando que el agua llegue al desarenador con flujo turbulento y se registra oleajes de hasta 0.40 m. Dichas turbulencias en el desarenador están provocando que los sólidos en suspensión no completen el proceso de decantación, y debido a las fluctuaciones del nivel de agua, también dificulta la medición de velocidades, caudales y turbidez en las diferentes secciones. Con el fin de cumplir con la entrega de un caudal ecológico, se viene usando una de las compuertas de purga de desarenador para este fin, haciendo que en ciertas ocasiones el caudal total de ingreso al desarenador, supere el caudal necesario para la operación (40 m³/s), entre 2 y 15 m³/s. Haciendo que el caudal total de ingreso a desarenador llegue a 55 m³/s, ocasión en que las velocidades de ingreso del agua son las mayores.

Con el objeto de mejorar la operación y reducir el costo del mantenimiento de la planta se ha determinado la necesidad de instalar un disipador de energía en la ubicación definida según el estudio del régimen hidráulico de la Bocatoma y Desarenador. Concluido dicho estudio y en la misma se recomienda la ubicación y el tipo de disipador, se procede a gestionar la ingeniería de detalle, fabricación y montaje del disipador.

Asimismo, para esta investigación se ha revisado bibliografía relacionada con los disipadores de energía hidráulica en tesis internacionales, revistas, publicaciones, organizaciones mundiales, determinando diversas soluciones ante la magnitud y capacidad de generación de las plantas hidráulicas que tengan esta problemática de disipar la energía cinética del agua.

Castillo (1989), realizó la investigación de un método experimental y numérico con el cual le permitió caracterizar el campo de presiones en los disipadores de energía hidráulica en el caso de vertido libre por coronación. Esto se llevó a cabo en la ciudad de Cataluña de España. En lo experimental incorporo mejoras en los sistemas de medición de los datos obtenidos y en la parte numérica propuso caracterizar el fenómeno aleatorio de las fluctuaciones de la presión. Aplicó la metodología de experiencias de vertido libre, con el cual comprobó las leyes existentes, esto le sirvió para verificar los valores máximos y mínimos de presión en el estancamiento de agua. Con el estudio realizado se determinó de manera experimental los parámetros necesarios para el estudio del campo de presiones en los disipadores de energía.

Villamarin (2013), hizo estudios y análisis con el objetivo de elaborar un manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica de fácil manejo y aplicabilidad para ingenieros diseñadores de obras hidráulicas, agrupando todos los documentos e información sobre obras hidráulicas, como generación de energía, riego y agua potable. En ella considera los principales conceptos, parámetros y condiciones de diseño de las estructuras de disipación de energía llegando a resultados que para escoger la estructura para lograr pérdidas considerables de energía de debe de cumplir con el siguiente punto de vista como hidráulico, sanitario, estructural, económico y a la vez se deben tomar en cuenta los criterios para áreas grandes y pequeños considerando las condiciones como permeabilidad, intensidad de lluvia, factor eficiencia, topografía existente, geología y geotecnia de la zona.

Ayala (2010), realizó un proyecto de investigación de disipación de energía en la cual aplicó el uso de gavión, en un modelo constituido en escala 1:10 simulando una corriente con transporte de flujo de 5m³/s, con ancho de la solera 40000m de longitud. Teniendo en cuenta la flexibilidad intrínseca del armazón de los gaviones, sujetos a tensión y compresión alternantes, les permite trabajar sin romperse. Dicha investigación está enfocada a describir los flujos sobre los gaviones en comparación con los escalonados de construcción común para canales homogéneos. Con ello haciendo el estudio experimental en el laboratorio, realizado sobre el modelo de canal permiten evaluar la disipación de energía y la potencia disipada debida al resalto hidráulico comparando estructuras en gavión, estructuras de concreto y una rampa, todas de la mismas dimensiones o constituidos de forma similar dieron como resultado que las estructuras escalonadas son estructuras óptimas para la disminución de la velocidad en canales de pendientes ;las velocidades obtenidas en los escalones de concreto son orden del 25% al 30% menor que las obtenidas en los escalones en gavión, lo que quiere decir que son las estructuras más adecuadas para el control de inundaciones. En los escalones se genera un resalto hidráulico, lo que quiere decir que en el escalón hay un cambio de una profundidad baja a una más alta profundidad antes del resalto. Con esto se concluye que la disipación de energía y la potencia disipada debido al resalto producido son inversamente proporcional a la pendiente longitudinal del canal.

Abarca (2013), realizó cuatro ensayos experimentales a escala reducida en el Laboratorio de Hidráulica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, analizando y registrando la información obtenida de cada uno de ellos. Esto sirvió para plantear soluciones y determinar las dimensiones necesarias que debe de tener el Canal de Disipador de Energía, para garantizar el correcto funcionamiento del aforador de Parshall. Y este a su vez solucionara el problema del proceso de lixiviación de minerales en la actividad minera. Mediante los ensayos de investigación se logró estimar la rugosidad y longitud que debería tener el canal para lograr la disipación necesaria.

1.2 Justificación

La generación de energía eléctrica a través de las centrales hidroeléctricas en el Perú, es la segunda fuente más utilizada en la región después de la termoeléctrica, y debido al gran potencial de este recurso renovable en el país. Es por ello que merece especial consideración como objeto de estudio para un mayor desarrollo en sus operaciones de explotación.

Al optar la generación a través de esta fuente, las plantas hidroeléctricas están sometidos a diversas variables y aspectos las cuales se deben controlar para su correcto uso y optima explotación; entre estos aspectos tenemos el caudal turbulento, la variación de velocidad que suscita y se genera en el vertedero hasta finalmente terminar desarenador, ocasionando la decantación lenta y por ende incompleta, de las partículas en suspensión debido a las fluctuaciones del flujo.

En consecuencia las repercusiones negativas que éstas ocasionan la saturación de canal de purga, desgaste e ineficiencia de los equipos, como generador, estructuras, elementos de control, etc. acortando el tiempo de vida útil como también el aumento en los gasto de mantenimiento en las operaciones de la planta, además de incumplir la entrega del caudal ecológico permisible en la zona.

Así la presente investigación, busca emplear un modelo estructural óptimo como medio de solución al problema, para la reducción parcial de la energía del flujo del caudal y la turbulencia en 25%, con ello optimizando el tiempo en el proceso de decantación, tomando los datos actuales proporcionados por la empresa Celepsa.

Como resultados de estas premisas los sólidos en suspensión logran completar el proceso de decantación para conseguir impactos positivos en el proceso de sus operaciones de generación reducir el costo elevado de mantenimiento.

Tabla n.º 1-1. Condición actual presa Capillucas

CONDICIÓN ACTUAL PRESA CAPILLUCAS						
TRANSICIÓN	ESTIAJE / msnm			AVENIDA/ msnm		
NVEL DE AGUA	1531	1534	$\Delta= 2$	1533.2	1534.9	$\Delta= 1.7$
CAUDAL INGRESO	40 m ³ /s			55 m ³ /s		
VELOCIDAD	12 m/s			15 m/s		
OLEAJE	0.1 mt			0.4 mt		
% SATURACIÓN	5%			15%		

Fuente: Elaboración propia

- Fluido: Agua de rio
- Velocidad máxima : 15 m/s
- Porcentaje de saturación: 15%(materiales solidos flotantes)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un disipador de energía hidráulica, que se adecue a las condiciones existentes, en la entrada del desarenador de la Central Hidroeléctrica El Platanal, para optimizar la decantación y sedimentación de los sólidos en suspensión.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Simular el diseño del disipador mediante con asistencia de software de ingeniería.
- Fabricar y montar el disipador en la entrada del desarenador.
- Monitorear las variables referidas al óptimo funcionamiento del disipador.

2 MARCO TEÓRICO

En el proceso de investigación científica, Fidiás Arias define el “marco teórico como” el grupo central de los conceptos y teorías que se utilizan para formular y desarrollar un argumento (o tesis). Marco Teórico no es más que una revisión exhaustiva de las teorías más recientes que describen todo lo que se sabe o se investiga ya sobre el fenómeno o evento que tenemos que investigar. En este sentido es una investigación preliminar sobre los documentos, tesis y libros para tomar decisiones en el diseño de las investigaciones de campo(o de terreno), para orientar el análisis con los datos recogidos en terreno donde averiguaremos todo lo que se ha dicho o investigado sobre el tema o fenómeno que tendremos que investigar.

Para llevar a cabo el presente trabajo, es crucial detallar en forma ordenada y jerárquica los conceptos básicos inherentes en el desarrollo.

2.1 Energía renovable

Según la física, energía se define de una forma simple, es la capacidad de hacer algún trabajo. La energía eléctrica que resulta de una diferencia de potencial entre dos puntos. Esta diferencia o tensión permite que se genere una corriente eléctrica entre esos dos puntos, si es que en medio hay un medio conductor. La energía eléctrica, luego puede ser convertida en los diferentes tipos de energía que utilizamos a diario, como la energía lumínica, para nuestra iluminación, energía mecánica, para nuestros electrodomésticos, y energía térmica, para calentarnos entre otros.

Las aplicaciones más lejanas, como un antecedente histórico, se sitúan principalmente en el empleo de fuentes energéticas inagotables en el transporte, teniendo como principal ejemplo a la navegación a vela, que empleaba la energía eólica de una manera práctica y sencilla para impulsar los navíos.

Ruiz (2009) La posterior aparición de los molinos de viento reforzaba este concepto, y con los molinos de agua se asentaban las primeras bases de la Energía Hídrica, sumado además a un rediseño de los edificios para aprovechar de la mayor manera posible la energía solar durante el día.

El progreso de las mismas se vio principalmente dejada de lado por el fenómeno de la Revolución Industrial, la mayor utilización de combustibles fósiles y las mejoras aplicadas a los motores térmicos, que en sus primeros años contaban con una fuente inagotable de recursos.

Twenergy(2012) Las energías renovables son aquellas energías que provienen de recursos naturales que no se agotan y a los que se puede recurrir de manera permanente. Su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂ como también son mínimos los efectos contaminantes y el agotamiento de los combustibles fósiles.

Las energías renovables son energías limpias que contribuyen a cuidar el medio ambiente.



Figura n.º 2-1. Fuentes de energía renovable

Fuente: <https://energiasrenovables.wordpress.com>

Entre los diferentes tipos de energía renovables tenemos los siguientes:

- *Energía hidráulica.* Es la producida por la caída del agua
- *Energía eólica.* Es la energía cinética producida por el viento
- *Energía solar.* Este tipo de energía nos la proporciona el sol en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente).
- *Energía geotérmica.* Es una de las fuentes de energía renovable menos conocidas y se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor y ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres.
- *Energía mareomotriz.* El movimiento de las mareas y las corrientes marinas son capaces de generar energía eléctrica de una forma limpia.
- *Energía de la biomasa.* Es la procedente del aprovechamiento de materia orgánica animal y vegetal o de residuos agroindustriales.
- *Otros*

2.2 Energía hidráulica

La energía hidráulica o energía hídrica es una fuente de energía renovable que produce electricidad aprovechando la caída y/o movimiento del agua desde una cierta altura para generar energía eléctrica. Se aprovecha así la energía cinética de una corriente o salto de agua natural. Para conseguir aprovechar esa energía se aprovechan los recursos tal y como surgen en la naturaleza (por ejemplo, cataratas, gargantas, etc.) o se construyen presas. Las instalaciones más comunes hoy en día son las centrales hidroeléctricas.

La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable, como sabe cualquiera que haya hecho descenso de rápidos.

Ventajas: Es una fuente de energía limpia, sin residuos y fácil de almacenar. Además, el agua almacenada en embalses situados en lugares altos permite regular el caudal del río.

Inconvenientes: La construcción de centrales hidroeléctricas es costosa y se necesitan grandes tendidos eléctricos. Además, los embalses producen pérdidas de suelo productivo y fauna terrestre debido a la inundación del terreno destinado a ellos. También provocan la disminución del caudal de los ríos y arroyos bajo la presa y alteran la calidad de las aguas.

National Geographic (2015) Este tipo de energía lleva años explotándose. This Energy has been exploited for centuries. Los agricultores, desde la Grecia antigua han utilizado molinos de agua para moler trigo y hacer harina. Localizados en los ríos, los molinos de agua recogen el agua en movimiento en cubos situados alrededor del molino¹. La energía cinética del agua en movimiento gira el molino y se convierte en la energía mecánica que mueve el molino.



Figura n.º 2-2. Central hidroeléctrica de Xiangjiaba. 6.448 MW. China.

Fuente: <http://elperiodicodelaenergia.com>

2.2.1 Plantas hidroeléctricas

Una planta hidroeléctrica es la que aprovecha la energía hidráulica para producir energía eléctrica. Si se concentra grandes cantidades de agua en un embalse, se obtiene inicialmente, energía potencial, la que por la acción de la gravedad adquiere energía cinética o de movimiento pasa de un nivel superior a otro muy bajo, a través de las obras de conducción (la energía desarrollada por el agua al caer se le conoce como energía hidráulica), por su masa y velocidad, el agua produce un empuje que se aplica a las turbinas, las cuales transforman la energía hidráulica en energía mecánica.

Uribe (2002) Esta energía se propaga a los generadores que se encuentran acoplados a las turbinas, los que la transforman en energía eléctrica, la cual pasa a la subestación contigua o cerca de la planta. La subestación eleva la tensión o voltaje para que la energía llegue a los centros de consumo con la debida calidad.

Las turbinas pueden ser de varios tipos, según los tipos de centrales:

- *Pelton*: saltos grandes y caudales pequeños
- *Francis*: salto más reducido y mayor caudal
- *Kaplan*: salto muy pequeño y caudal muy grande
- *De hélice*

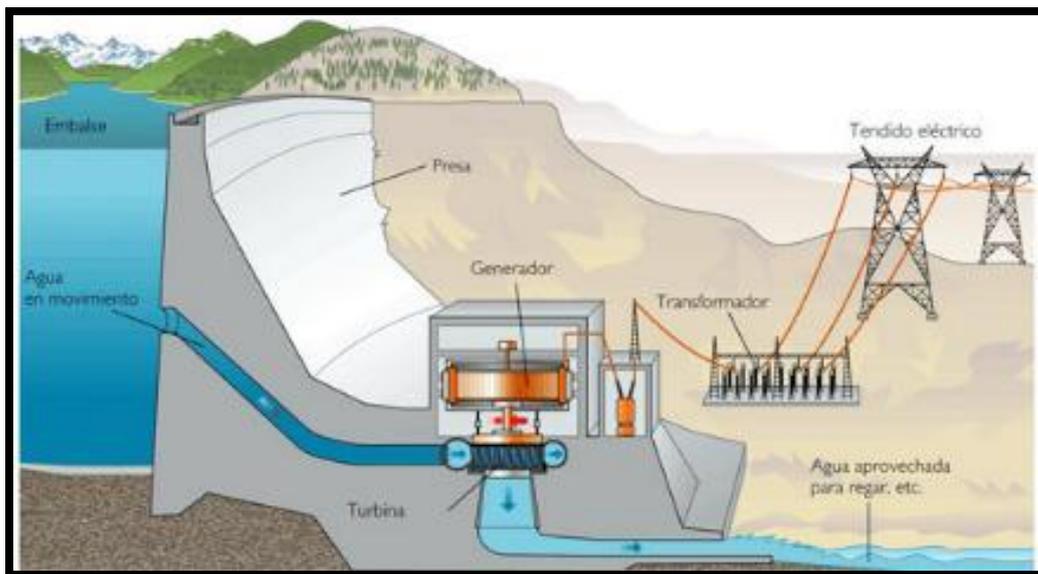


Figura n.º 2-3. Partes central hidroeléctrica

Fuente: <https://celendinlibre.files.wordpress.com>

2.2.2 Tipos de Centrales hidráulicas

Según indica **Uribe (2002)** las plantas pueden ser clasificadas según varios argumentos, como características técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento.

1. *Según utilización del agua, es decir si utilizan el agua como discurre normalmente por el cauce de un río o a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano.*

- Centrales de agua fluente
- Centrales de agua embalsada
- Centrales de regulación
- Centrales de bombeo

2. *Según la altura del salto de agua o desnivel existente:*

- Centrales de alta presión
- Centrales de media presión
- Centrales de baja presión

2.2.2.1 Centrales de Agua Embalsada

Según **(Minem, S,F)** indica que en este tipo de proyecto se embalsa un volumen considerable de líquido aguas arriba de las turbinas mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales. El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. En un período de tiempo prolongado la cantidad media de agua - o aforo - que pasa por las turbinas es igual, naturalmente, a la cantidad media de agua que entra en los lagos artificiales (salvo pérdidas por evaporación y por infiltración) si no hay rebosamiento, pero durante un período más corto puede haber una diferencia considerable entre la entrada y la salida de agua de los lagos y ella hace que aumente o disminuya el nivel de los mismos.

Minem (S,F) Del volumen embalsado depende la cantidad que puede hacerse pasar por las turbinas, teniendo en consideración las características del caudal del río. Un pequeño embalse de regulación puede bastar para absorber las variaciones de la carga durante el día; un embalse grande puede bastar para absorber las variaciones estacionales de entrada y hasta compensar uno o más años enteros de baja precipitación pluvial. Con embalse de reserva puede producirse potencia durante todo el año aunque el río se seque por completo durante algunos meses, cosa que sería imposible con un proyecto de pasada. Para absorber las fluctuaciones del caudal del río durante todo un año podría resultar necesario tener un embalse equivalente a algunos meses de caudal anual medio del río; la capacidad efectiva del embalse dependerá de las variaciones estacionales del caudal. Las centrales con almacenamiento de reserva exigen por lo general una inversión de capital mayor que las de pasada, pero en la mayoría de los casos permiten usar toda la energía disponible y, por lo tanto, producir kilovatios-hora más baratos.

2.2.2.2 Presas hidroeléctricas

Las presas son estructuras hidráulicas de contención de agua de un cauce natural que permiten conseguir niveles de inundación previstos y el embalsamiento de las aguas. El

objetivo principal que tiene las presas es elevar el nivel de agua para que pueda derivarse por una conducción, es decir creación de altura del nivel de agua. El otro objetivo de las presas es formar un deposito artificial que, al retener los excedentes, permita suministrar el agua en las épocas de estiaje o escasas (creación de embalse) o para amortiguar (laminar) las puntas de las crecidas.

2.2.2.3 Tipos de presas

Uribe (2002) Las presas se clasifican según la forma de su estructura y los materiales empleados. Las grandes presas pueden ser de hormigón o de elementos sin trabar. Las presas de hormigón más comunes son de gravedad, de bóveda y de contrafuertes. Las presas de elementos sin trabar pueden ser de piedra o de tierra.

También se construyen presas mixtas para conseguir mayor estabilidad. La elección del tipo de presa más adecuado para un emplazamiento concreto se determina mediante estudios de ingeniería y consideraciones económicas (el costo de la presa depende de la disponibilidad de los materiales para su construcción y de las facilidades para su transporte).

1. Según la función

- Presas de embalse
- Presas de derivación

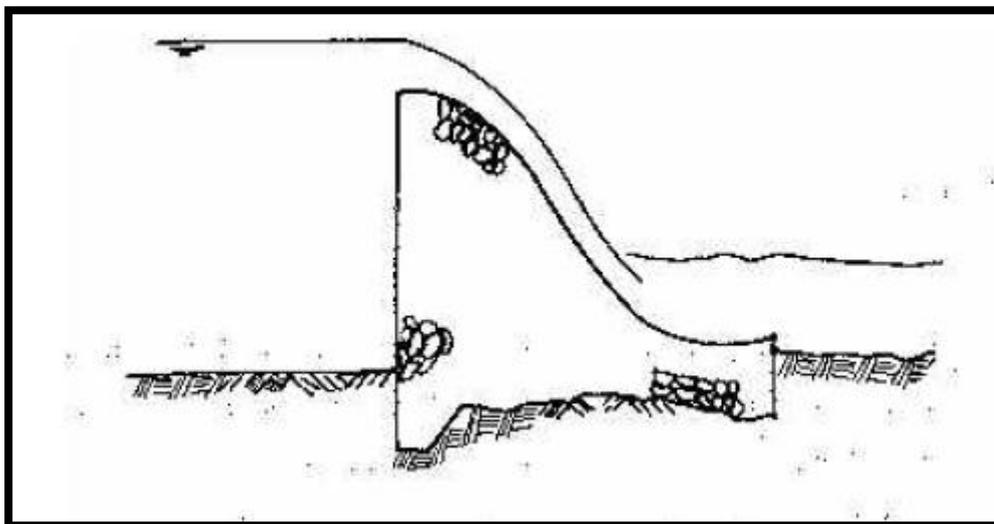


Figura n.º 2-4. Presa baja derivadora. Vega R. O. Arrequín C., F. I. 1987.

Fuente: Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

2. Según como permitan el paso del agua

- Presas de sección sorda
- Presas de sección vertedora
- Presas de sección mixta

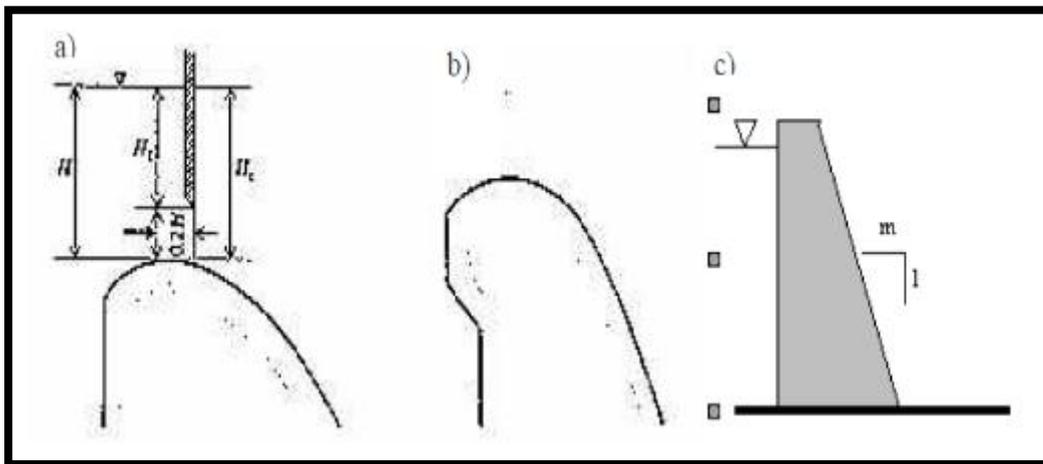


Figura n.º 2-5. Esquema típico, a) Vertedera móvil, b) vertedera fija y c) presa sorda.

Fuente: Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

3. Según la relación de esbeltez

- Presas flexible $b \geq 1.0$
- Presas de concreto gravedad $0.6 \leq b < 1.0$
- Presas de arco gravedad $0.3 \leq b < 0.6$
- Presas de arco puro $b < 0.3$

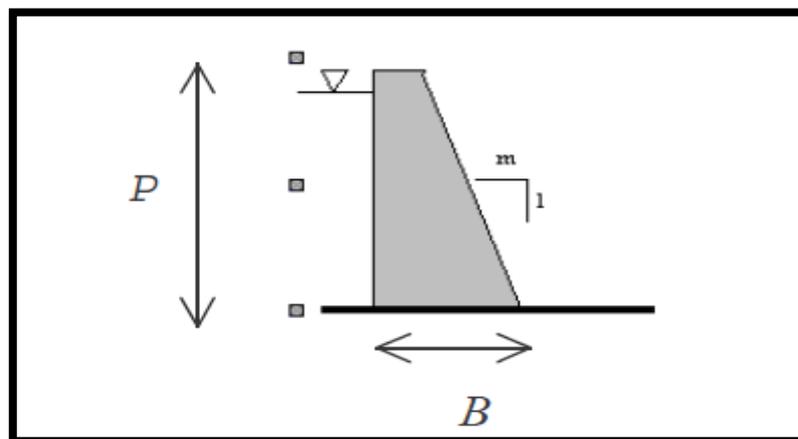


Figura n.º 2-6. Relación de esbeltez.

Fuente: Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

B = ancho de la base de la presa

P = altura de la presa $b = B/P$

Tabla n.º 2-1. Algunos ejemplos de relación de esbeltez para presas construidas en el mundo.

Presa	Localización	Tipo	Altura (m)	Ancho (m)	β
Golillas	Colombia	B	127	420	3.3
Guavio	Colombia	A	240	912	3.8
Tunjita	Colombia	D	23	2	0.1
Hoover	EUA	C	221	201	0.9
Emosson	Suiza	D	180	49	0.27

Fuente: Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

A: Suelos con núcleo impermeable

B: Enrocado con cara de concreto

C: Arco grueso

D: arco puro

4. Según la altura de presión creada por la presa

- *Presa altas.* Las presas se pueden considerar altas si sobrepasan los 75 m de altura. La seguridad requerida por la presa adquiere más importancia a medida que aumenta su altura.
- *Presas intermedias.* La presión actuante sobre las estructuras es media. Las presas tienen una altura comprendida entre 25m y 75 m.
- *Presas bajas.* Presas menores de 25 m pueden clasificarse como bajas. Una presa derivadora puede tener alrededor de tres metros de altura.

Tabla n.º 2-2. Presas más altas del mundo según materiales de construcción

Presa	País	Tipo	Altura (m)
Rogún	Rusia	Mixta (Tierra y enrocado)	325
Nurek	Rusia	Tierra	300
Grande Dixence	Suiza	Concreto gravedad	285
Inguri	Suiza	Arco	272
New Melones	EUA	Enrocado	191
Miyagese	Japon	CCR	155
Roseland	Francia	Arco/contrafuertes	150
Zeya	Rusia	Contrafuertes	115

Fuente: Water Power and Dam Construction. 1990.

5. Según los materiales empleados en la construcción

- Las presas pueden ser de concreto simple, concreto ciclópeo, concreto reforzado, materiales sueltos compactados, gaviones, madera, materiales plásticos para modelaje hidráulico.

6. Según la forma de trabajo estructural

- Las presas rígidas son básicamente construidas en concreto. Pueden ser: a) masivas o actuando por gravedad, b) de contrafuertes o presas de gravedad aligeradas, c) de arco o que transmiten las fuerzas lateralmente al cañón rocoso.

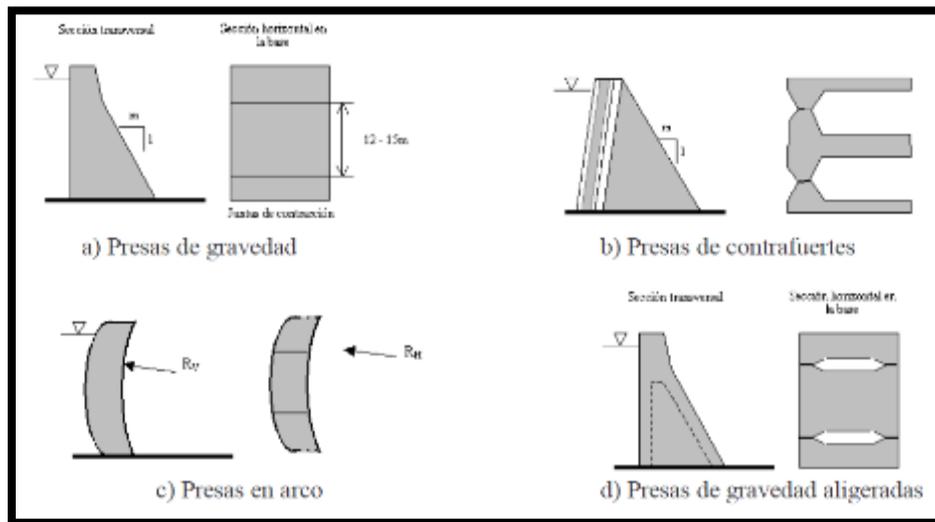


Figura n.º 2-7. Ejemplos de presas rígidas.

Fuente: Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

- Las presas flexibles son rellenos de suelos y/o enrocado. Su sección transversal es un trapecio con tendido de los taludes del terraplén de acuerdo a las condiciones de estabilidad del material que lo conforma.

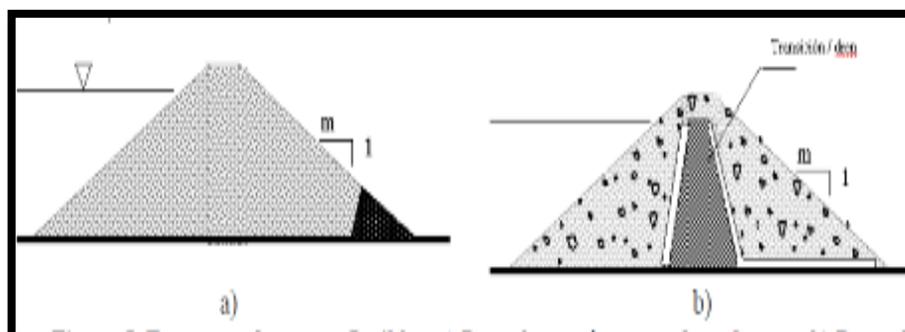


Figura n.º 2-8. Esquemas de presas flexibles. a) Presa homogénea con dren de pata. b) Presa de Enrocado con núcleo impermeable.

Fuente: Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. 1990.

Tabla n.º 2-3. Tipos de presas hidráulicas

Tipo de presa	Características
Terraplén	Adecuadas para cimentaciones en roca y suelos. Pueden aceptar asentamientos diferenciales limitados con núcleos relativamente amplios y de material plástico. Se requiere tabique hasta el material impermeable. Tienen pocos esfuerzos de contacto. Requieren varios materiales para núcleo, filtro, enrocado, etc.
Pedraplén o enrocado	Preferiblemente en fundación rocosa. Aceptan calidad variable y algo de intemperismo. Se requiere tabique hasta el material impermeable. Se facilita la colocación en cualquier clima. Requieren materiales para núcleo, filtros, etc.
Concreto gravedad	Adecuadas en valles amplios, desde que la excavación sea menor de 5 a 10 m. Se acepta desgaste limitado de la roca. Deben chequearse las discontinuidades de la roca con relación al deslizamiento. Tienen bajos esfuerzos de contacto. Requieren de materiales que a veces toca importar como el cemento.
Contrafuertes	Como presas de gravedad, pero mayores esfuerzos de contacto, requieren de roca sana. El ahorro de concreto con relación a las presas de gravedad es del 40 al 60%.
Arco	Adecuadas en gargantas estrechas con rocas sana de alta resistencia y poca deformabilidad en las zonas de fundación y estribos. Alta carga sobre los estribos. El ahorro de concreto con relación a las presas de gravedad es del 50 al 85%.

Fuente: Guevara, S.F.

2.3 Disipadores de energía hidráulica

Uno de los aspectos que generalmente merece especial atención en el diseño de obras hidráulicas es la disipación de la energía cinética que adquiere un flujo en su descenso. Esta situación se presenta en vertederos de excedencias, estructuras de caída, desfuegos de fondo, bocatomas, salidas de alcantarillas, etc. La disipación de la energía cinética puede lograrse aplicando diferentes medidas, a saber: generación de resalto hidráulico, impacto o incremento de la rugosidad.

Fernández, Martínez, & García (S.F.) La estructura disipadora de energía es una parte importante de la obra de excedencia que tiene por objeto disipar la energía cinética que el agua adquiere en su caída desde el vaso hasta un sitio adecuado en el fondo del cauce, donde no genere problemas de erosión o socavación. Estas estructuras se diseñarán para que el agua, que sale del canal de descarga, se aleje lo máximo posible, (...), de la cortina o de alguna estructura complementaria.

Así mismo **(Condón, 2013)**, define que los disipadores de energía hidráulica es un elemento estructural secundario u obra de protección artificial que tiene la función de minimizar la energía cinética, cuando el agua corre por el cauce, vertedero y los canales, que contengan gran cantidad de energía y mucho poder destructivo debido a las altas presiones y velocidades.

Estas pueden causar erosión en el lecho del río, bases de los puentes, pie de la presa, desarenadores o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la estabilidad del puente y de las estructuras hidráulicas. Por lo tanto se deben colocar disipadores de energía.



Figura n.º 2-9. Disipadores de energía hidráulica

Fuente: Presas y centrales Argentinas, 2012

2.3.1 Resalto hidráulico

Ingeniería (2013), define como un fenómeno local, que se presenta en el flujo rápidamente variado, el cual va siempre acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable (disipada principalmente como calor), en un tramo relativamente corto. Ocurre en el paso brusco de régimen supercrítico (rápido) a régimen subcrítico (lento), es decir, en el resalto hidráulico el tirante, en un corto tramo, cambia de un valor inferior al crítico a otro superior a este.

Según indica (**Ortega 2012**) el resalto hidráulico es importante y adecuado para disipar el exceso de la energía en un flujo supercrítico el cual es utilizado para la disipación de energía a, menudo se confina total o parcialmente en un tramo del canal que se reconoce como cuenco de disipación o cuenco de quietamiento, cuyo fondo se recubre para resistir la socavación.

Generalmente, el resalto se forma cuando en una corriente rápida existe algún obstáculo o un cambio brusco de pendiente. Esto sucede al pie de estructuras hidráulicas tales como vertederos de demasías, rápidas, salidas de compuertas con descarga por el fondo.

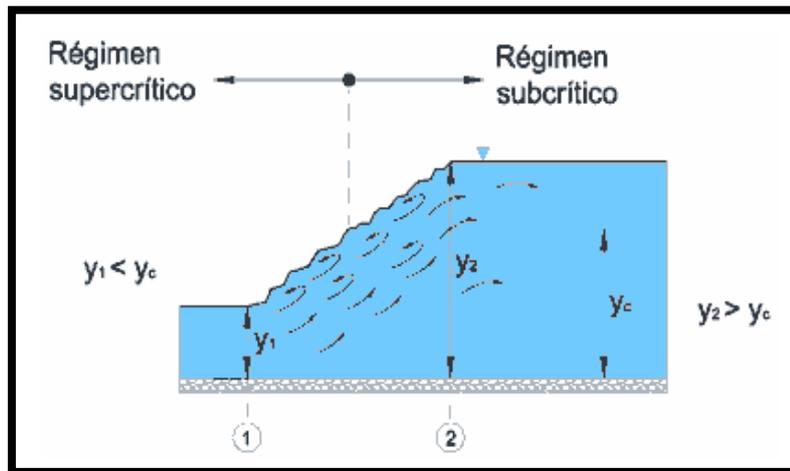


Figura n.º 2-10. Resalto hidráulico

Fuente: www.ingenierocivilinfo.com

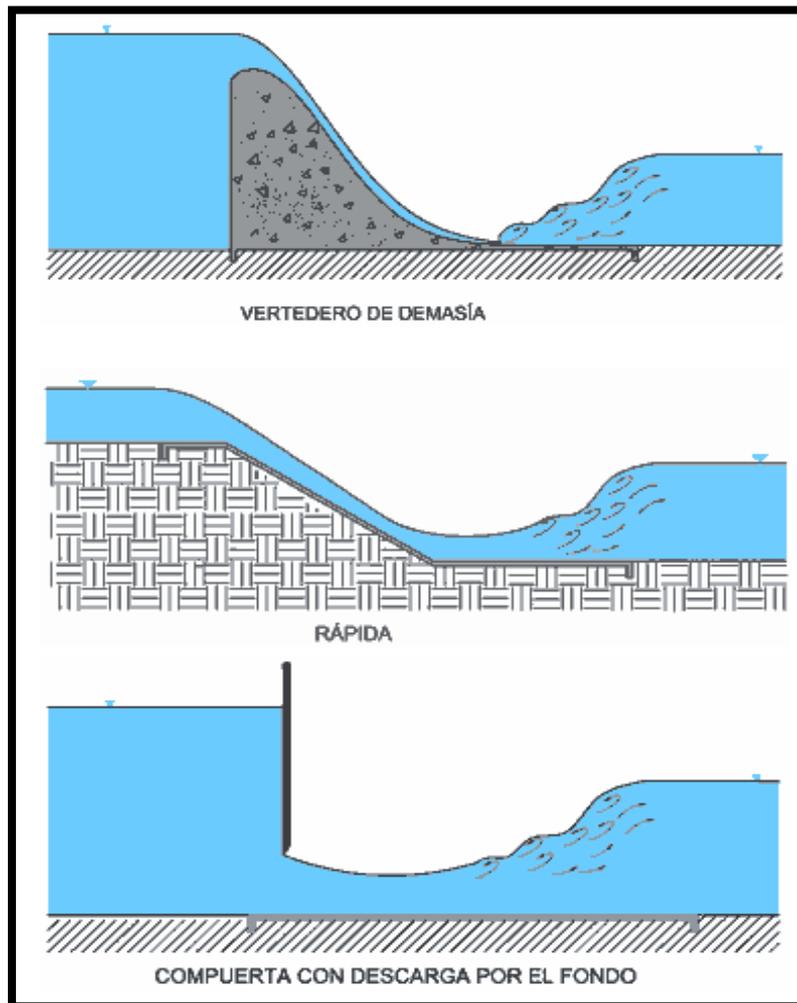


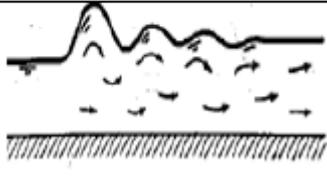
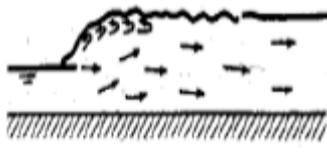
Figura n.º 2-11. Lugares apropiados para formarse el resalto hidráulico

Fuente: www.ingenierocivilinfo.com

2.3.1.1 Tipos de resalto hidráulico.

Según los estudios realizado por U.S.Bureau of Reclamation, el resalto hidráulico de puede clasificar de acuerdo con el número de Froude al inicio del resalto en los siguientes tipos:

Tabla n.º 2-4. Tipos de resalto hidráulico según el número de Froude

Rangos del # Froude al inicio del R.H.	Tipo de resalto según el # Froude	Características del resalto	Esquema de acuerdo al tipo de resalto
$F_1 = 1$	No se forma resalto		
$1 < F_1 < 1.7$	Resalto ondulante	La superficie del agua muestra ondulaciones	
$1.7 \leq F_1 \leq 2.5$	Resalto débil	Se forman pequeños rollos a lo largo del salto, la superficie aguas abajo del salto es lisa. La pérdida de energía es baja.	
$2.5 \leq F_1 \leq 4.5$	Resalto oscilante	Se produce un chorro oscilante entrando al salto del fondo a la superficie una y otra vez sin periodicidad. Formándose una onda de periodo irregular que comúnmente puede viajar por varios kilómetros causando daños aguas abajo.	
$4.5 \leq F_1 \leq 9$	Resalto estable	La extremidad aguas abajo del rollo de la superficie y el punto en el cual el chorro de alta velocidad tiende a dejar el flujo ocurre prácticamente en la misma sección vertical. El rendimiento en la disipación de energía varía entre el 45% y el 70%.	
$F_1 \geq 9$	Resalto fuerte	El chorro de alta velocidad agarra golpes intermitentes de agua rodando hacia abajo, generando ondas aguas abajo, y puede prevalecer una superficie áspera. La efectividad del salto puede llegar al 85%.	

Fuente: *Energy Dissipators. Hidráulica de canales, Ven Te Chow (1994)*

2.3.2 Consideraciones para la selección de disipadores.

- Energía de la corriente.
- Economía y mantenimiento ya que éste eleva mucho el costo.
- Condiciones del cauce aguas abajo (roca, suelo erodable, etc.)

- Ubicación de las vías de acceso, casa de máquinas, y demás estructuras hidráulicas ya que su seguridad no puede quedar comprometida.
- Congelamiento.
- Efecto de las subpresiones y del vapor de agua sobre las instalaciones.
- Daños causados a la fauna y la flora por la erosión.
- Proyectos y poblaciones aguas abajo.

2.3.3 Tipos de disipadores

2.3.3.1 Salto de esquí

Villamarin (2013), enfoca que se utiliza para grandes descargas, principalmente en los vertederos. Ésta se hace directamente sobre el río. Se utilizan unos trampolines para hacer saltar el flujo hacia un punto aguas abajo reduciendo así la erosión en el cauce y el pie de la presa. La trayectoria del chorro depende de la descarga, de su energía en el extremo y del ángulo con el que sale del trampolín. Su funcionamiento se ve con la formación de dos remolinos uno en la superficie sobre el trampolín y el otro sumergido aguas abajo; la disipación de la energía se hace por medio de éstos.

Este tipo de disipador a su vez puede ser de dos tipos:

- Salto de esquí sumergido- Liso: El funcionamiento de este tipo se manifiesta por la formación del resalto hidráulico en la superficie esquí.

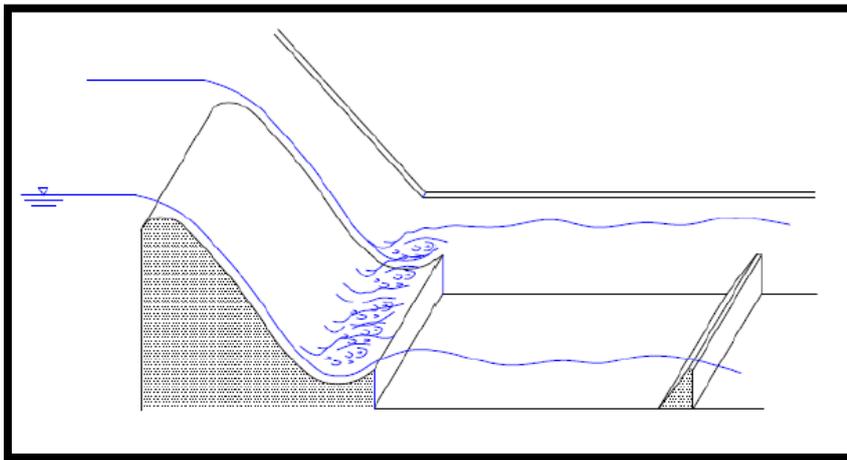


Figura n.º 2-12. Salto de esquí sumergido

Fuente: Villamarin, 2013

- Salto de esquí estriado: Este tipo de disipador contiene estrías en el deflector obligando a separar el agua, el chorro de alta velocidad sale del borde con un ángulo menor, y solamente parte el chorro de alta velocidad va dar a la superficie.

De esta manera se produce una turbulencia menor en la superficie del vertedero, evitando la erosión.

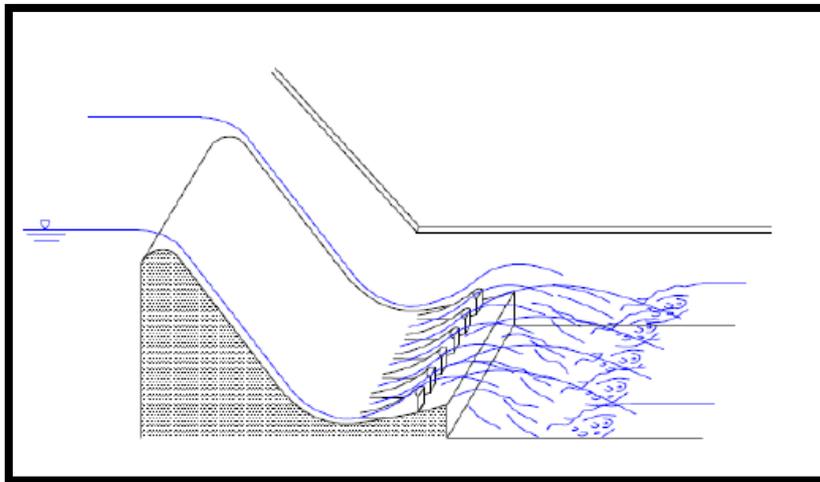


Figura n.º 2-13. Salto de esquí estriado

Fuente: Villamarin, 2013

2.3.3.2 Disipador con bloques de impacto o con umbrales

Villamarin (2013) determina que los umbrales dentados a menudo se colocan al final del canal de entrega. Su función es reducir además la longitud del resalto y controlar la socavación. Para canales largos, diseñados para altas velocidades de entrada, el remate o umbral - por lo general - es dentado, para llevar a cabo la función adicional de volar la parte residual del chorro de alta velocidad que puede alcanzar el extremo del canal de salida.

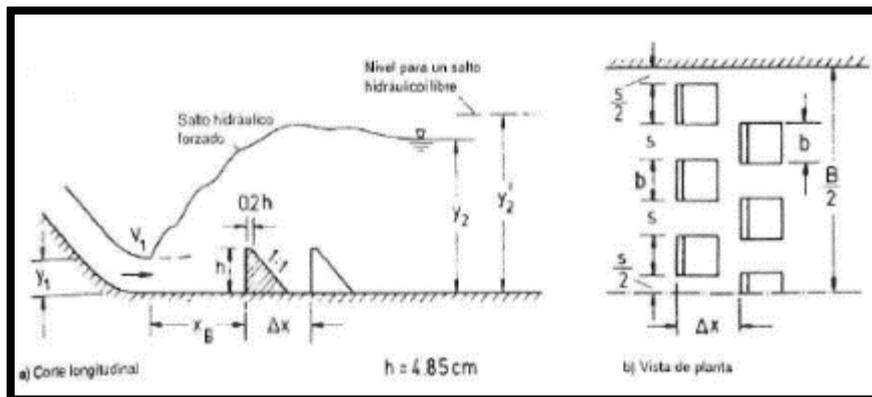


Figura n.º 2-14. Bloques de impacto

Fuente: Edward Naudascher, hidráulica de canales.

2.3.3.3 Disipador con umbral continuo y discontinuo

Mancha (1963) analizó los disipadores que están limitados por un umbral continuo en lugar de un escalón. La función de estos umbrales es crear remolinos que se forman aguas abajo

del umbral, es por eso que es importante proteger el fondo del canal en esta zona debido a que existe un alto riesgo de erosión del fondo.

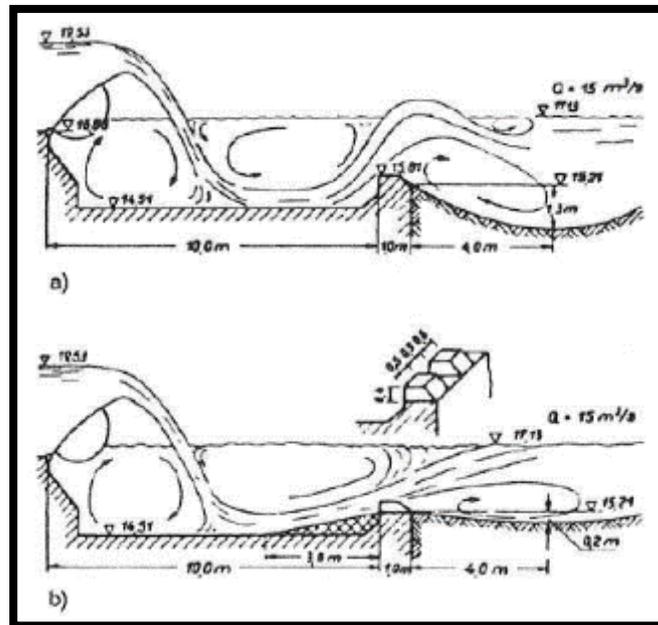


Figura n.º 2-15. Disipador con umbral continuo y discontinuo

Fuente: Edward Naudascher, hidráulica de canales

2.3.3.4 Losa con bloques

Los bloques en la rápida se utilizan para conformar una estructura dentada a la entrada del canal de entrega. Su función es dividir el chorro de entrada y elevar una parte de él desde el piso, produciendo una longitud de salto más corta que la que sería posible sin ellos. Estos bloques también tienden a estabilizar el resalto y por consiguiente a mejorar su comportamiento.

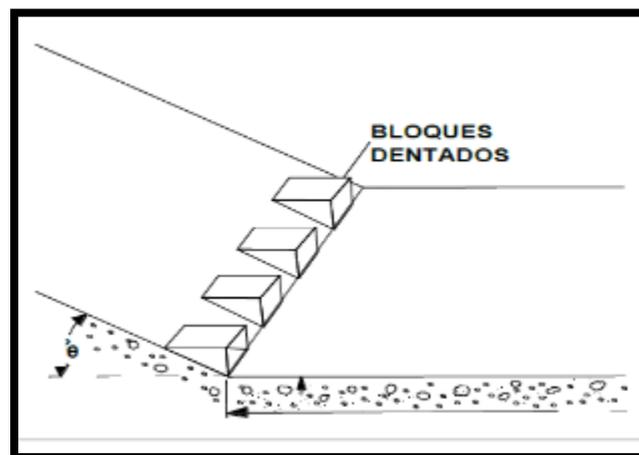


Figura n.º 2-16. Losa con bloques dentados

Fuente: Villamarin, 2013

2.3.3.5 Losa con pilares deflectores.

Son bloques localizados en posiciones intermedias sobre el piso del canal de entrega. Su función es disipar la energía principalmente mediante una acción de impacto. Los pilares deflectores son muy útiles en pequeñas estructuras con velocidades de entrada bajas.

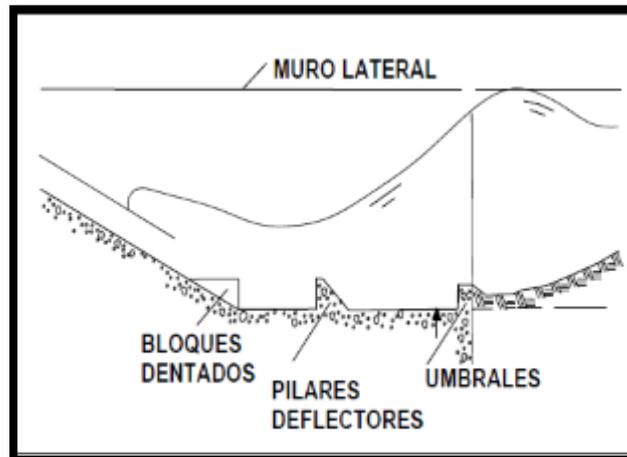


Figura n.º 2-17. Pilares deflectores en el canal de entrega

Fuente: Edward Naudascher, hidráulica de canales

2.3.3.6 Tanques amortiguadores

Villamarin (2013) realizó estudios e investigaciones y en la cual define que el tanque de amortiguación es el sistema más común de disipación de energía que convierte el flujo supercrítico del vertedero en un flujo subcrítico compatible con el régimen del río aguas abajo. El método para lograr esta transición del flujo consiste en un simple resalto sumergido, formando un tanque de amortización de sección transversal rectangular. Pueden producirse variando la altura que cae el agua del vertedero o cambiando el ancho al pie de la estructura de la vertedera.

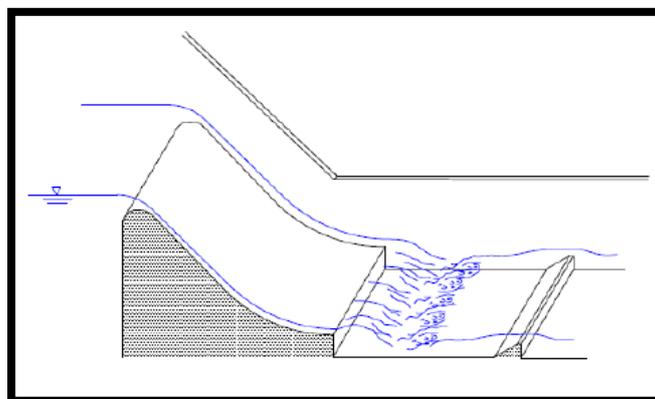


Figura n.º 2-18. Disipador tipo tanque por cambio de profundidad

Fuente: Modelo hidráulico físico de disipares de energía

2.3.3.7 Estanques amortiguadores

Ortega(2012), manifestó que “los estanques amortiguadores tienen su aplicación en vertederos de excedencias, rápidas y estructuras de caída libre”. En ellos la energía se disipa por medio de choque ya que el agua cae libre y verticalmente en un estanque en el lecho del río. Debido al gran poder erosivo del agua, se tiene que revestir el cauce y sus paredes con rocas o concreto. De todas maneras los materiales sufren mucho desgaste por el constante choque por lo que se debe hacer un mantenimiento periódico.

Un estanque amortiguador se hace necesario cuando no es posible lograr la disipación de energía deseada de manera natural, es decir, cuando el tirante conjugado necesario es mayor al tirante existente aguas abajo. En esos casos se considera la alternativa de forzar a la disipación a través de un estanque artificial, obligando el desarrollo del resalto hidráulico en un tramo lo más corto posible. Para este propósito, serán necesarias obras complementarias que permitan proteger el perímetro mojado de la zona de mayores velocidades.

2.3.3.8 Estanques amortiguadores de la U.S.B.R.

De acuerdo a la clasificación del U.S. Bureau of Reclamation, existen cinco tipos de estanques amortiguadores:

- TIPO I Para canales con pendiente moderada.
- TIPO II Estanques amortiguadores para vertederos de presas grandes y de tierra con canales extensos,
- TIPO III Pequeños estanques amortiguadores para estructuras de canal, pequeñas estructuras de salida, y vertederos menores.
- TIPO IV Utilizado en estructuras de canal y en presas de derivación. Este diseño reduce las ondas excesivas creadas en resaltos imperfectos.
- TIPO V Estanques amortiguadores con pendientes pronunciadas. El principal objetivo en el diseño hidráulico de un estanque amortiguador es la determinación del ancho y elevación del estanque para formar un resalto hidráulico estable. Esto se obtiene cuando el nivel del agua de la altura conjugada es igual al nivel del tirante aguas abajo.

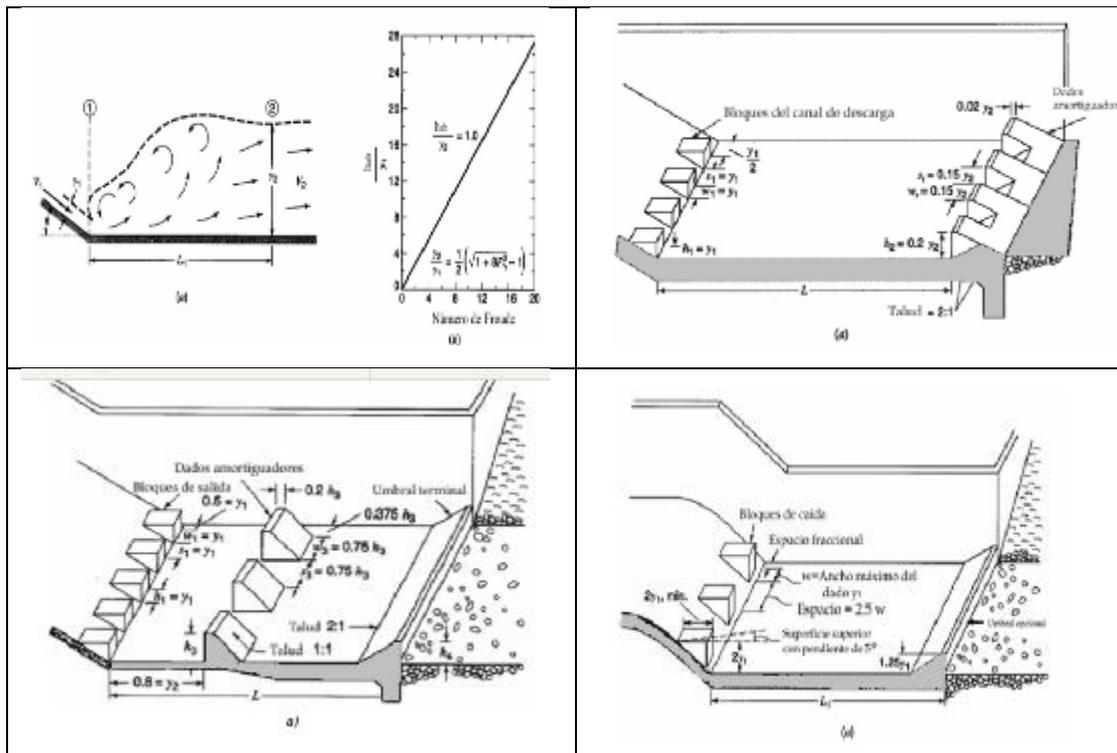


Figura n.º 2-19. Tipos estanques amortiguadores según U.S. Bureau of Reclamation

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.9 Disipador de rejillas.

Villamarin (2013) realizó estudios y concluye como disipador efectivo para pequeñas caídas ya sea en plantas o presas pequeñas. Esta estructura se ha probado para números de Froude con valores que varían de 2,5 a 4,5 determinados al nivel del lavadero. En este sistema la lámina vertiente se separa en varios segmentos largos, delgados, que caen casi verticalmente en el estaque que queda abajo, donde la disipación de la energía se hace por la turbulencia. Para que sea efectiva, la longitud de la rejilla debe ser tal, que toda la corriente caiga a través de las ranuras antes de llegar al extremo de aguas abajo. La longitud es, por tanto, una función de la descarga total, de la velocidad de llegada y del área de las ranuras de la rejilla. Para mejor funcionamiento hidráulico se emplea un umbral semejante al del estanque del tipo I.

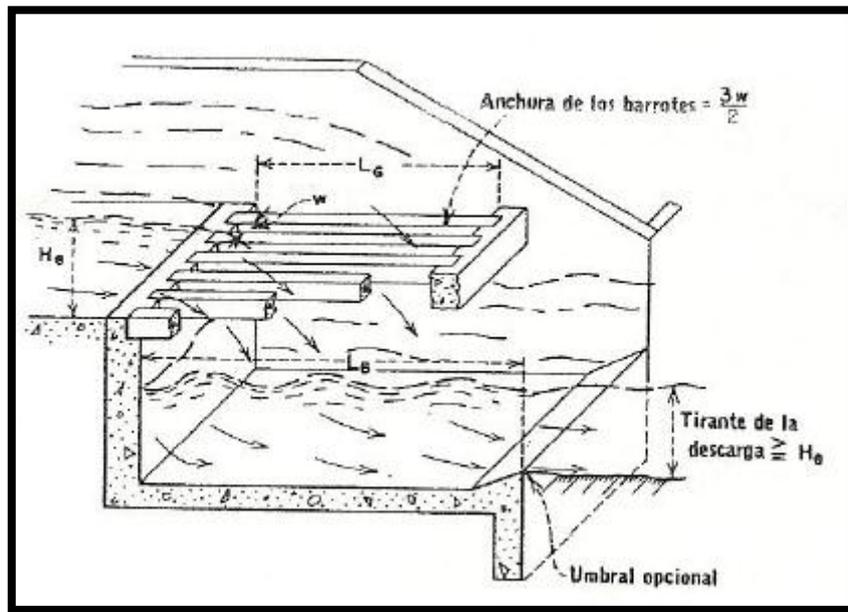


Figura n.º 2-20. Disipador de rejillas de barrotes longitudinales

Fuente: Diseño de presas pequeñas

2.3.4 Variables en la disipación de energía

2.3.4.1 Caudal

Una de las principales variables que se presenta en nuestro proyecto es el caudal del agua que transita por el vertedero. La importancia de entender su concepto y medirla radica en el buen funcionamiento del sistema hidráulico y en la propia seguridad de las estructuras en uso. Según señala (Zemansky, 2009) todo fluido en movimiento comprende al transporte del mismo por cada unidad de tiempo, por tanto enfocándonos en el volumen comprenderemos al caudal como:

-El volumen V de agua que transita en un determinado tiempo t .

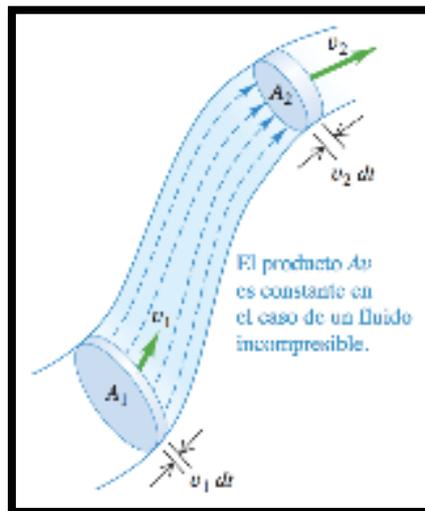
$$V/t, (m^3 / s)$$

Pero al concentrarnos en una sección de área del ducto por donde transita el fluido podemos también comprender al caudal, tomando de referencia la velocidad, como:

-La velocidad v de una cantidad de agua que transita por la sección A del ducto.

$$v * A, (m/s. m^2)$$

La ecuación de continuidad. La masa de un fluido en movimiento no cambia al fluir. Esto conduce a una relación cuantitativa importante llamada ecuación de continuidad. Considere una porción de un tubo de flujo entre dos secciones transversales estacionarias con áreas A_1 y A_2 .



Los valores de la rapidez del fluido en estas secciones son v_1 y v_2 , respectivamente. No fluye fluido a través de los costados del tubo porque la velocidad del fluido es tangente a la pared en todos sus puntos. Durante un breve intervalo de tiempo dt , el fluido en A_1 se mueve una distancia $v_1 dt$, así que un cilindro de fluido de altura $v_1 dt$ y volumen $dV_1 = A_1 v_1 dt$ fluye hacia el tubo a través de A_1 . Durante ese mismo lapso, un cilindro de volumen $dV_2 = A_2 v_2 dt$ sale del tubo a través de A_2 . Consideremos primero el caso de un fluido incompresible cuya densidad ρ tiene el mismo valor en todos los puntos. La masa dm_1 que fluye al tubo por A_1 en el tiempo dt es $dm_1 = \rho A_1 v_1 dt$. De manera similar, la masa dm_2 que sale por A_2 en el mismo tiempo es $dm_2 = \rho A_2 v_2 dt$. En flujo estable, la masa total en el tubo es constante, así que $dm_1 = dm_2$ y $\rho A_1 v_1 dt = \rho A_2 v_2 dt$ o bien,

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{Ecuación de continuidad})$$

El producto Av es la tasa de flujo de volumen dV / dt , la rapidez con que el volumen cruza una sección del tubo:

$$\frac{dV}{dt} = Av \quad (\text{Tasa de flujo de volumen})$$

Zemansky (2009), la tasa de flujo de masa es el flujo de masa por unidad de tiempo a través de una sección transversal, y es igual a la densidad ρ multiplicada por la tasa de flujo de volumen dV/dt

2.3.4.2 Presión

Otra variable de gran importancia es la presión del fluido, pues esta se genera tras el contacto del fluido con el ducto y el disipador, y aunque en nuestra situación se presenta una constante velocidad del fluido, es necesario enfocarnos primero en un caso estático para entender el principio de la presión y entender que resulta del accionar de una fuerza F en una sección de área de contacto A :

$$P = F / A, \quad (\text{N} / \text{m}^2)$$

La presión se mide en Pascal Pa, como resultado de las unidades de medida.

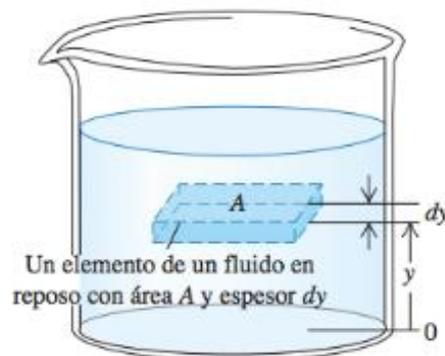
Y enfocándonos en una presión a cierta profundidad h en el fluido de densidad ρ expresemos la presión como:

$$P = \rho gh \quad (g: \text{gravedad})$$

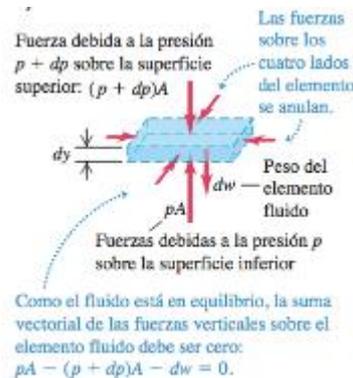
Zemansky (2009) define “comprendiéndose como presión hidrostática a la presión en cierta profundidad del fluido, cuando un fluido (ya sea líquido o gas) está en reposo, ejerce una fuerza perpendicular a cualquier superficie en contacto con él, como la pared de un recipiente” o un cuerpo sumergido en el fluido. Ésta es la fuerza que sentimos en las piernas al meterlas en una piscina. Aunque el fluido considerado como un todo está en reposo, las moléculas que lo componen están en movimiento; la fuerza ejercida por el fluido se debe a los choques de las moléculas con su entorno. Si imaginamos una superficie dentro del fluido, el fluido a cada lado de ella ejerce fuerzas iguales y opuestas sobre la superficie. (De otra forma, la superficie se aceleraría y el fluido no permanecería en reposo.) Considere una superficie pequeña de área dA centrada en un punto en el fluido; la fuerza normal que el fluido ejerce sobre cada lado es dF' (figura 14.3). Definimos la presión p en ese punto como la fuerza normal por unidad de área, es decir, la razón entre dF' y dA

$$p = \frac{dF'}{dA} \quad (\text{Definición de presión})$$

Si podemos despreciar el peso del fluido, la presión en un fluido es la misma en todo su volumen. Usamos esta aproximación al ver el esfuerzo y la deformación de volumen en la sección 11.4, pero muchas veces el peso del fluido no es despreciable. La presión atmosférica es menor a gran altitud que al nivel del mar, lo que obliga a presurizar la cabina de un avión que vuela a 35,000 pies. Al sumergirnos en agua profunda, los oídos nos indican que la presión aumenta rápidamente al aumentar la profundidad. Podemos deducir una relación general entre la presión p en cualquier punto de un fluido en reposo y la altura y del punto. Supondremos que la densidad ρ y la aceleración debida a la gravedad g tienen el mismo valor en todo el fluido (es decir, la densidad es uniforme). Si el fluido está en equilibrio, cada elemento de volumen está en equilibrio. Considere un elemento delgado, de altura dy .



Las superficies inferior y superior tienen área A , y están a distancias y y $y + dy$ por arriba de algún nivel de referencia donde $y = 0$. El volumen del elemento fluido es $dV = A dy$, su masa es $dm = \rho dV = \rho A dy$, y su peso es $dw = dm g = \rho g A dy$. ¿Qué otras fuerzas actúan sobre este elemento?



Llamemos p a la presión en la superficie inferior; la componente y de fuerza total hacia arriba que actúa sobre esa superficie es pA . La presión en la superficie superior es $p + dp$, y la componente y de fuerza total (hacia abajo) sobre esta superficie es $-(p + dp) A$. El elemento de fluido está en equilibrio, así que la componente y de fuerza total, incluyendo el peso y las fuerzas en las superficies superior e inferior, debe ser cero:

$$pA - (p + dp)A - dw = 0$$

$$p = p_0 + \rho gh$$

Siendo p_0 la presión atmosférica = 103 kPa

2.4 Desarenadores

En toda la operación de las plantas hidroeléctricas es preciso considerar que la cantidad de sedimentos en suspensión que lleva el agua puede ocasionar erosión en las paredes de los canales, como también la prolongación del tiempo de decantación dichos sólidos. Así mismo la disminución de su capacidad de rendimiento, en el caso de las maquinarias hidráulicas instaladas en las centrales hidroeléctricas, se produce las erosiones en las agujas y turbinas que ocasionan altos gastos de mantenimiento como también en otras la reducción de la producción de energía.

En ese aspecto **Pérez Giovane (S.F)** afirma que los desarenadores “son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal. Estructura que permite eliminar ciertas partículas que se encuentran en suspensión en la masa fluida”.

Anónimo(S.F.) El desarenador es un tanque sedimentador cuyas dimensiones dependen del caudal de diseño de la toma, de la distribución granulométrica de los sedimentos en suspensión que transporta la corriente natural y de la eficiencia de remoción, la cual oscila entre el 60 y el 80% del sedimento que entra al tanque.

En el fondo tiene un espacio disponible para recibir los sedimentos en suspensión que retiene; estos sedimentos son removidos periódicamente mediante lavado hidráulico o procedimientos manuales.



Figura n.º 2-21. Desarenador presa Capillucas-Cañete

Fuente: <http://www.tecnologiaminera.com>

Es una estructura que ayuda a potabilizar el agua de consumo humano, mediante la eliminación de partículas en suspensión esta misma función se considera en los aprovechamientos hidroeléctricos y en el riego, dado que evita cuantiosos daños en las estructuras.

La eliminación de los materiales acarreados en un flujo comprende dos tareas o fases que deben realizar los desarenadores las cuales son La decantación de los materiales en suspensión y la evacuación de los materiales depositados.

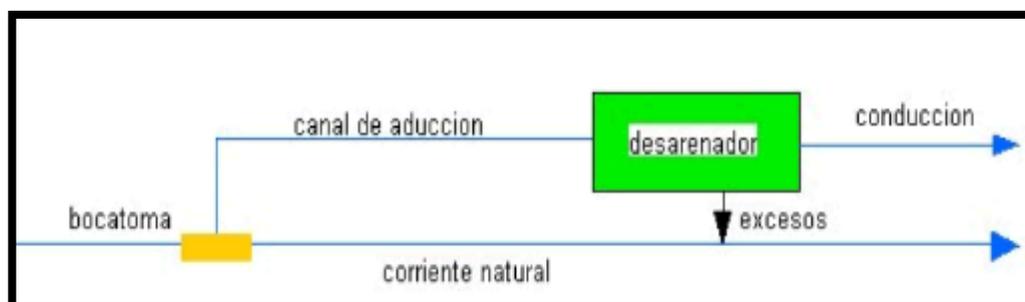


Figura n.º 2-21. Esquema general de desarenador

Fuente: Pérez, S.F.

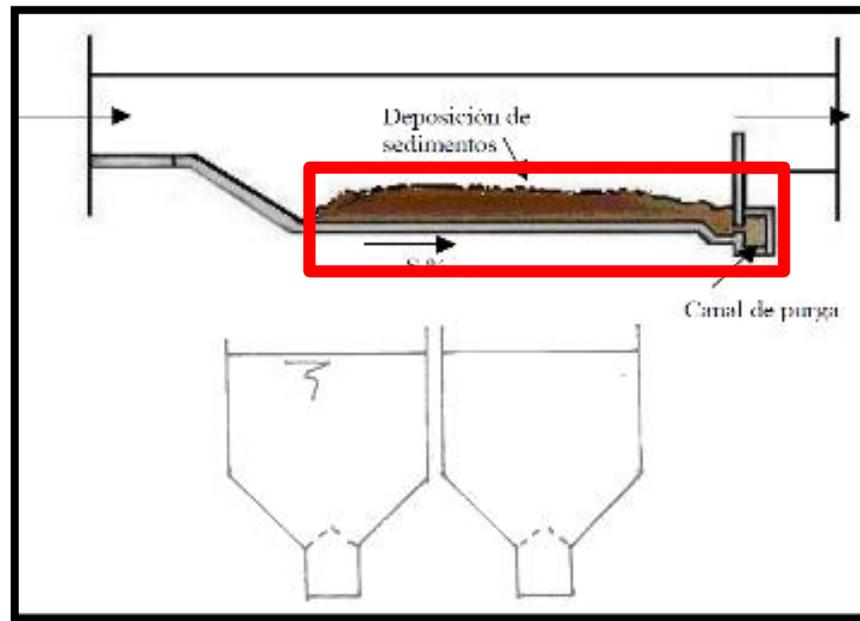


Figura n.º 2-22 .Esquema de sedimentación de sólidos en desarenadores

Fuente: Pérez, S.F

2.4.1 Principios de funcionamiento

- a) Hidráulicos
 - Distribución uniforme del caudal en las naves desarenadoras.
 - Líneas de corriente paralelas, por lo tanto sin vórtices de eje vertical u horizontal.
 - No causar remanso en el canal aguas arriba.
 - Distribución uniforme del caudal dentro de cada nave, esto es importante en el momento de purga de la nave.
- b) Sedimentológicos
 - Sedimentación de los materiales en suspensión.
 - Evacuación al exterior de los depósitos.
 - Limpieza uniforme de las naves desarenadoras.
 - No existencia de zonas imposibles de limpiar las en las naves.
 - Transición de entrada sin sedimentación.
 - Eficiencia adecuada.

2.4.2 Estudios necesarios para el diseño del desarenador

- Topografía
- Geología
- Hidrología
- Análisis de sólidos
- Análisis del uso de agua

2.4.3 Tipos de desarenadores

La forma del desarenador, puede ser cualquiera aunque generalmente se escoge una rectangular o trapezoidal simple o compuesta.

La primera simplifica considerablemente la construcción pero es relativamente cara puesto que las paredes deben soportar la presión de la tierra exterior y se diseña como muros de sostenimiento.

Pérez ,(S.F.) La segunda es hidráulicamente más eficiente y como también económica pues las paredes trabajan con simple revestimiento

Los tipos de desarenadores se pueden clasificar según los siguientes aspectos:

a) En función de su operación

- Desarenadores de lavado continuo: Es aquel en el que la sedimentación y evacuación son dos operaciones simultáneas.
- Desarenadores de lavado continuo: (intermitente) que almacena y luego expulsa los sedimentos en movimiento.

b) En función de la velocidad

- De baja velocidad: $v < 1 \text{ m/s}$ (0.20-0.6 m/s)
- De alta velocidad: $v > 1 \text{ m/s}$ (1-1.5 m/s)

c) En función a su disposición

- En serie: Formado por dos o más depósitos construidos uno a continuación del otro
- En paralelo: formado por dos o más depósitos distribuidos paralelamente y diseñados por una fracción de caudal derivado

2.4.4 Elementos de un desarenador

Los desarenadores se componen los siguientes elementos:

- Transición de entrada: La cual une el canal con el desarenador.
- Cámara de sedimentación: En la cual las partículas sólidas caen al fondo, debido a la velocidad producida por el aumento de la sección transversal.
- Vertedero: Al final de la cámara sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal. Las capas superiores son las que primero se limpian, es por esto que la salida del agua, se hace por medio de un vertedero que debe trabajar con descarga libre.
- Compuerta de lavado: Sirve para desalojar los materiales depositados en el fondo.
- Canal directo: Por el cual se da servicio mientras se está lavando el desarenador.

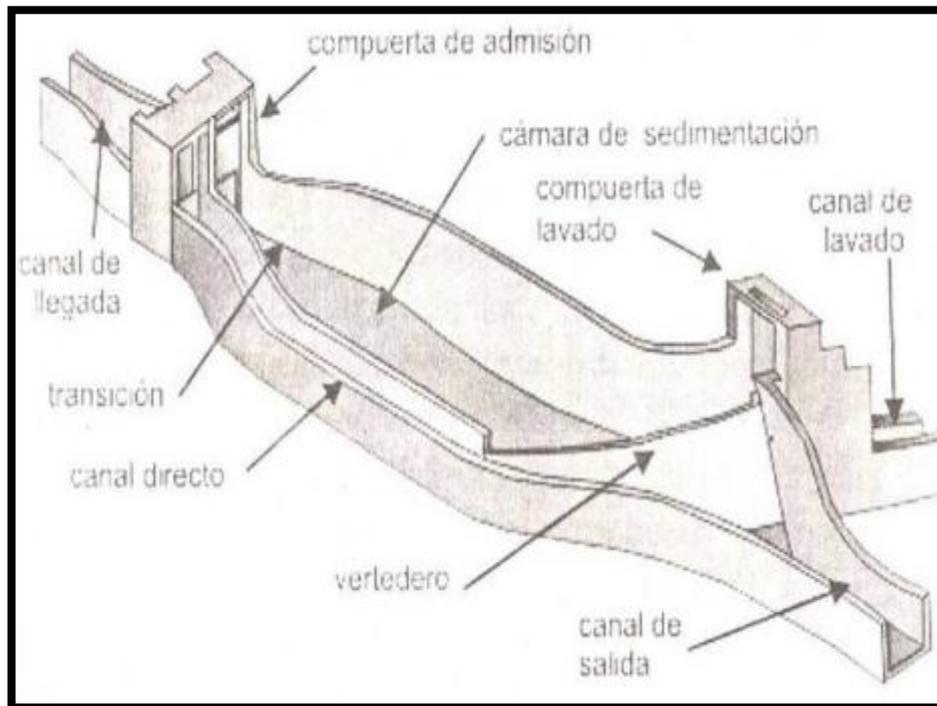


Figura n.º 2-22. Esquema de un desarenador de lavado intermitente

Fuente: Esparrow, 2008

2.5 Proceso de fabricación y montaje de estructuras metálica industrial

Según señala (Romualdo, 2014), que la industria de la metalmecánica, actualmente se han convertido en una alternativa de construcción muy preferidos para los mercados industriales, comerciales y agrícolas. Incluso en la construcción de viviendas, que actualmente es un mercado en crecimiento para la construcción de estructuras metálicas. En particular, la construcción de estructuras metálicas prefabricadas, estas son las mejores y más rentables soluciones en todo tipo de construcciones ya sea de industriales o civiles. Este tipo de estructuras permite un proceso de construcción que resulta muy simple, fácil y versátil.

El acero es un metal de calidad superior, esto debido, al uso de componentes regularizados que permiten un alto grado de control. Asimismo, este material es único tanto en las propiedades químicas como físicas. Por esta razón, el acero es muy flexible, manteniendo al mismo tiempo una cierta rigidez que es necesaria en toda construcción de edificios y montajes electromecánicos, lo que lo lleva a ser un producto valioso.

La construcción y montaje de estructuras metálicas es simple, por lo que es fácil de poner en funcionamiento. Además, las estructuras metálicas son más ligeras que el hormigón, siempre son más fáciles de instalar, el montaje de este tipo de estructuras se pueden realizar incluso en grandes bloques. Estas estructuras ofrecen una larga vida útil y funcionamiento seguro,

ya que son incombustibles, es decir son materiales resistentes al fuego, lo que proporciona una importante ventaja ante otras soluciones de construcción y montaje.

Para realizar las construcciones se debe seguir las siguientes normas:

- ANSI = American National Standards Institute; miembro de la Organización Internacional para la Estandarización.
- ASME = American Society of Mechanical Engineers: Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, dicta las normas y especificaciones referentes a esta rama de la ingeniería, así como la industrial.
- AWS = American Welding Society: Asociación Americana de Soldadura
- API = American Petroleum Institute, Instituto Americano del Petróleo; dicta normas, relacionadas con la industria del petróleo

2.5.1 Proceso de fabricación

La definición de proceso según **(Roig, S.F.)**, es un conjunto de actividades planificadas que implican la participación de un número de personas y de recursos materiales coordinados para conseguir un objetivo previamente identificado. Se estudia la forma en que el Servicio diseña, gestiona y mejora sus procesos (acciones) para apoyar su política y estrategia y para satisfacer plenamente a sus clientes y otros grupos de interés.

Francor (2016), indica que para iniciar el proceso de fabricaciones de las estructuras se define diseño de por un calculista estructural quien verifica que las estructuras metálicas a diseñar cumplan con la normatividad vigente y que el o los elementos de las estructuras metálicas soporten de manera sobrada los esfuerzos y cargas a los que van a estar sometidos.

Normalmente las estructuras metálicas son fabricadas en taller y posteriormente, una vez que han sido pintadas se transportan al sitio donde se van a instalar. El proceso de fabricación de las estructuras metálicas implica actividades de trazo, corte, soldadura, rolado, barrenado, arenado según la norma SSPC, pulido, y pintado.

Las estructuras metálicas se fabrican con equipo especializado y de alta precisión a fin de evitar contratiempos durante el armado, en ocasiones se dejan preparadas placas de conexión a fin de solamente atornillar la estructura durante su instalación.

Las estructuras metálicas permiten disminuir los tiempos de construcción, son fáciles de instalar aún en espacios reducidos, pueden dejarse preparadas para recibir ampliaciones y permiten construir áreas con grandes claros libres.

2.5.2 Proceso de montaje

Según señala **(Francor, 2016)**, el montaje de la estructura metálica requiere del empleo de equipo especializado para el manejo de cargas pesadas (grúas con la capacidad suficiente y eslingas y cables acordes al peso a levantar y en buen estado), el personal debe utilizar plataformas articuladas a fin de efectuar los trabajos con total seguridad.

2.6 Software para simulación de ingeniería

En la definición según **(Taylor S.F.)**, la simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo.

Así mismo **(Pegden, 1995)**, define la simulación como el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

Como en las exposiciones pasadas se mencionaron varias definiciones de simulación podemos concluir que la simulación viene siendo el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema".

Donde la simulación es la representación de un proceso o fenómeno mediante otro más simple, que permite analizar sus características; Pero la simulación no es solo eso también es algo muy cotidiano, hoy en día, puede ser desde la simulación de un examen, que le hace la maestra a su alumno para un examen del ministerio, la producción de textiles, alimentos, juguetes, construcción de infraestructuras por medio de maquetas, hasta el entrenamiento virtual de los pilotos de combate.

2.6.1 Solid Word

Según señala **(Dassault Systèmes SolidWorks Corp., 1993)** el software SolidWorks Corp. brinda herramientas de software 3D completas para crear, simular, publicar y administrar los datos. Los productos de SolidWorks son fáciles de aprender y utilizar; obtendrá mejores diseños, más rentables y de forma más rápida. La facilidad de uso de los productos de SolidWorks permite a más ingenieros, diseñadores y profesionales de la tecnología centrarse más que nunca en las ventajas del 3D al darles vida a los diseños. Adquirida en 1997 por Dassault Systèmes S.A.*, con sede en Vélizy, (Francia), empresa de programación

líder mundial en soluciones de administración de ciclo de vida de productos.

Es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D que permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

2.6.2 Ansys 15

Según indica (**Fluid Dynamics, 2011**), el ANSYS 15 es un software de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) le permite predecir con confianza, el impacto de los flujos de fluidos en su producto a través del diseño y de fabricación, así como durante su uso final. Capacidad de análisis de flujo de fluidos sin precedentes del software se pueden utilizar para diseñar y optimizar nuevos equipos y solucionar problemas de instalaciones ya existentes. Cualquiera sea el fenómeno que se está estudiando, de una o de varias fases, isotérmico o reaccionar, compresible o no. (...) Debido a la robustez y solucionador de velocidad, el desarrollo del conocimiento y la experiencia del equipo, y las capacidades avanzadas de modelado, ANSYS soluciones de dinámica de fluidos proporcionan resultados que puede confiar. La tecnología es altamente escalable, proporcionando cálculos paralelos eficientes desde unos pocos hasta miles de núcleos de procesamiento. La combinación de Fluido o CFX con la herramienta con todas las funciones de post-procesamiento de ANSYS CFD-Post le permite realizar un análisis cuantitativo avanzado o crear visualizaciones de alta calidad y animaciones. Este entorno ofrece una alta productividad y flujos de trabajo fáciles de usar. Workbench integra todas sus necesidades de flujo de trabajo (pre-procesamiento, simulación y post-procesamiento), así como la funcionalidad de multifísica (interacción fluido-estructura, el acoplamiento de fluido electrónico).

Workbench permite automatizada y fácil de configuración de optimización o estudios de exploración de diseño.

2.7 Definición de términos básicos

1. **AVENIDAS:** Se denomina como crecida de un río, lago, creciente, riada o aguas altas; es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de este.
2. **CAUSES:** Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río, arroyo, canal o acequia.
3. **COMBUSTIBLES FÓSILES:** Son aquellos combustibles originados por la descomposición parcial de materia orgánica de hace millones de años transformada por la presión y temperatura debidas a las capas de sedimentos acumulados sobre él.
4. **CAD:** Diseño asistido por computadora.
5. **CFD:** Dinámica de fluidos computacional.
6. **DISIPAR:** Esparcir o hacer desaparecer de la vista poco a poco las partes que forman un cuerpo por aglomeración.
7. **DINÁMICA DE FLUIDOS:** Rama de la mecánica que estudia los fluidos en movimiento y es una de las ramas más complejas.
8. **DECANTACIÓN DE SÓLIDOS:** Si el sólido es bastante denso y grueso, tal vez se depositará en el fondo del recipiente. Así pues, inclinado el recipiente, se puede separar el líquido o sobrenadante, derramándose en otro recipiente sin que se caiga el sólido o sedimento.
9. **DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA:** Tabulación de los porcentajes de diversos tamaños de las partículas en una muestra de terreno o en el árido de un mortero, determinado por el análisis de un tamiz.
10. **ENERGÍA:** La energía es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, la energía es la capacidad de hacer funcionar las cosas.
11. **ENERGIA RENOIVABLE:** Energía que utiliza los recursos inagotables de la naturaleza, como la biomasa, las radiaciones solares o el viento.
12. **ENERGÍA CINÉTICA:** Corresponde a la energía asociada a los cuerpos que se encuentran en movimiento, depende de la masa y de la velocidad del cuerpo. Ej.: El viento al mover las aspas de un molino.
13. **EROSIÓN:** Es el desgaste que se produce en la superficie de un cuerpo de un cuerpo a causa del roce o frotamiento con otro cuerpo.
14. **FLUJO LAMINAR:** Movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse.
15. **FLUJO TURBULENTO:** Cuando el movimiento de agua se hace más irregular, caótico e impredecible, las partículas se mueven desordenadamente y las

trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos.

16. **FLUIDO:** Conjunto de partículas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas cohesivas débiles y las paredes de un recipiente.
17. **FLUCTUACIONES:** Movimiento de un cuerpo en el agua al compás de las olas.
18. **IMPACTO AMBIENTAL:** Efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente. El concepto puede extenderse a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base ambiental.
19. **LAGOS ARTIFICIALES:** Se refiere a los lagos hechos por el hombre. Los embalses, represas para riego o producción de electricidad, constituyen lagos artificiales.
20. **MATRIZ ENERGÉTICA:** Corresponde a una radiografía de cómo está balanceado el consumo de energía entre distintas fuentes en un periodo de tiempo.
21. **SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS:** Es el proceso en el cual los sedimentos se depositan en determinadas zonas de la superficie.
22. **SUMERSIÓN:** Es la acción de sumergirse o permanecer bajo el agua. Es la desaparición de un terreno bajo un manto de sedimentos.
23. **PRECIPITACIÓN PLUVIAL:** Fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua condensado en las nubes cae a tierra en lluvia; se la mide en un pluviómetro y sus unidades son mm/año. Es un factor limitativo de gran interés en ecología.
24. **RESALTO HIDRÁULICO:** Fenómeno local, que se presenta en el flujo rápidamente variado, el cual va siempre acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable (disipada principalmente como calor), en un tramo relativamente corto.
25. **TURBINAS:** Máquina motriz de flujo constante, que da origen a un trabajo mecánico por medio de un sistema de paletas curvas a las cuales se les denomina alabes, y estas utilizan la energía térmica, cinética o de presión de fluidos.
26. **TANQUE SEDIMENTADOR:** Depósitos para remover materia orgánica soluble.

3 DESARROLLO

3.1 Descripción de empresa proveedora de servicios electromecánicos: **Dimperu.**

Dimperu es una empresa peruana privada ubicada en Jr. Pacasmayo 215 cercado de lima creada en 1986 especializada en la ejecución de proyectos metalmecánicos y mantenimiento integral de plantas de generación, minería, hidrocarburos, en las diversas localidades del país. Brinda servicios de ingeniería de diseño estructuras y fabricaciones metalmecánicas de todo tipo, así como calderería, abarcando una amplia gama de servicios relativos a la ingeniería, construcción y montaje. Nuestras operaciones están basados en una cultura de mejoramiento continuo y respeto por la eco-sostenibilidad, con una propuesta de valor en la prestación de servicios garantizada por el profesionalismo y especialización de experimentados colaboradores.

Dimperu desarrolla la solución técnica-constructiva específica para los requerimientos de los proyectos de sus clientes, utilizando un equipo profesional experimentado y creativo dotado de las mejores herramientas de diseño, gestión, empleando software como SAP, AutoCAD, Solid Works, entre otros.

Nuestra planta ubicada en la selva central para fabricaciones consta de equipos de soldadura (SAW, SMAW, GMAW/FCAW/TIG); CNC para corte, perforado y maquinado; cabinas de granallado, equipos de pintura airless; grúas para maniobra entre otros. Actualmente tenemos una capacidad de fabricación promedio de 200 Ton/mes y un área operativa de 4,000 m².

Los trabajos de montajes se ejecutan con procedimientos técnicamente avanzados bajo rigurosos controles de gestión, calidad, seguridad y respeto al medio ambiente, lo que nos permite ofrecerles la mejor garantía para el cumplimiento de todos los proyectos. Hemos efectuado montajes electromecánicos de diversa complejidad para obras de mantenimiento de plantas de generación, mineras, industriales, hidrocarburos entre otras, logrando la satisfacción de nuestros clientes.



Figura n.º 3-1. Mapa de ubicación Dimperu – sede Lima

Fuente: Google Maps.

3.2 Descripción de la empresa cliente: Central hidroeléctrica el platanal S.A – Celepsa.

Celepsa es una empresa peruana privada de generación eléctrica que usa una de las fuentes renovables que existe en nuestro medio. Se inauguró en el año 2010 mediante la Central Hidroeléctrica el Platanal (Celepsa) en la cuenca del río Cañete dentro de la provincia de Yauyos.

Desde el inicio de sus operaciones, Celepsa aspira a alcanzar los más altos niveles de presencia y competitividad en el mercado eléctrico peruano, creciendo en base a la eficiencia técnica, economía de costo, prudencia comercial, responsabilidad social y compromiso con el medio ambiente.

La Central Hidroeléctrica El Platanal es una de las centrales más modernas del Perú y produce 220 MW con tecnología de punta. Cada una de sus dos turbinas Pelton de 6 inyectores, aprovecha un salto bruto de 625 metros para convertir un caudal de 20m³/s en 110 MW.

Para ello, un embalse estacional en la laguna Paucarcocha regula 70 millones de metros cúbicos de agua provenientes del río Cañete, y un túnel de aducción de 5m de diámetro y 12,5 km de largo conduce el agua desde las obras de captación hasta la casa de máquinas.

La hidroeléctrica cuenta, además, con un embalse de captación en la localidad de Capillucas, complementada con un desarenador de 5 naves, un canal de conducción y una cámara de carga que comunica las obras de captación con el túnel de aducción, y un embalse de restitución en San Juanito, que devuelve el agua al río de manera controlada para no afectar su ecosistema con las fluctuaciones de la descarga.

La electricidad generada es conducida al patio de llaves de San Juanito, desde donde se inicia la línea de transmisión que se conecta al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

La producción anual de energía de la central puede variar entre 900 y 1,400 GWh dependiendo de las características de cada año. Dicho ello en el año 2014, la producción alcanzó 1,167 GWh, lo que nos ubica en el noveno lugar del ranking de producción del SEIN, con una producción equivalente al 2.79% del total nacional generado con todas las tecnologías existentes.

Mediante una estrategia comercial dinámica, basada en un análisis de las necesidades específicas de los clientes, Celepsa logró vender el 31% de su producción del año 2014 a clientes regulados, el 69% mediante contratos libres con empresas industriales y mineras.

Locación de la tesis: El proyecto de la tesis será realizada en la entrada del Desarenador u presa Capillucas ubicados en el Km 95 de la Carretera Cañete – Yauyos, Distrito de Allauca, Provincia de Yauyos y Departamento de Lima, a 1500 m.s.n.m. aproximadamente a 3 horas de la ciudad de Lima.



Figura n.º 3-2. Infraestructura central hidroeléctrica El Platanal - Celepsa

Fuente: Reporte 2014 Celepsa



Figura n.º 3-3. Mapa de ubicación central hidroeléctrica el platanal - Celepsa

Fuente: Google Maps.

3.3 Organigramas de la empresa proveedora y empresa cliente

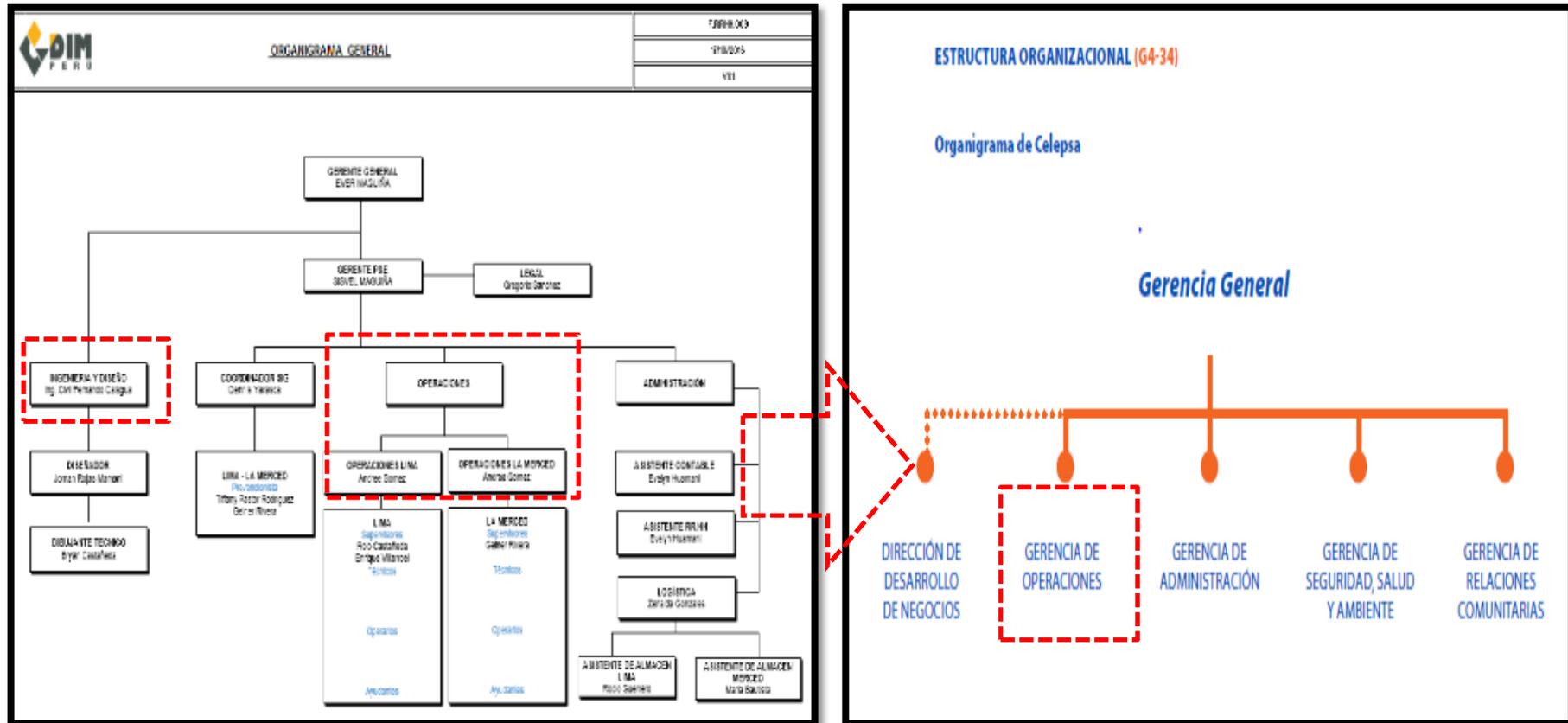


Figura n.º 3-4. Áreas en los organigramas de las empresas donde se realizó el trabajo.

Fuente: Dimperu S.R.L / Celepsa S.A.

3.4 Descripción de los problemas

El diagnóstico de las causas que originaron el problema, que fue localizado en la entrada del desarenador de la presa Capillucas se usó la herramienta, diagrama de Ishikawa para determinar el efecto como se muestra a continuación.

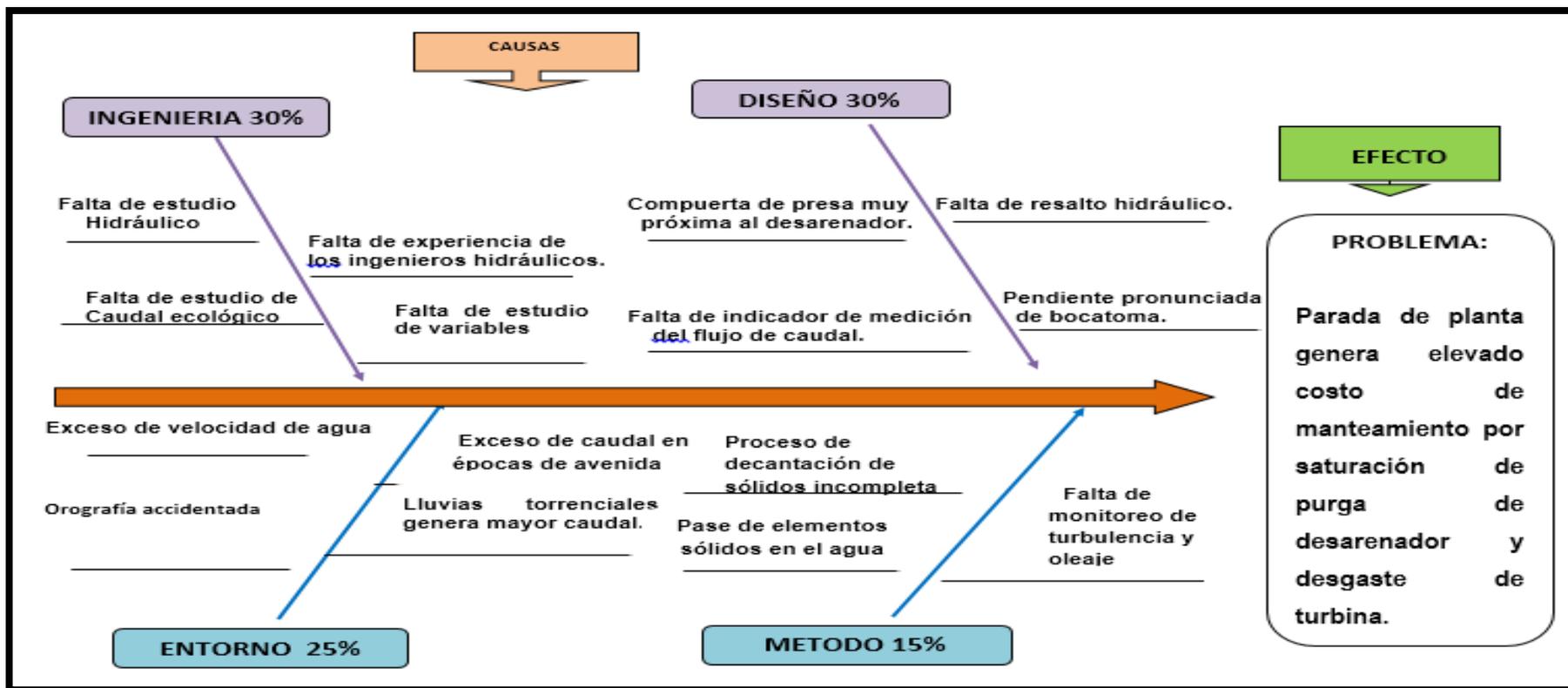


Tabla n.º 3-1. Diagrama de Ishikawa - Parada de planta genera elevado costo de mantenimiento por saturación de purga de desarenador

Fuente: Elaboración Propia

Tabla n.º 3-2. Tabla operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTO/ ITEMS
DISIPADOR DE ENERGIA HIDRAULICA	Este método es usado para la disipación de energía cinética que se presenta aguas abajo en una estructura hidráulica como presas, vertederos, embalses, diques y otros. Esta energía se obtiene por el agua que alcanza una velocidad alta, de la misma forma que un descenso o una rápida. Este método de disipador está incluido en el diseño de esta estructura (Colombia, 1999).	Es una estructura sólida que sirve para disminuir los impactos generados por la velocidad del río. Es muy importante considerar su construcción en sistemas hidráulicos.	Característica	Nivel de agua en la entrada del desarenador	Sensores de caudal y volumen
				Disipación de energía en la salida del desarenador	Hoja de verificación
			Aplicación	Funcionamiento eficaz	Formato de control
FLUJO DEL CAUDAL	Se define como la cantidad de masa del fluido el cual circula a través un área en un segundo. También se describe como la densidad de un cuerpo, es la relación que existe entre la masa y el volumen (Argüelles Huesca Karla, 2011) Se define como el volumen del líquido que atraviesa por una sección normal de un cauce en una unidad de tiempo. Se representa por la letra Q. Este fluctúa según las condiciones meteorológicas, es mayor en tiempo de lluvias (Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2007)	Movimiento de un fluido.	Flujo Másico	Porcentaje de incremento o disminución	Registros diarios
				Porcentaje de incremento o disminución	Registros diarios
TURBULENCIA Y OLEAJE	Es un fenómeno que pertenece a la Hidrodinámica. Cuando en un río su agua fluye por su cauce existen diferentes formas de flujo. Si la velocidad del agua es menor este flujo es moderado, y continua de esta misma forma así rodee una piedra del río. Pero si su velocidad del agua es superior, este flujo aumenta y al atravesar por piedras se forman remolinos unos dentro de otro. En este caso el flujo del agua es turbulento (Braun, 2000). El viento es el causante de la generación del oleaje que se desplaza sobre la superficie del agua. Las olas son movimientos ondulatorios, se caracterizan por su: longitud de onda, periodo, pendiente, altura y velocidad de propagación (PUCC, 1999).	Movimiento desordenado de un fluido en el cual las moléculas, en vez de seguir trayectorias paralelas, describen trayectorias sinuosas y forman torbellino	Turbulencia	Porcentaje de incremento o disminución	Sensores de turbulencia
				Porcentaje de incremento o disminución	Registros diarios

Fuente: elaboración propia

3.4.1 Identificación de problema 01

Exceso de caudal y oleaje genera turbulencia

Durante la transición de la época de avenida el nivel se incrementa hasta descargar por el vertedero (aproximadamente hasta la cota 1540.3 msnm) y como consecuencia la velocidad del ingreso del agua por la compuerta de la bocatoma se incrementa (caudal = Q) aproximadamente 15 m/s, esta variación genera mayor turbulencia y oleaje (0.40mt) originando como consecuencia, que los residuos sólidos en suspensión en el agua no completen la decantación (sedimentación) apropiada en el desarenador, y pasen en mayor porcentaje hacia la zona deposición de los sedimentos como también en el canal de purga. La saturación de los sedimentos en esta sección restringen las operaciones originado la parada de planta para el mantenimiento con una frecuencia de tres veces al año. Las causas posibles de este problema según el diagrama de Ishikawa nos da como efecto este problema el cual será la variable a trabajar.



Figura n.º 3-5. Vista de del comportamiento del caudal actual (turbulencia y oleaje)

Fuente: Elaboración propia

Tabla n.º 3-3. Costo por mantenimiento de los desarenadores en Presa Capillucas expresado en dólares americanos

PERDIDA POR MANTENIMIENTO			
Potencia generada (MWh)	Costo de MWh (\$)	Tiempo de mantenimiento de desarenador (h)	Monto por mantenimiento (\$)
150	20.0	48	144,000.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla n.º 3-4. Datos del nivel del agua y operación de compuertas para el abastecimiento de agua por el desarenador – Presa Capillucas.

DATOS DE OPERACIÓN DE COMPUERTAS ABASTECIMIENTO DE AGUA POR EL DESARENADOR							
Casos extremos	Nivel de embalse (msnm)	Caudal de ingreso por Bocatoma (m3/s)	Apertura de compuertas Bocatoma(m)		Potencia de generación (MW)	Canal de enlace	% Saturación (mat. Flot)
			Nº 1	Nº 2		Nivel(msnm)	
Máximo nivel H	1535.01	33.3	0	1.53	170	1529.62	12%
Máximo caudal Q	1534.55	42.91	0	2.29	223	1529.57	15%
Máxima apertura Comp. A	1531.66	42.66	0	3.62	221	1529.56	14.5%

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Identificación de problema 02

Erosión y desgaste de máquinas y estructuras

Así como el efecto que causa el oleaje y turbulencia, ésta trae consigo otro problema mayor, el cual se refleja en el desgaste de los álabes de la turbina en la casa de máquinas.

Durante la operación de generación de la planta, las turbinas alojan gran cantidad de agua (40 m3/s) que desciende por la tubería forzada con una fuerza gravitatoria. El pase de sólidos en el agua por la tubería forzada llega directamente hacia los álabes de la turbina, generando desgaste por la erosión. Según las recomendaciones del fabricante de las turbinas en temas de manteniendo preventivo, recomienda inspeccionar los alabes según las horas de operación efectivo, (ver tabla n.º 3-4) para revisar el estado de los componentes de la turbina en la casa de máquinas. Según los reportes de los especialistas de planta en el mantenimiento de turbinas se ha detectado desgastes puntuales de los alabes de la turbina. Este problema ocasionado por la erosión de los sólidos al pasar por el desarenador se ve reflejado en altos costo de mantenimiento y reparación de los elementos dañados.

Tabla n.º 3-4. Recomendaciones de mantenimiento de las turbinas según el fabricante.

RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DE ALABES SEGÚN FABRICANTE(Horas de operación equivalente)			
4000 HOE	8000 HOE	16000 HOE	25000 HOE
Parada	Parada	Parada	Parada

Fuente: Elaboración propia



Figura n.º 3-6. Desgaste de álabes de turbina ocasionado por erosión.

Fuente: <http://www.unacem.com.pe>

3.5 Actividades realizadas para solución de problemas

Una de las actividades principales planteadas para realizar la solución de los problemas se inicia con la recopilación de información en campo para obtener los datos certeros, como también el estudio del régimen hidráulico de la bocatoma y el desarenador de la central hidroeléctrica el platanal. Cabe mencionar que se consideró la mejor salida el cual se refleja en el uso de herramientas de ingeniería con tecnología de punta. Con los datos obtenidos se presentara el diseño y simulación con software Ansys 15 y Solid Works, considerando los parámetros especificados en el estudio.

Para realizar las simulaciones y diseño, es necesario establecer según las normas los siguientes cálculos de esfuerzo de materiales a usar en la estructura presentada para solucionar los problemas ante vistos:

- Simulación de flujo (Ver anexo 0-1)
- Memoria de cálculos de disipador (ver anexo 0-2)
- Certificados de calidad de materiales (ver anexo 0 3)
- Memoria de cálculo de soldadura (ver anexo 0-4)

3.5.1 Macroproceso de implementación de disipador de energía Presa Capillucas-Dimperu

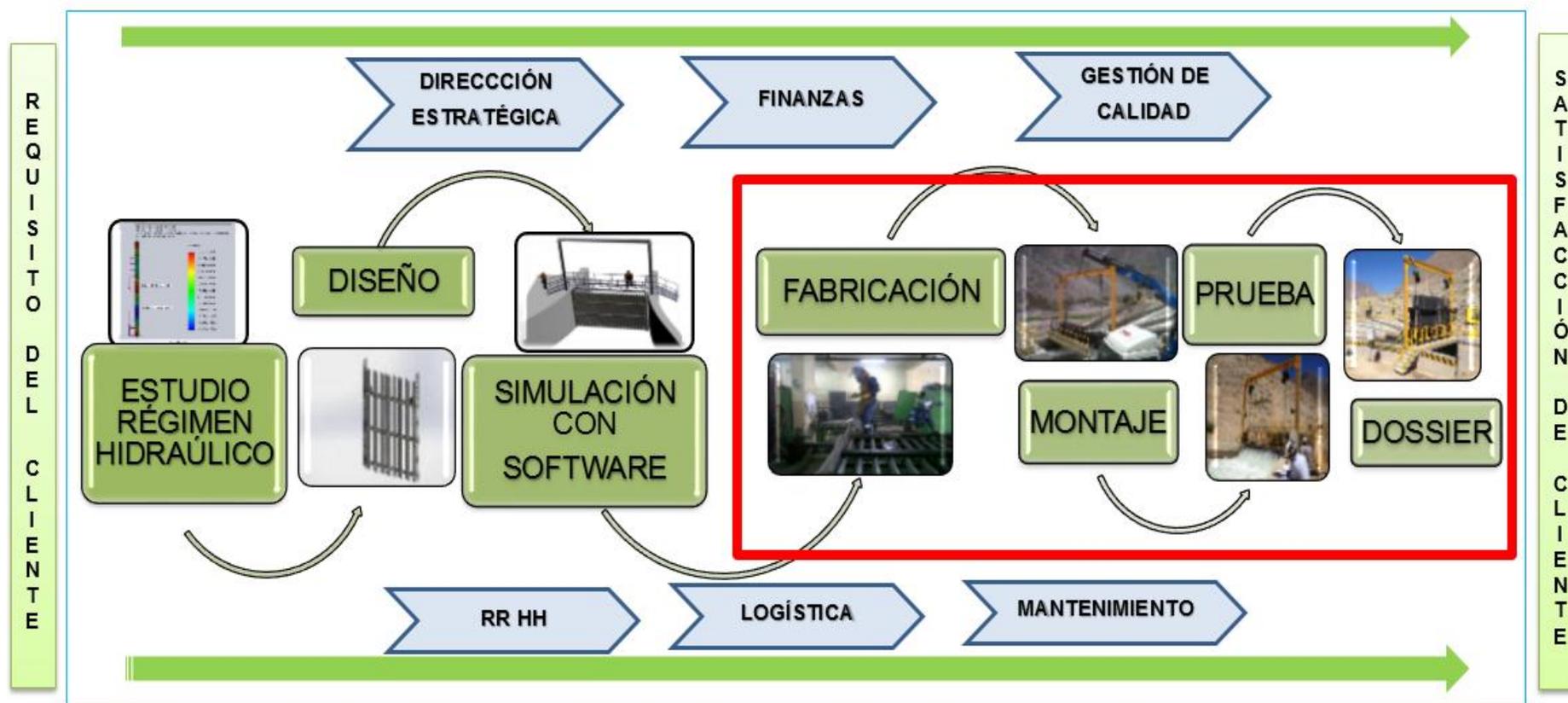


Figura n.º 3-7. Macroproceso de operaciones de implementación de disipador de energía hidráulica Presa Capillucas.

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Estudio del régimen hidráulico de la bocatoma y el desarenador de la central hidroeléctrica el platanal.

El presente estudio hidráulico se realizó analizando toda la información de la situación actual de la Presa Capillucas. Es crucial mencionar que en el estudio técnico para la ejecución de la construcción de la presa no se consideró factores y variables (oleaje y turbulencia) al 100% que afectaría con el tiempo las operaciones de la planta. El resalto de energía hidráulica para minimizar la, turbulencia y oleaje ocasionado por el exceso de caudal y velocidad, en épocas de avenida era necesario incorporar en el vertedero hacia que lleva hacia el desarenador. Dado este caso se decidió hacer el estudio para implementar un disipador con características diferentes a los existentes en el medio, las cuales son netamente evaluados y ejecutado con una infraestructura civil. Es por ello que se propuso realizar modelo con estructuras metálicas siguiendo las normas, especificaciones técnicas de los aceros, estándares y pruebas inherentes a este rubro.

Comparación de resultados de estudio con disipador y sin disipador.

Para realizar una comparación más detallada entre los resultados que se obtienen bajo las condiciones actuales y con la inclusión del Disipador de energía evaluado, se procedió a analizar el comportamiento del agua como ya sabemos en época de avenida, realizando 5 cortes transversales en el desarenador en las ubicaciones que se muestran en la figura.

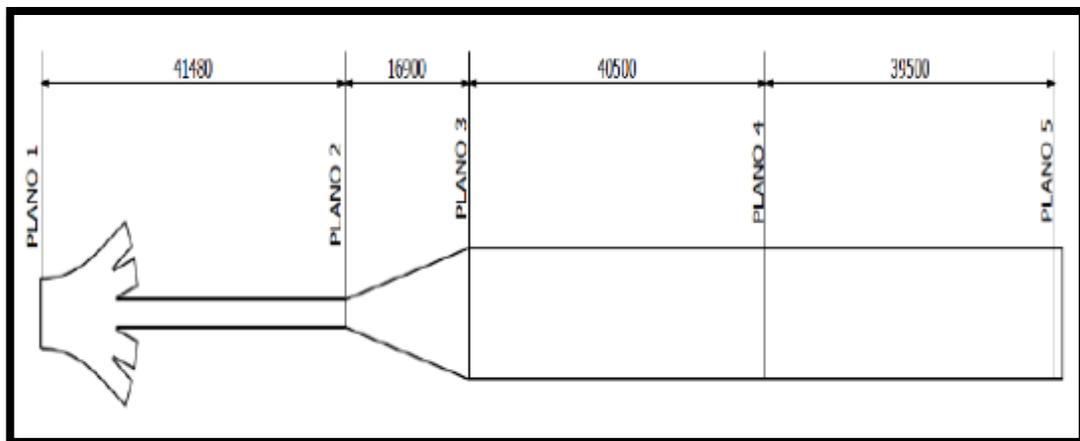


Figura n.º 3-8. Resultado del estudio del régimen hidráulico Presa Capillucas.

Fuente: Estudio del régimen hidráulico Celepsa

Según los resultados de simulación con software Ansys 15, del estudio del régimen hidráulico proporcionado por el cliente podemos interpretar que en los 5 planos muestran una disminución considerable de la velocidad al pasar el agua por el disipador (situación actual, con 01 Disipador). Los resultados son similares para los casos 2, 3, 4 y 5. La distribución de las imágenes permite comparar rápidamente las cuatro situaciones en cada plano, cuyas tendencias son similares para los cuatro casos, por lo que se analizarán los resultados por plano.

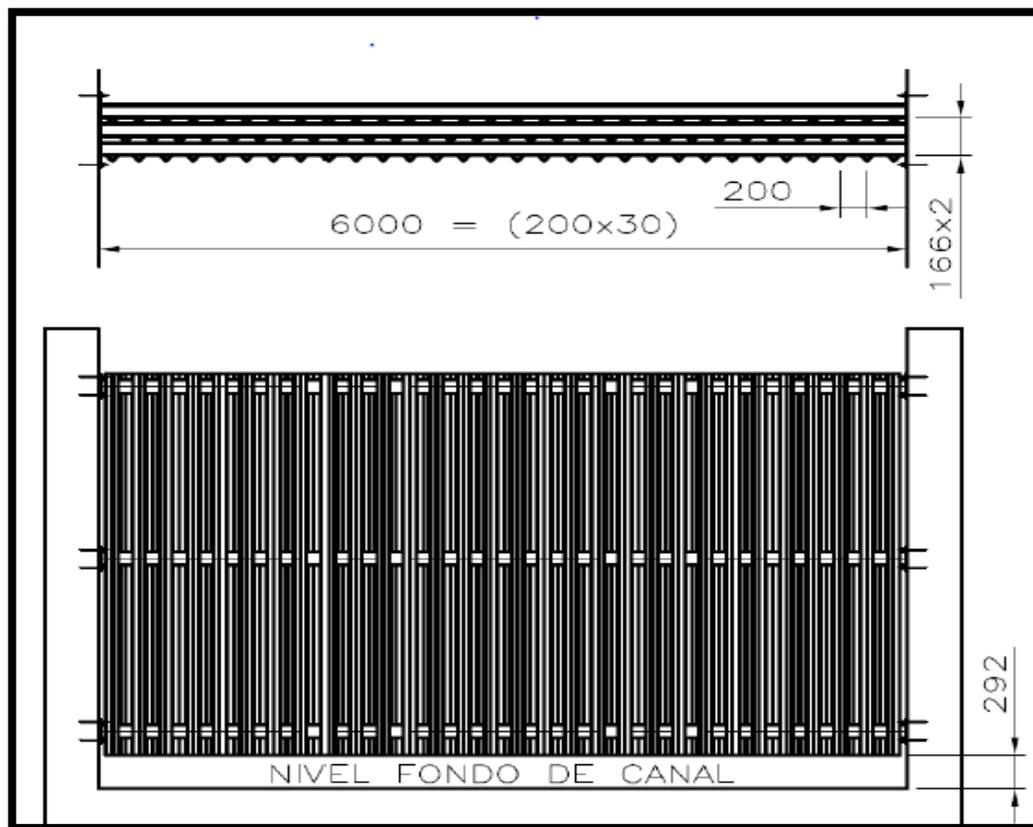


Figura n.º 3-9. Modelo de Disipador presentado en el estudio hidráulico

Fuente: Estudio del régimen hidráulico Presa Capillucas

En el plano 1, que se ubica antes del Disipador, hay una clara disminución de la velocidad que oscila entre el 25% y 30%, así como una elevación del nivel del agua al incluir el disipador.

En el plano 2 la velocidad máxima permanece sin mucha variación, pero está claro que en las capas medias y superiores la velocidad disminuye notablemente (entre un 40 y 60%) y son las capas cercanas al fondo las que presentan la máxima velocidad cuando se incluye el Disipador. La velocidad promedio baja considerablemente.

En el plano 3 la velocidad máxima permanece igualmente sin mucha variación, pero estos valores máximos se registran en una delgada capa superior, debido a la influencia que en este punto ya tiene la descarga del desarenador. Sin embargo es notorio que la zona de altas velocidades que se observa en la variante sin Disipador, ubicada en la mitad superior, se desplaza hacia la parte inferior cuando se incluye el disipador. La velocidad promedio baja considerablemente.

En los planos 4 y 5 se puede apreciar que no hay una gran variación de la velocidad entre los tres casos, ni en su valor máximo ni en su valor promedio. Esto significa que el Disipador no produce grandes cambios en el comportamiento del fluido desde la mitad del Desarenador en adelante.

Tomando como referencia los escenarios iniciales analizados y los resultados logrados mediante la simulación, se puede afirmar que el modelo y método utilizados en el presente estudio son válidos y describen correctamente el funcionamiento del sistema hidráulico comprendido desde la Bocatoma hasta la descarga del Desarenador.

La inclusión de un Disipador de energía con las características descritas en el apartado (ver figura 3-8) modifican considerablemente las condiciones de trabajo del Desarenador y de toda la instalación. Desde la Bocatoma hasta el Disipador el nivel del agua aumenta de manera apreciable. Desde el Disipador hasta la mitad de la nave del Desarenador se experimenta una disminución considerable. El diseño tentativo y distribución de perfiles muestra fabricar estructuras del disipador de energía, los perfiles predominantes son ángulos de 2.1/2" x 2.1/2 x 3/8" como se detalla en la imagen:

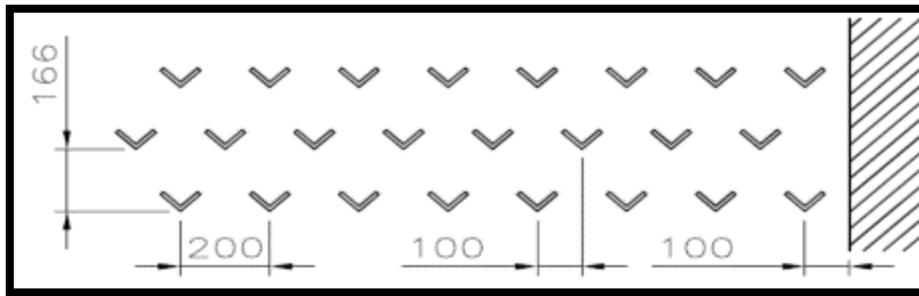


Figura n.º 3-10. Perfiles y estructuras del modelo presentado en es estudio.

Fuente: Estudio del régimen hidráulico Presa Capillucas

De las variantes por los factores de la instalación el Disipador evaluado, presenta un comportamiento apropiado, pues los caudales altos reducirán considerablemente

El hecho de que a la entrada del Desarenador la velocidad de las capas medias y superiores disminuya es favorable para la sedimentación de los sólidos y la disminución de la turbidez, pues los sólidos que se encuentran en esas capas descenderán a las capas inferiores y no serán arrastrados por la corriente que induce la descarga del Desarenador y por consiguiente prolongando el tiempo de saturación, como también disminuyendo el costo de mantenimiento.

Se recomienda que la holgura existente entre el fondo del canal y el disipador de energía (ver Figura 3-9) sea regulable, pues para caudales mayores a los considerados en los casos analizados podrían producir mayor elevación del nivel del agua desde la Bocatoma hasta el Disipador, e incluso provocar desbordes.

De acuerdo con los resultados obtenidos se sugiere colocar sensores de velocidad en las posiciones adecuadas, sensores de nivel, medidores de turbidez (ver Figura 3-11).

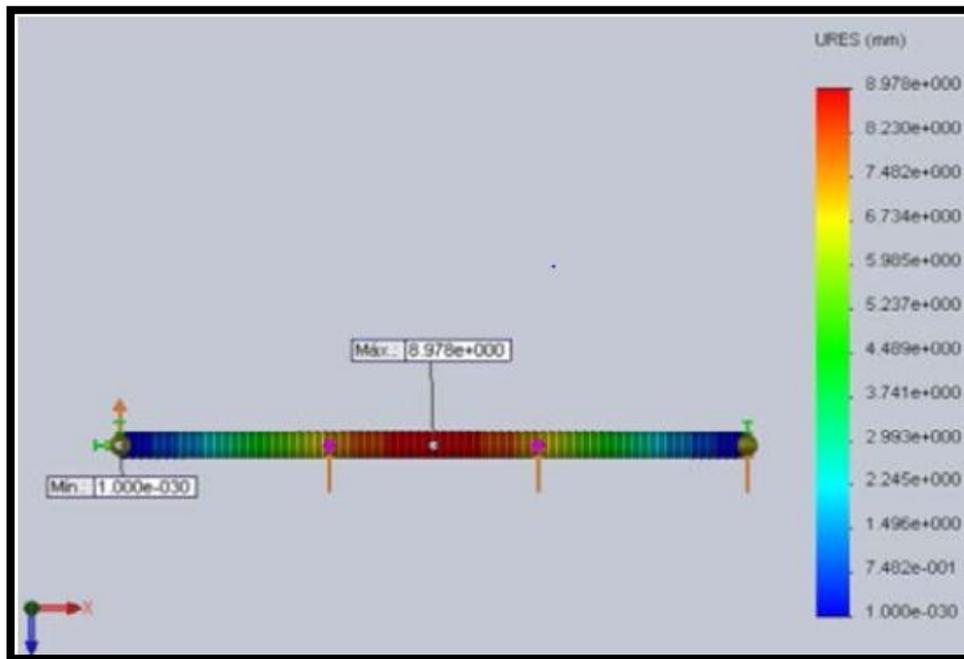


Figura n.º 3-11. Condiciones de velocidad y saturación (desviación máxima 1.31 x E+0mm)

Fuente: Estudio del régimen hidráulico Presa Capillucas

3.5.3 Diseño de disipador adecuado según los estudios.

El diseño presentado según el estudio de régimen hidráulico permite desarrollar la ingeniería estructural del disipador de energía, estructuras auxiliares y de izaje para mantenimiento, considerando los datos en el presente estudio.

- Fluido : Agua de río.
- Velocidad máxima : 15 m/s
- % Saturación : 15% (material sólidos flotantes)

Para realizar el diseño de la estructura se considera la normas y estándares nacional e internacional aplicable a las características del proyecto.

Norma

- ASME SECCION IX: Welding and Brazing Qualifications.
- ASTM A-370: Estándar para determinar las características mecánicas de productos de acero.
- AISC-360 Specification for Structural Steel Buildings.
- NBE-EA-95: Estructuras de acero en edificación
- ASTM-D-3359/DIM ISO 4624: Adherencia del recubrimiento
- SSPC-SP: Limpieza de metal.
- AWS A5.1: Especificación para Electroodos de Acero al Carbono para Soldadura por Arco Metálico Protegido.

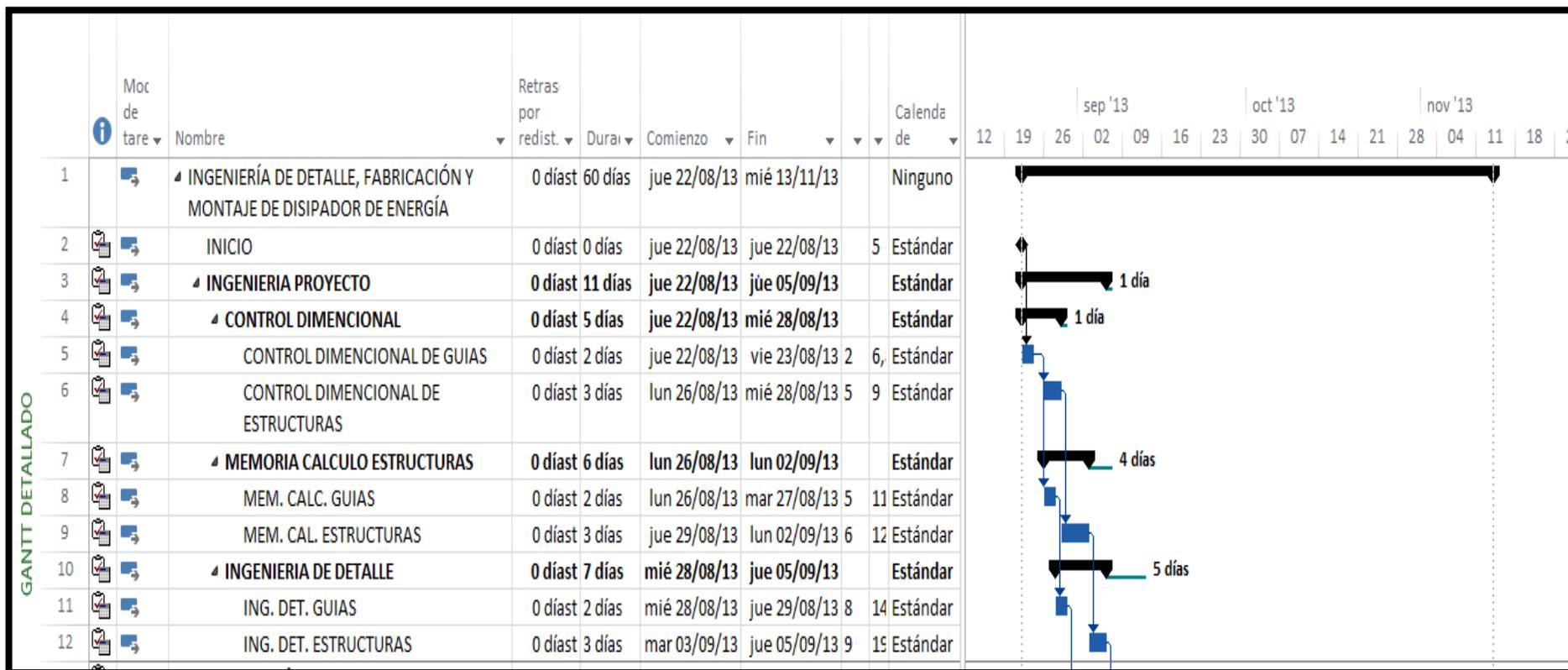


Figura n.º 3-12. Gantt detallado días de ejecución de diseño e ingeniería

Fuente: Elaboración propia

La empresa Dimperu presentó la propuesta de diseño del Disipador que está formado por tres hileras de perfiles angulares de 2.5"×2.5"×3/8". En cada hilera hay 30 perfiles espaciados a 200 mm, la distancia entre hileras es de 166 mm, la hilera central está desfasada 100 mm con relación a las otras dos y la distancia al fondo del canal es de 292 milímetros. El diseño del disipador se realizó con la memoria de cálculos de las estructuras (ver anexo 0-5)

Diseño preliminares

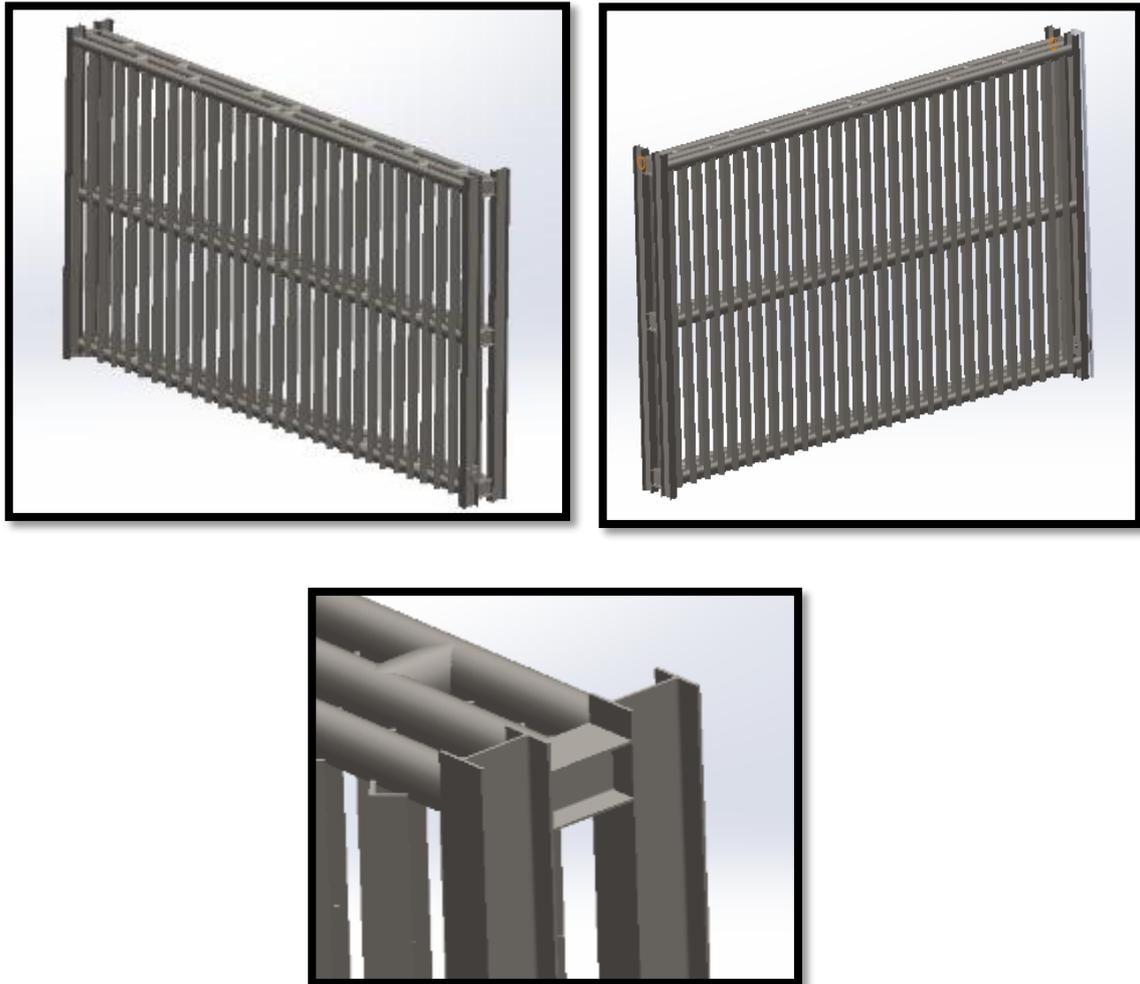


Figura n.º 3-13. Imágenes de diseños preliminares de disipador

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

Descripción de componentes

Disipador de energía.

- Plancha de 1" acero al carbón ASTM A 36
- Tubo redondo de 4" SCH. 80 acero al carbón A53
- Tubo redondo de 4" SCH. 40 acero al carbón A53
- Tubo redondo de 3" SCH. 80 acero al carbón A53

- Tubo redondo de 3" SCH. 40 acero al carbón A53
- Ángulo de 2.1/2" x 3/8" acero al carbón ASTM a 36

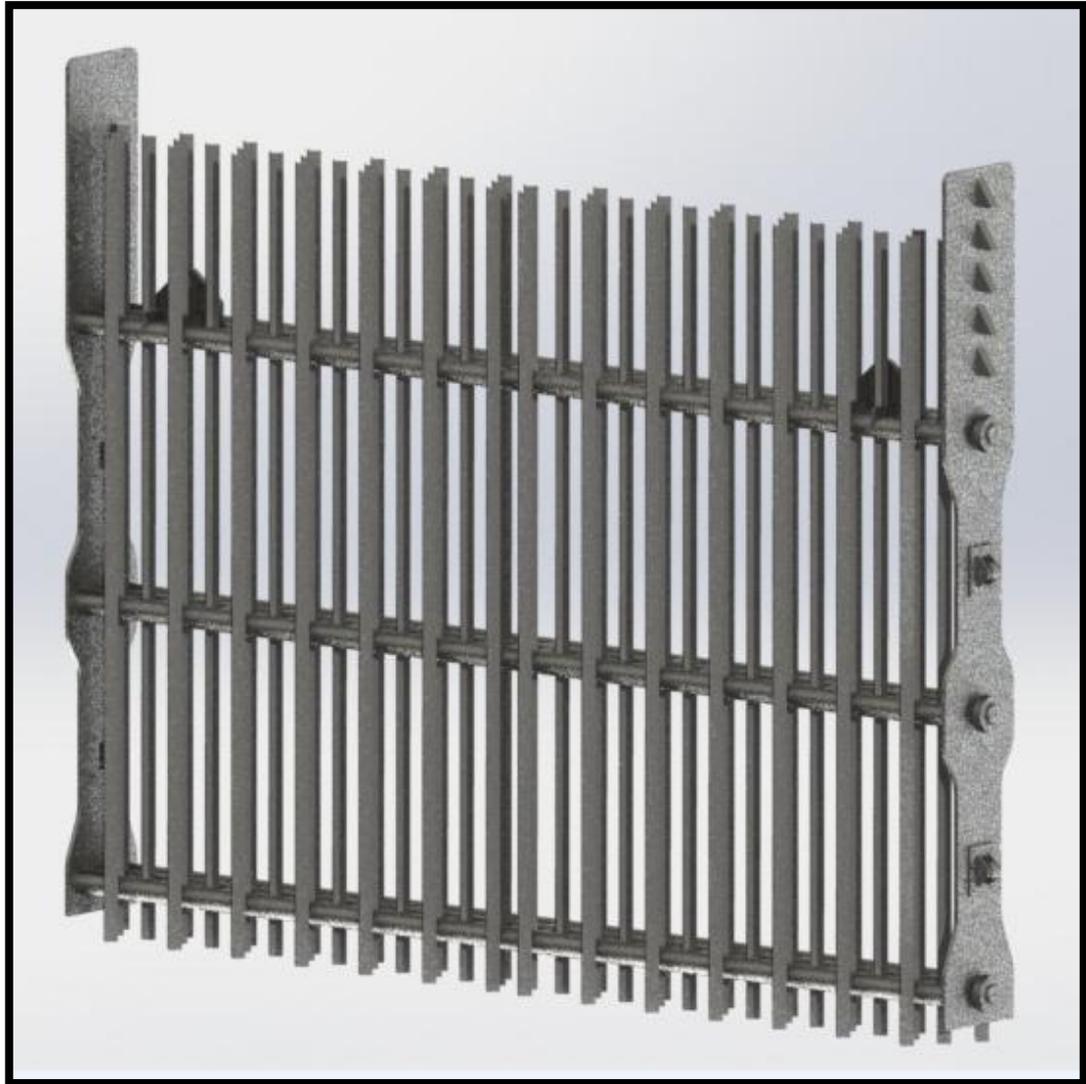


Figura n.º 3-14. Diseño final de disipador de energía

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

Rieles y guía del disipador.

Para el diseño rieles guías del disipador se considera los siguientes materiales:

- Plancha de 32 mm acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 25 mm acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 12 mm acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 8 mm acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 32 mm acero al carbón ASTM A 36.
- Canal U 4" x5.4 acero al carbón ASTM A36

Pórtico de izaje.

- Plancha de 1" acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 1/2" acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 1/8" acero al carbón ASTM A 36.
- Plancha de 3/4" acero al carbón ASTM A 36
- Tubo rectangular 6" x 8"

Pasarela y escaleras.

- Plancha de 3/8" acero al carbón ASTM A36.
- Plancha de 3/16" acero al carbón ASTM A36
- Plancha de 3/8" acero al carbón ASTM A36.
- Plancha estriada de 2.9 mm acero al carbón ASTM A36.
- Canal U 3" x 4.1 acero al carbón ASTM A36.
- Canal U 6" x 8.2 acero al carbón ASTM A36.
- Angulo de 1/4" x 2" acero al carbón ASTM A36

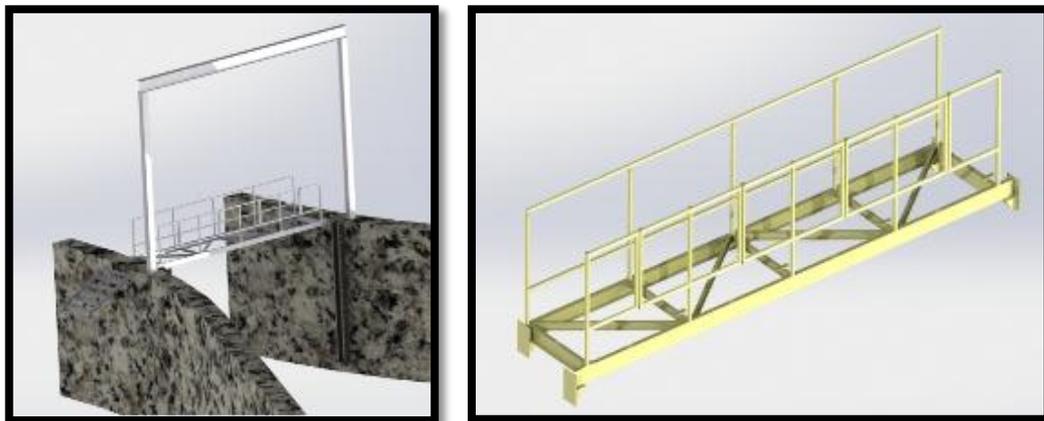


Figura n.º 3-15. Diseño de estructuras auxiliares del disipador

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

3.5.4 Simulación de disipador con software de ingeniería Solid Works – Ansys 15

Para la simulación del Disipador se considerara sumergir a 3 metros de profundidad, situación en la cual se detectara en la conformidad de lo cálculos y simulaciones computacionales de diseño.

A continuación se describen las condiciones y datos de las pruebas de inmersión, así como las consideraciones que se tuvieron en cuenta durante los cálculos y simulaciones computacionales, en el diseño para detectar desviaciones si en caso lo hubiera para luego corregirla.

Para la simulación se toma la información de campo como máximo nivel de agua en el canal de enlace (H), máximo caudal (Q), máxima apertura de compuerta (A).

Tabla n.º 3-5. Cuadro de datos actuales en la Presa Capillucas

	Fecha	Nivel de Embalse (msnm)	Caudal de ingreso por Bocatoma (m ³ /s)	Apertura de Compuertas Bocatoma (m)		Potencia de generación (MW)	Canal de Enlace
				Nº 1	Nº 2		Nivel (msnm)
Máximo H	03/05/13	1535.01	33.30	0	1.53	170	1529.62
Máximo Q	03/05/13	1534.55	42.91	0	2.29	223	1529.57
Máximo A	04/05/13	1531.66	42.66	0	3.62	221	1529.56

Fuente: *Elaboración propia*

El diseño inicial del Disipador utilizado durante los cálculos y simulaciones era una estructura fija, anclada directamente a los muros del canal de enlace, con un ancho efectivo de 6 m (ver figura 3-13). Sin embargo, debido a las necesidades de funcionamiento y para prevenir diferentes situaciones que se pudieran presentar, el diseño final se concebirá una estructura corrediza. Para ello fue necesario colocar dos columnas guía que se fijaron a los muros del canal de enlace, produciendo una disminución del ancho efectivo de aproximadamente 0.5 m (ver figura 3-14). Por simple inspección esta variación no resultará significativa, pero la no linealidad del comportamiento del fluido, conjuntamente con otros valores de las variables asociadas, puede influir en los resultados finales en alguna variación.

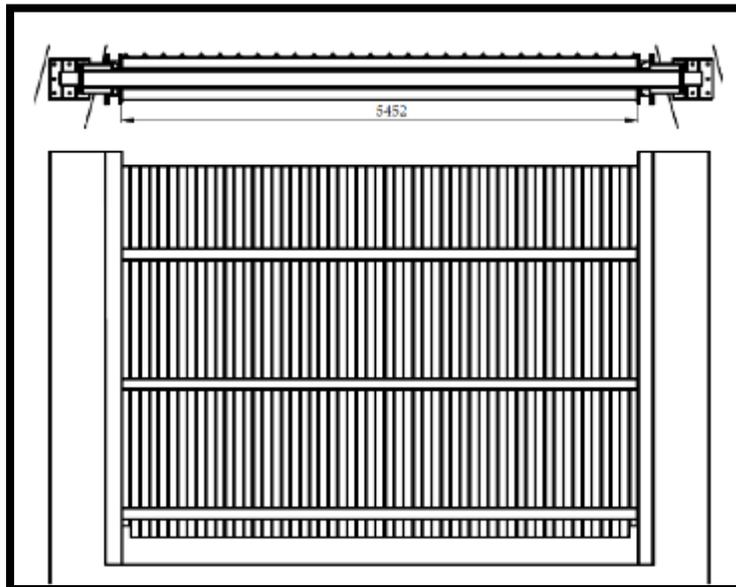


Figura n.º 3-16. Diseño de disipador aprobado

Fuente: *Área de diseño e ingeniería Dimperu*

Modelo geométrico utilizado durante la simulación.

Con la ayuda del software, Ansys 15 ha sido posible realizar las simulaciones con un modelo geométrico más detallado y realista, con el cual se pueden obtener resultados más precisos (ver figura 3-17) para establecer la simulación final y trabajar en base al resultado que arroja el software.

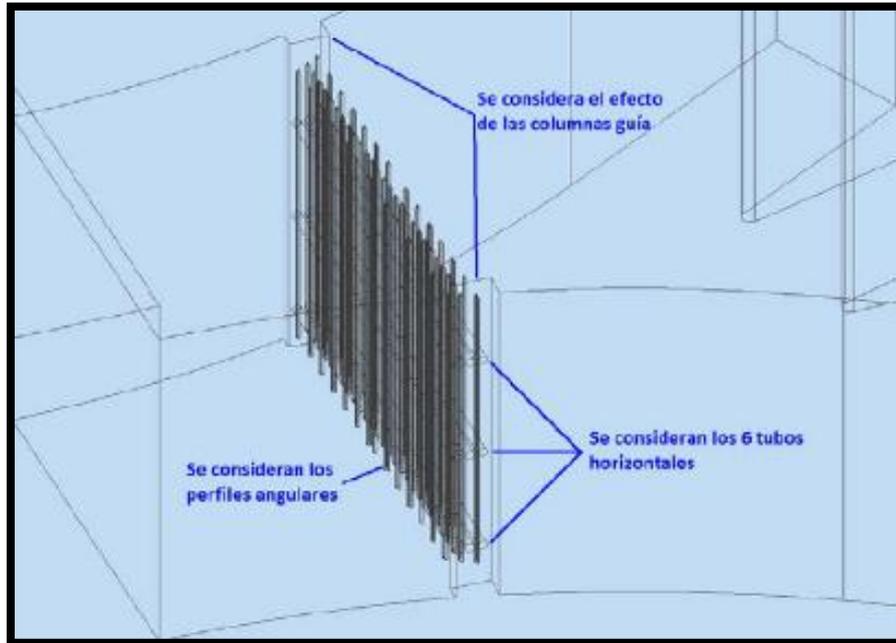


Figura n.º 3-17. Modelo geométrico del Disipador modificado final.

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

Este modelo más detallado ha sido usado para comprobar el funcionamiento propuesta en el Disipador y evitar el rebose. Debe tenerse en cuenta que, en cualquier caso, la simulación computacional tiene un margen de holgura, no es la 100% exacta y los resultados obtenidos son aproximados. Sin embargo, en estos casos complejos siempre se obtendrán mejores resultados utilizando la simulación computacional que los métodos analíticos, en otras ocasiones los métodos analíticos no son factibles de aplicar.

Resultados de los cálculos y simulaciones para el Disipador final.

A continuación se muestra (ver figura 3-18) la fracción volumétrica para el caso indicado, resulta evidente confirmando que cumple la función de disipar la energía pero incrementando el nivel sin ocasionar rebose.

En el grafico que se muestra podemos detallar que el comportamiento de la fracción volumétrica es adecuado, pues se mantiene dentro de los parámetros establecidos para la simulación. Podemos concluir también que las hileras formadas por los ángulos, se observan dentro del limita de rebose del agua, el cual resume el cumplimiento del objetivo.

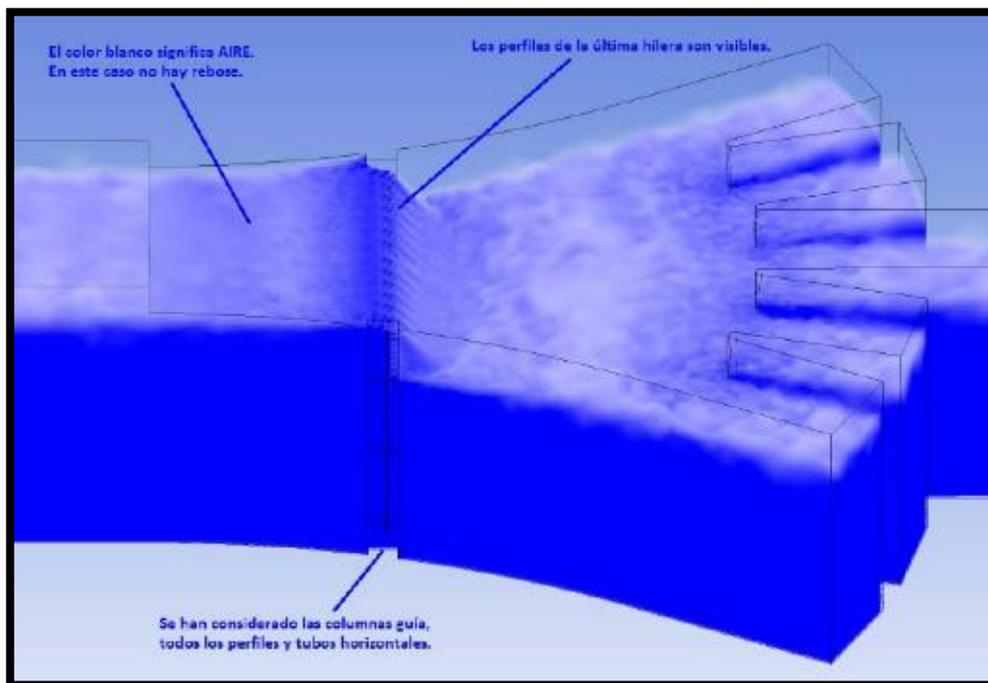


Figura n.º 3-18. Fracción volumétrica de agua considerando el Disipador final

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

En el resultado (ver figura 3-19) se muestran las líneas de flujo del agua disipada en un 25% en comparación con los datos iniciales.

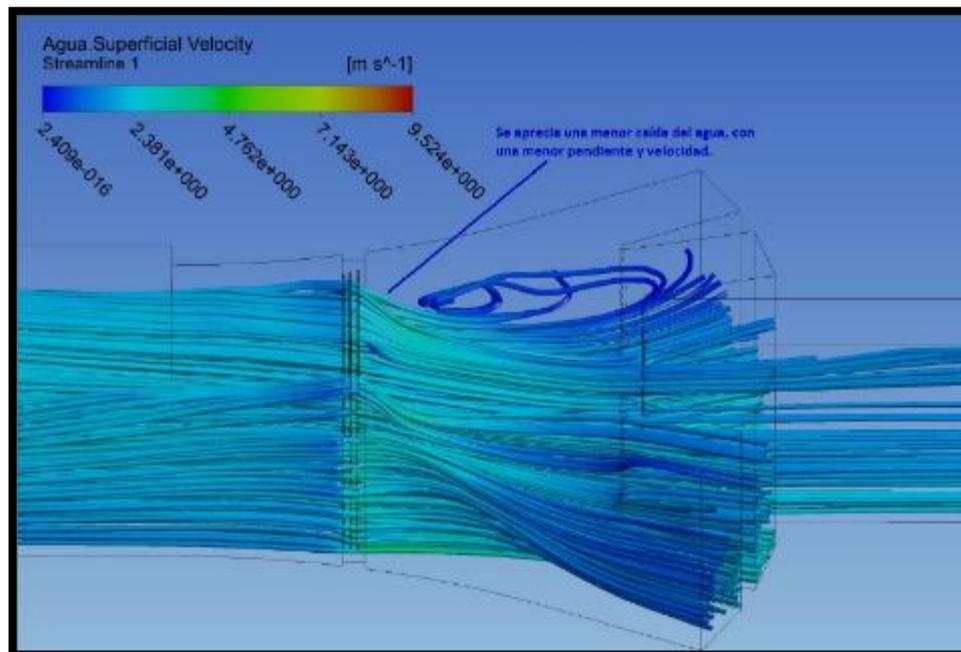


Figura n.º 3-19. Líneas de flujo del agua considerando el Disipador

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

También se muestra la distribución de presiones en el plano central del desarenador, en un rango apropiado para poder visualizar el nivel del agua. (Ver figura 3-20)

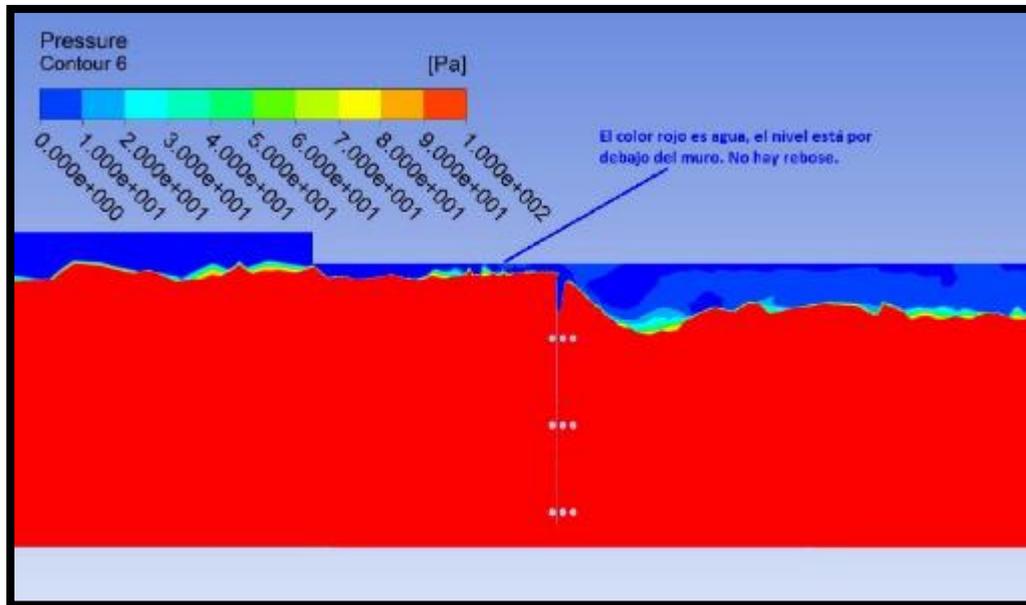


Figura n.º 3-20. Presión del agua considerando el Disipador

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

Además de comprobar la no existencia de rebose con la simulación, también se calcularon las velocidades del agua en 5 diferentes planos significativos. Como se puede apreciar en la (ver figura 3-21) la velocidad promedio del agua cuando ingresa al desarenador es menor a 1 m/s, lo que asegura una correcta decantación de los sólidos.

Con la colocación de un Disipador de energía el nivel del agua, aguas arriba, necesariamente va a aumentar. Si las condiciones cambian significativamente, por ejemplo con un aumento del caudal, podría evitarse el rebose sumergiendo parcialmente el disipador y no en su totalidad.

La disminución (retiro) de los perfiles angulares en el disipador no limita su capacidad para lograr los objetivos propuestos, es decir, se disminuye la turbulencia y la velocidad del agua en su ingreso a los desarenadores. La velocidad promedio no superando el valor de 1 m/s en los desarenadores, asegurándose una correcta decantación de los sólidos.

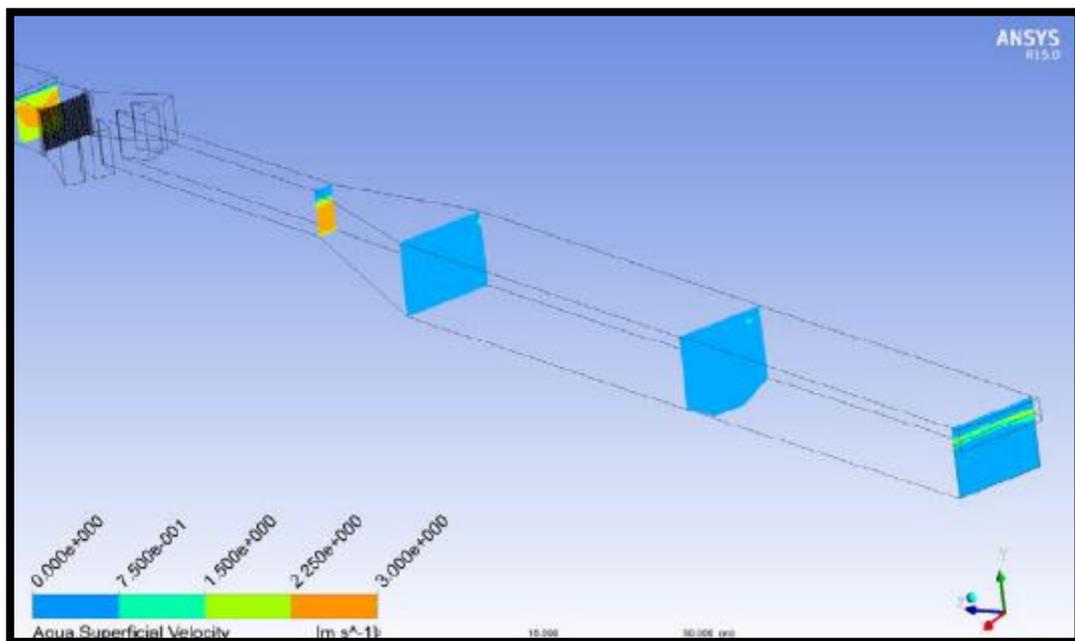


Figura n.º 3-21. Velocidad del agua en diferentes planos considerando el Disipador

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

3.5.5 Proceso de fabricación del disipador

El proceso de fabricación de la estructura de disipador se realiza en el área idónea como es el taller de fabricación siguiendo un procedimiento para el desarrollo adecuado con sus respectivos equipos y personal capacitado para ejercer el trabajo respectivamente designado, lo cual se vigila con constancia, mediante un programa de control de calidad de cada proceso por el que pasa las piezas de la estructura del disipador.

Los aceros estructurales A 36 usados en este proyecto, son de alta calidad sumada también el diseño racional, para optimizar el tiempo de fabricación, además empleando tecnología en los procesos de fabricación como corte con plasma, soldadoras Miller entre otros.

La fabricación de las estructuras del disipador de energía, estructuras auxiliares, guías de alineamiento vertical y sistema de izaje eléctrico, según diseño aprobado por el cliente se inicia estableciendo el cronograma de tiempo de ejecución, detallado en el programa Project. (Ver anexo 0-6). Toda la secuencia de fabricación se sigue el diagrama de operaciones a continuación,

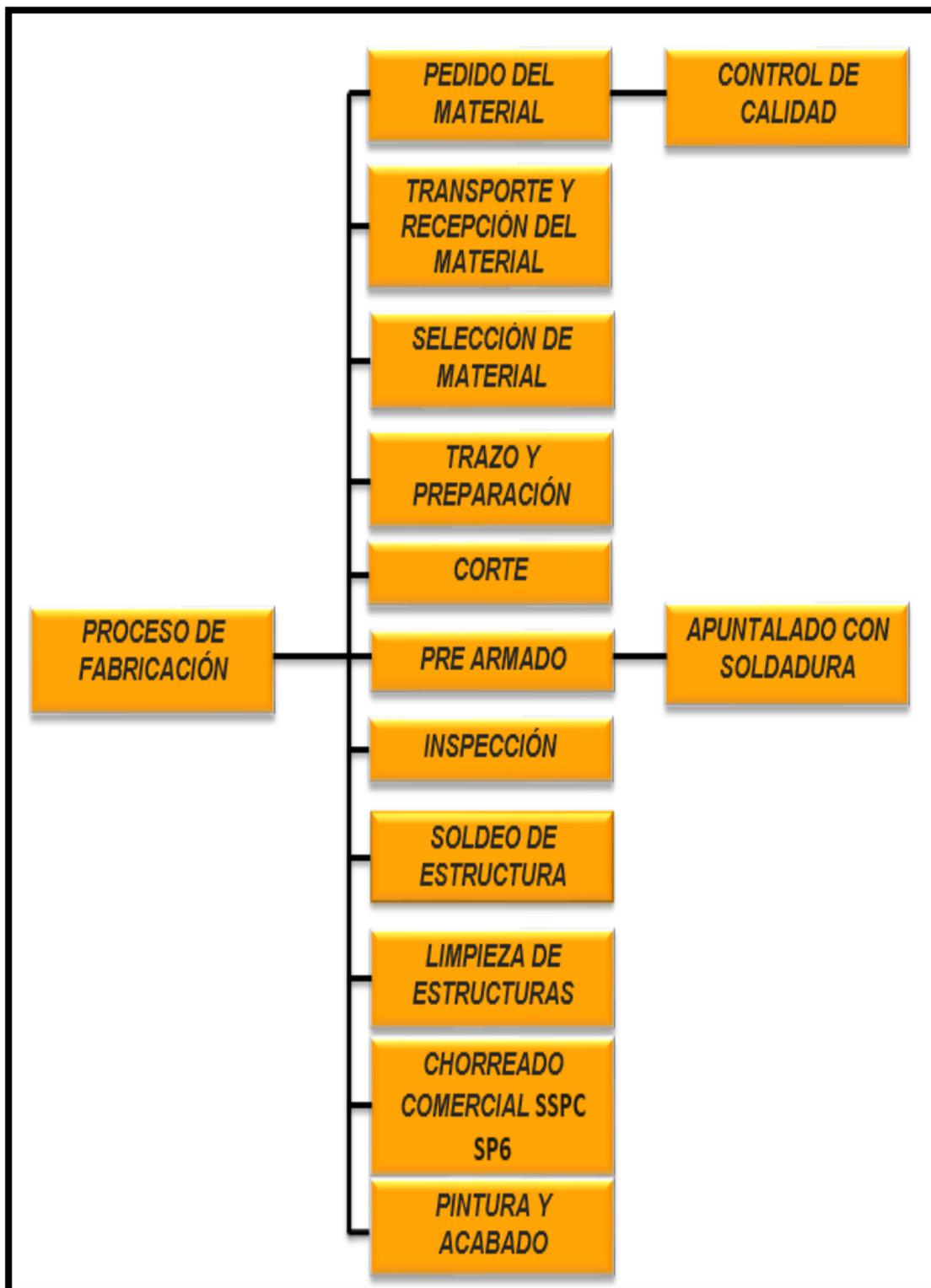


Figura n.º 3-22. Diagrama de proceso de fabricación de disipador

Fuente: Elaboración propia

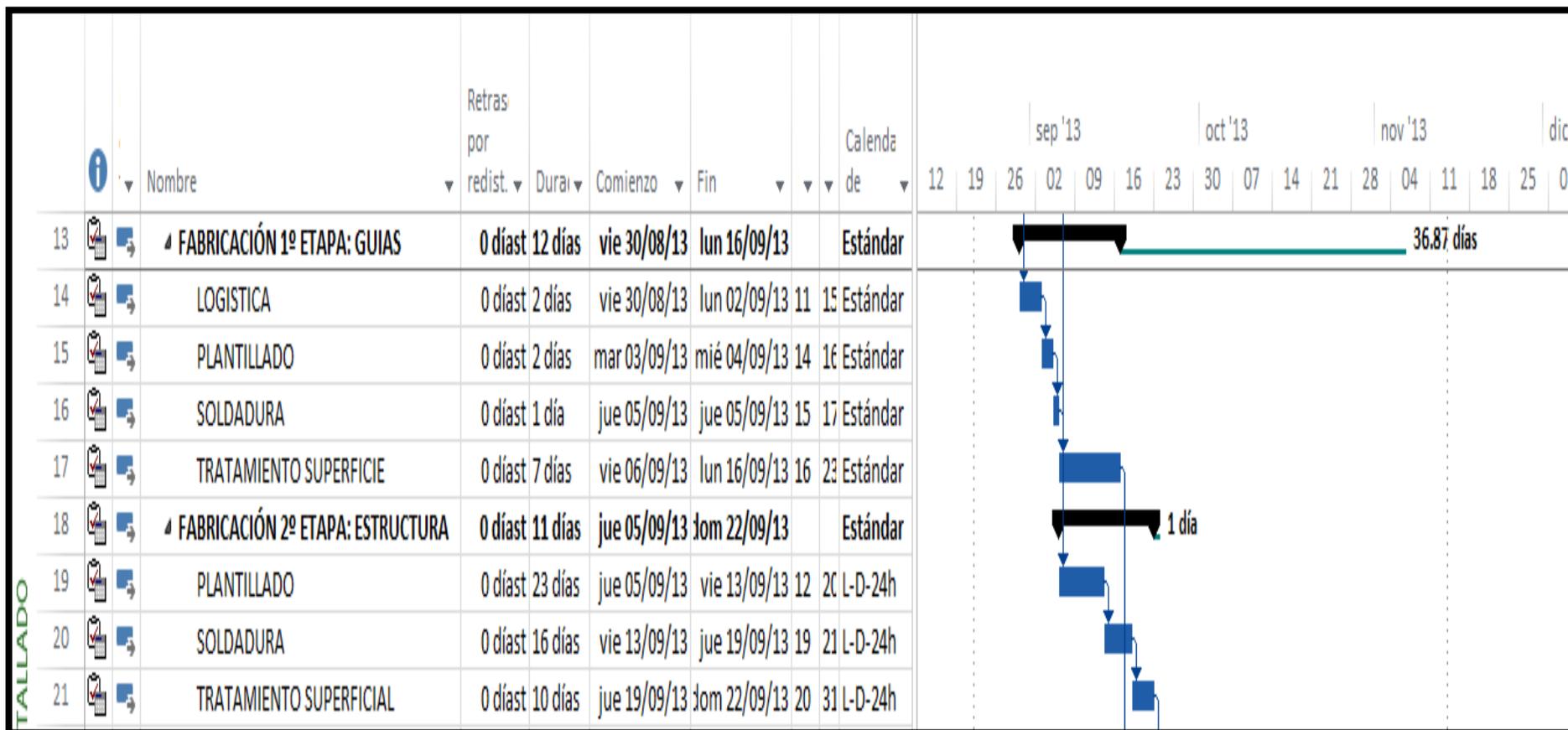


Figura n.º 3-23. Cronograma detallado de fabricación de disipador de energía Presa Capillucas

Fuente: Elaboración propia

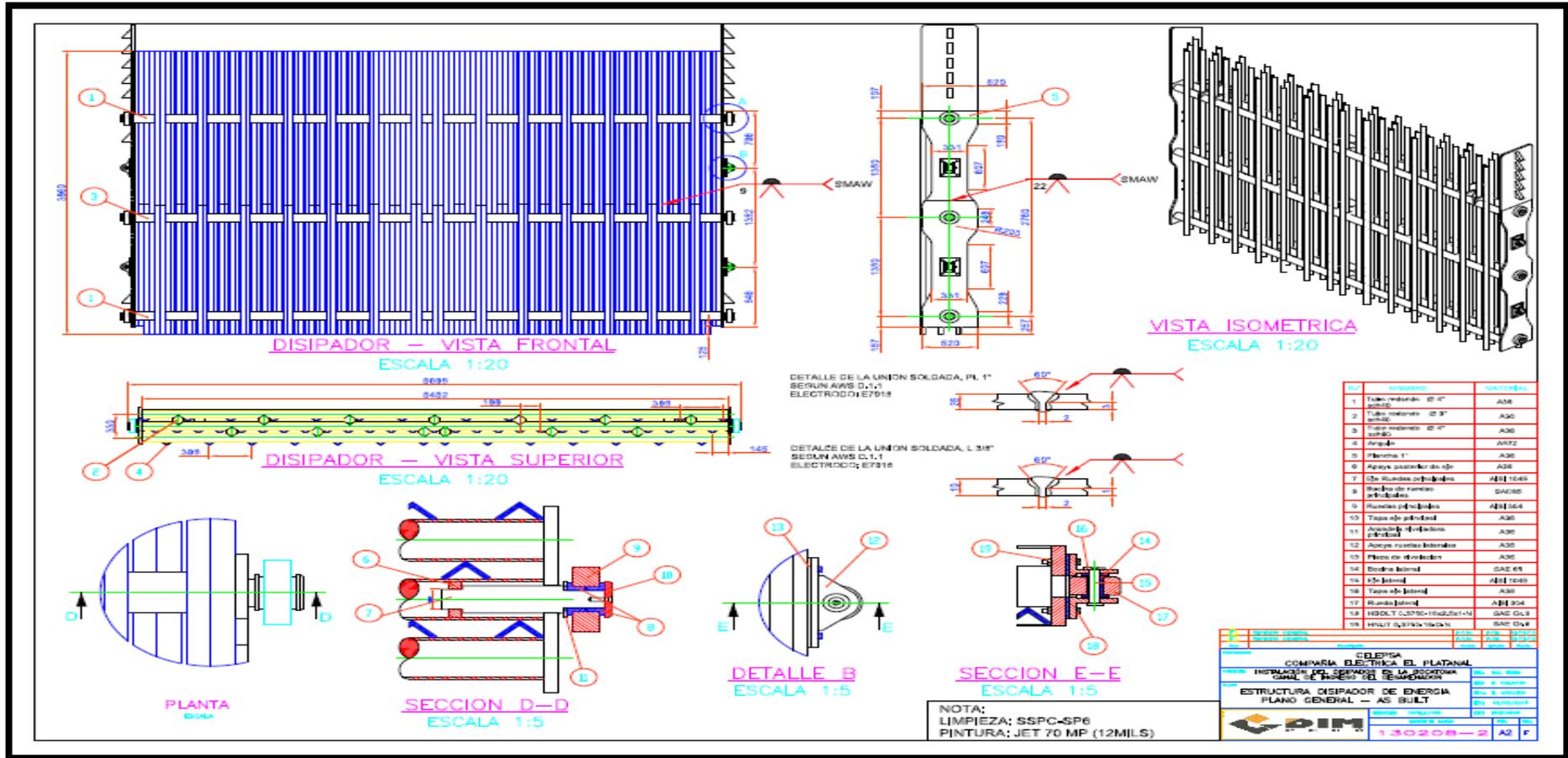


Figura n.º 3-24. Plano general de fabricación de disipador de energía – Central Hidroeléctrica el Platonal

Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu

Pedido de material.

Para realizar el pedido de material, se deberá de tener en cuenta las dimensiones, tolerancias, juntas y ajustes que deben tener las piezas, evitando desperdicios, desde el material deberá ser coherente a las medias según plano, entendiendo por esto las medias estándar de fabricación de cada pieza o elemento necesario para el disipador.

Certificación

La validación de la conformidad de llegada de los materiales es de gran importancia puesto que se sigue exige el certificado de calidad (ver anexo 0-3) de los aceros, en caso contrario se debe realizar la devolución o pruebas de laboratorio con el fin de determinar la garantía según su composición.

Trasporte y recepción de material

La gestión en cuanto al trasporte debe ir en función a las necesidades y también según el espacio de taller. El trasporte de los ángulos, perfiles, planchas y todo lo que implica la fabricación del disipador se debe realizar de manera que estos no tengan ningún daño causado por el inadecuado acarreo y embalaje del mismo con ayuda de mecánica y maquinaria pesada.



Figura n.º 3-25. Transporte y recepción de materiales del disipador

Fuente : Elaboración propia

Selección de piezas

Para realizar el trabajo de corte habilitado se debe de seleccionar todas las piezas según su clase y necesidad de manera que no tome tiempo muerto para poder ubicar fácilmente.

Trazo y preparación de perfiles

El proceso de trazado y preparación de perfiles, planchas consiste en reproducir en una superficie metálica las cotas o referencias para el desarrollo de los procesos de fabricación posteriores.

El trazo se realiza conforme a las indicaciones de los planos (ver figura 3-23) de taller suministrado por el área de ingeniería previamente aprobados.

El trazador también se encarga de la preparación de las piezas para efectos de la soldadura tales como biseles, cortes especiales .etc. La aprobación del procedimiento está a cargo del supervisor del taller.



Figura n.º 3-26. Trazado y preparación de perfiles

Fuente : Elaboración propia

Corte del material

El corte de los elementos estructurales debe de realizarse, teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

- Si el corte es recto se controla mediante topes, y se corta con amoladoras de 4.1/2" y de 7" con abrasivos correspondientes.
- Los bordes del corte deben estar libre de rebabas, filos o irregularidades
- Los cortes realizados se deben regirse a los planos del taller
- El corte con cizalla se debe realizar con sumo cuidado por un personal capacitado

El proceso de corte con oxicorte se debe la reacción química entre el oxígeno y el material base a temperaturas muy elevadas facilitando el corte del material.

Los materiales que se cortan con el oxígeno básicamente son planchas para habilitar las piezas de base del disipador. La operación consiste en precalentar el material para luego aplicar oxígeno para derretir el material separando en dos partes.



Figura n.º 3-27. Corte de material con CNC y amoladora

Fuente : Elaboración propia

Pre armado de disipador

Es la etapa más importante dentro del proceso de fabricación de elementos estructurales ya que tiene como objetivo el ensamble de las piezas elaboradas, en la posición relativa que tendrá cuando se realicen la unión definitiva en el campo.

Para las piezas que se unirán con soldadura se fijan entre sí con medios (proceso SMAW) adecuados que garanticen la fusión.

El armado se empieza alineando las planchas laterales con los tubos de 4" SCH 40 previamente apuntalados con soldadura, como también los ángulos en el medio de las planchas. Una vez que ya está instalado todo el perfil se procede a controlar las medidas finales para proceder a asegurar para el soldeo de los mismos. La misma secuencia continuarán todas las estructuras inherentes al disipador.





Figura n.º 3-28. Armado de piezas de disipador, pasarelas y pórtico

Fuente : Elaboración propia

Soldeo de estructuras

Es proceso usado en este proyecto es (SMAW), siendo el procedimiento más importante y casi exclusivamente utilizado para las estructuras metálicas. Las piezas se unen al provocarse un arco eléctrico entre ellas y un electrodo revestido que constituye el metal de aportación. El electrodo está sujeto a una pinza que sujeta al soldador, es el polo negativo, y el positivo son las piezas que se quieren unir; una buena soldadura depende de los siguientes factores:

- 1.-Diámetro del electrodo.
- 2.-Distancia del electrodo a las piezas para unir (tamaño del arco)
- 3.-Velocidad de avance del electrodo (habilidad del soldador)
- 4.-Temperatura en el proceso; de 3000 a 4000 °C.

Los soldadores que realizaron el soldeo de la estructuras han sido previamente homologados y con vasta experiencia.

La estructura los perfiles angulares, así como sus soporte, la estructura tubular y los soporte de la fijación han sido analizada con soldeos utilizando electrodo básico E7018 y se ejecutaran de acuerdo a las normas ASME.



Figura n.º 3-29. Proceso de soldadura de disipador

Fuente : Elaboración propia

Limpieza y tratamiento SSPC-SP 6

Preparar la superficie metálica con SSPC-SP 6 (Tratamiento mediante chorro abrasivo hasta grado comercial – Sa 2 1/2) y aplicar recubrimiento con pintura epóxica para estructuras que trabajaran bajo inmersión en agua dulce y estructuras a intemperie. Se sigue la siguiente secuencia de tratamiento Pintura Base: JET 70 MP, gris niebla, 5mils, Pintura Recubrimiento: JET 70 MP, color negro, 5 mils

Pintura de Acabado: Poliuretano o similar, 2 mils Total de acabado de espesor de pintura será de 12 mils de EPS.

Pintura recomendada:

Antes de pintar se deberá eliminar la grasa, aceite, polvo y cualquier otro contaminante depositada sobre la superficie a tratar después de ser preparada. En caso que aparezcan zonas oxidadas después de haber preparado la superficie, estas deberán ser nuevamente limpiadas.

La responsabilidad por el tratamiento de superficie debe ser establecida explícitamente en los documentos y procedimientos a su vez el operario debe conocer y cumplir dichas especificaciones para el recubrimiento y protección de las superficies metálicas contra la corrosión.

A continuación se muestran las equivalencias de la preparación de superficie entre las normas SSPC

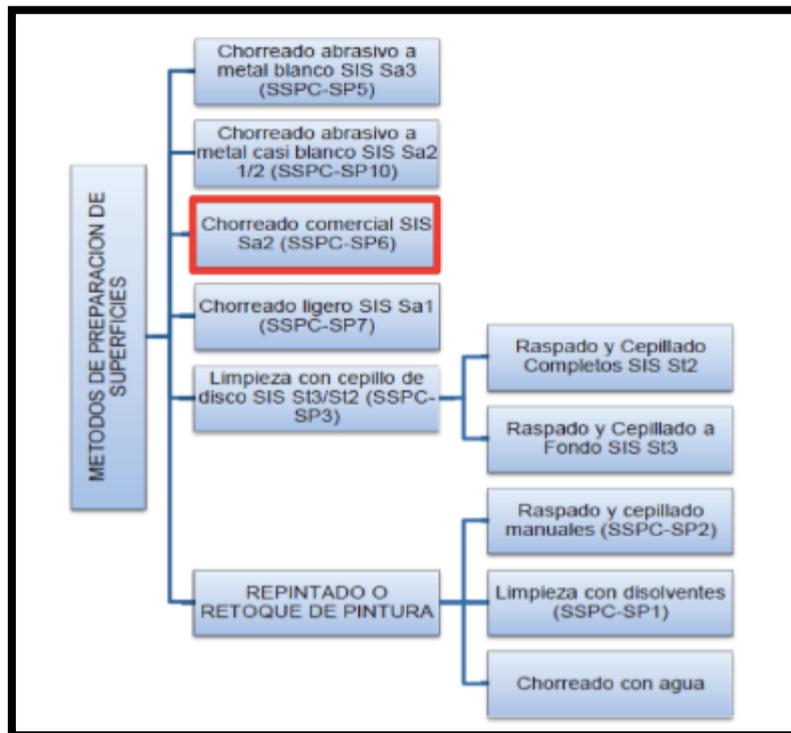


Figura n.º 3-30. Método de preparación de superficie
Fuente: elaboración propia

Descripción	PSC	SIS 05.59.00	BS 4232	OBSERVACIONES
Chorro abrasivo a Metal Blanco	SSPC-SP-5	Sa3 Grados A,B,C,D	Primera Calidad	Es utilizada donde las condiciones son extremadamente severas, con contaminantes ácidos, sales en solución, etc.
Chorro abrasivo a Metal Casi Blanco	SSPC-SP-10	Sa2 1/2 Grados A,B,C,D	Segunda Calidad	Es la especificación comúnmente utilizada. Reúne las características de buena preparación y rapidez en el trabajo. Se lo utiliza para condiciones regulares a severas.
Chorro Comercial	SSPC-SP-6	Sa2 Grados A,B,C,D	Tercera Calidad	La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, óxido y los restos de capa de laminación no deben superar al 33% de la superficie en cada pulgada cuadrada de la misma. Los restos deben verse sólo como de distinta coloración. Generalmente se lo especifica en aquellas zonas muy poco solicitadas sin ambientes corrosivos.
Chorro Ligero	SSPC-SP-7	Sa1 Grados B,C,D.		Conserva la capa de laminación donde está firmemente adherida. Estas partes no deben desprenderse mediante un

Efecto Intemperie con Chorro	SSPC-SP-9	Sa2, 2 1/2 ó 3 Grados B,C,D.		Sa 1, Sa 2, Sa 2 1/2, Sa 3 mediante proyección de partículas abrasivas (arenado- granallado)
Limpieza con Cepillo de disco	SSPC-SP-3	St2/St3 Grados B,C,D.		ST 2 y ST 3: para raspado y cepillado
Limpieza con Soplete del acero nuevo	SSPC-SP-4			
Raspado y Cepillado Manuales	SSPC-SP-2			
Limpieza con Disolventes	SSPC-SP-1			

Figura n.º 3-31. Métodos de preparación de superficie

Fuente: Inge mecánica



Figura n.º 3-32. Tratamiento de superficie SSPC –SP 06 de disipador

Fuente : Elaboración propia

Pintado de disipador

Etapa final de presentación de los elementos estructurales, en la cual se da un buen acabado irguiéndose a la normas de colores en cuanto a estructuras del disipador.

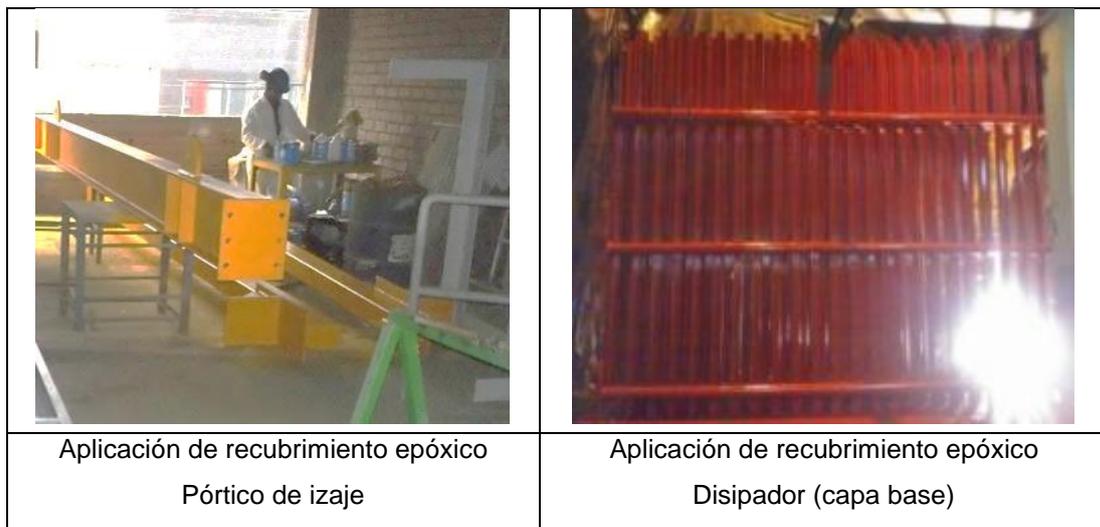


Figura n.º 3-33. Aplicación de pintura de disipador y estructuras

Fuente : Elaboración propia

Inspección Control de calidad

Terminando las actividades anteriores se debe verificar el correcto armado, soldado y pintado de existir algunas falla el proceso de se realizará el levantamiento de no conformidades siguiendo un estricto control según los protocolos establecidos.

Para la inspección de se debe cortar con el formato de control en la cual se debe verificar y comprobar según los planos con exactitud para poder llevar hacia la obra.



Figura n.º 3-34. Control de calidad de estructuras de disipador

Fuente : Elaboración propia

3.5.6 Proceso de montaje de disipador in situ

Para realizar el proceso de montaje del disipador, se seguirá la secuencia establecida a continuación, determinando previamente los tiempos, los requisitos y responsabilidades para el personal de trabajo, así como los requisitos de los planos de montaje in situ

El montaje de las estructuras del disipador tendrá 02 etapas:

- Montaje de guías de disipador
- Montaje de disipador

Se deben considerar la formas indicadas en el plano de montaje (ver anexo 0-8), como también la ubicación de los elementos y la posición correcta. Es necesario asegurar el proceso de montaje con un procedimiento por ser una de las etapas más críticas en todo el

proyecto. Es necesario considerar las condiciones adecuadas de trabajo como tener vías de acceso, espacio para la maquinaria pesada, el personal calificado para la tarea entre otros aspectos importante para el montaje. A continuación se detalla el proceso en el gráfico.

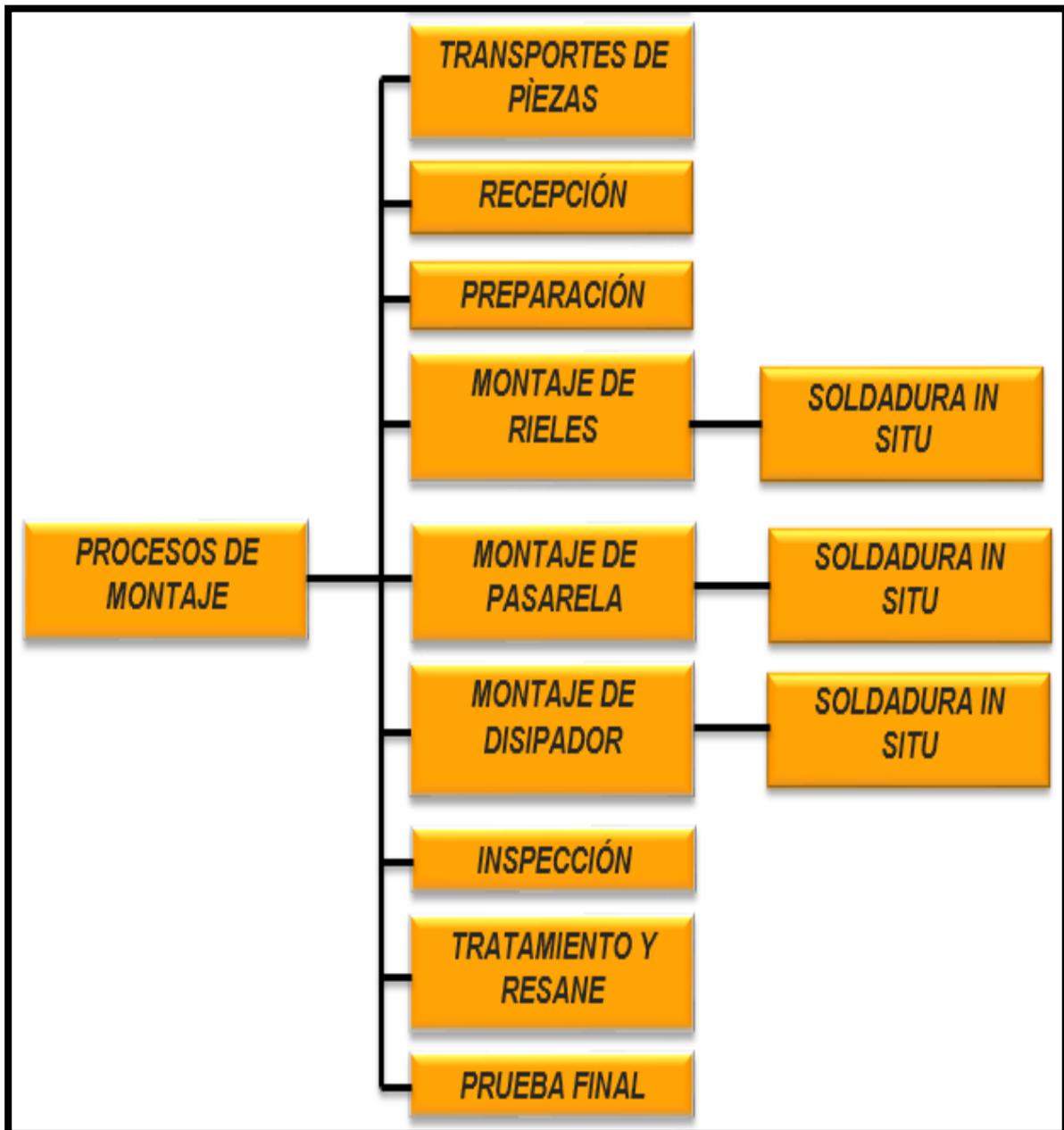


Figura n.º 3-28. Diagrama de procesos de montaje de disipador

Fuente: Elaboración propia

Para realizar montaje del Disipador de forma adecuada es necesario conocer el método secuencial que brinde el desempeño eficiente y sobre todo económico del proceso a llevarse a cabo puesto que las fecha establecidas según el cronograma. Se contara con camión Hiab de 15 toneladas para realizar la maniobra previamente certificado y entrenado.

Los trabajos antes mencionados se harán cumpliendo con lo indicado en los documentos:

- P.OP.SSO.004_EPP_V03
- P.OP.SSO.005_Trabajos en Caliente_V04
- P.OP.SSO.006_Gases Comprimidos_V03
- P.OP.SSO.008_Trabajos en Altura_V03
- P.OP.SSO.009_Andamios y Plataformas Elevadas_V02
- P.OP.SSO.011_Izaje y Grúas_V02
- P.OP.SSO.013_Herramientas Portátiles_V02
- P.OP.SSO.014_Materiales Peligrosos_V02
- P.OP.SSO.015_Transporte_V02
- P.OP.SSO.016_Bloqueo y Rotulado_V02
- P.OP.SSO.018_Delimitacion y Señalización de Zonas de Trabajo_V01

Formatos internos a usar:

- F.SIG.044_Charla Pre-Operacional
- F.SIG.045_Medición de Atmósferas
- F.SIG.049_Checklist Campo
- F.SIG.055_Plan de Izaje

Transporte de piezas

Terminada la fabricación y tratamiento de superficie se debe de llevar un registro de todas las piezas a montar en los cuales deben ir incluidas las dimensiones como las marcas correspondientes. La maquinaria utilizada para el transporte de las estructuras será el camión hiab. El jefe del taller será el encargado de verificar las piezas en correspondencia con el pedido del cliente, así como indica los planos.

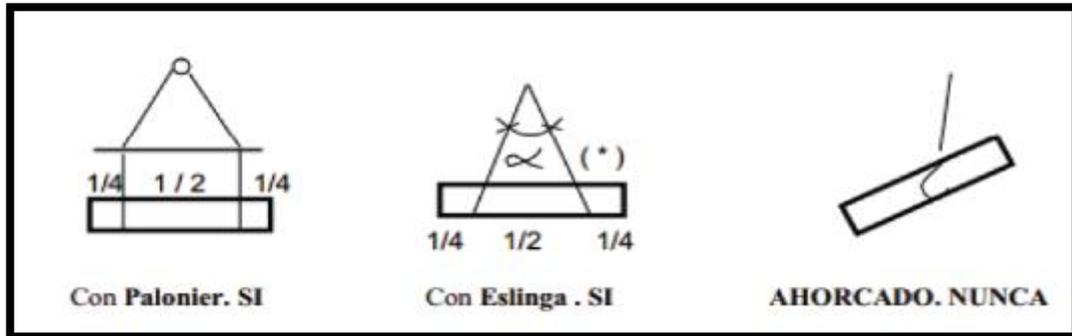
El trabajo se realizara en a la salida del canal de enlace hacia los desarenadores de la Presa Capillucas, ubicado en la localidad de Capillucas, distrito de Allauca, provincia de Yauyos.

- Los trabajos de movilización se realizarán de acuerdo a lo indicado en el P.OP.SSO.015_Transporte_V02, con lo cual se asegura de que las MEH, MyS lleguen en perfecto estado de conservación y operativos al 100%. Se realizará la inspección previa del vehículo, lo cual deberá ser registrado en el formato "F.SSO.021_Pre-uso de Vehículos_V02".

Recepción de estructuras de disipador

El supervisor de la obra será el encargado de verificar las piezas que se descarguen, las cuales deberán concordar con lo establecido en la marca dimensional y material.

La descarga a la obra se realizará con ayuda de grúa elementos adecuados de acuerdo al peso, se usara eslingas y fajas cubriendo las partes filosas para evitar dañar los equipos de izaje. A continuación se muestra una ilustración de como los elementos deben ser descargados.



Recepción de estructuras in situ

Recepción de estructuras in situ

Figura n.º 3-35. Descarga de elementos estructurales

Fuente : *Elaboración propia*

Preparación

Antes de comenzar con el montaje de las piezas del Disipador es recomendable identificar las marcas y la posición según ubicación de los planos de montaje. Como la actividad a iniciar consiste en preparar las guías y después las plataformas y finalmente el disipador.

Montaje de rieles –guías

El montaje de las guías tendrá la siguiente secuencia:

- *Instalación de canastillas y soportes*
- Instalar líneas de vida para los trabajos del personal al borde del muro de concreto. Colocar y fijar pórticos giratorios al muro de concreto, mediante pernos de expansión. Uno a cada lado del enlace, debido a que se realizará el montaje de las dos guías en paralelo.

- Colocar canastillas en posición para izaje al pie de la zona de instalación. Las canastillas cuenta con memoria de cálculo, la cual ha sido debidamente revisada y aprobada por el área de ingeniería de Dimperu.
- Colocar rieles en posición para izaje al pie de la zona de instalación.
- Fijar canastilla y colocarla en la posición de trabajo utilizando en pórtico giratorio.
- Los operarios deberán ingresar a la canastilla de trabajo desde la parte superior. A partir de este punto podremos desplazar verticalmente la canastilla a los distintos puntos en los que se realizará las perforaciones. El desplazamiento será mediante tecles de 2 toneladas con cadena de 5m de largo.
- Trazar ubicación de los puntos a perforar, para la fijación de las rieles.
- Realizar perforaciones con taladro percutor.
- Retirar el polvo existente en el interior de los agujeros.
- Preparar espárragos a medida según los planos de fabricación. Una de las puntas debe cortarse a 45° (esta punta ira embebida).
- Aplicar químico epóxico en el interior de los agujeros y colocar los espárragos.

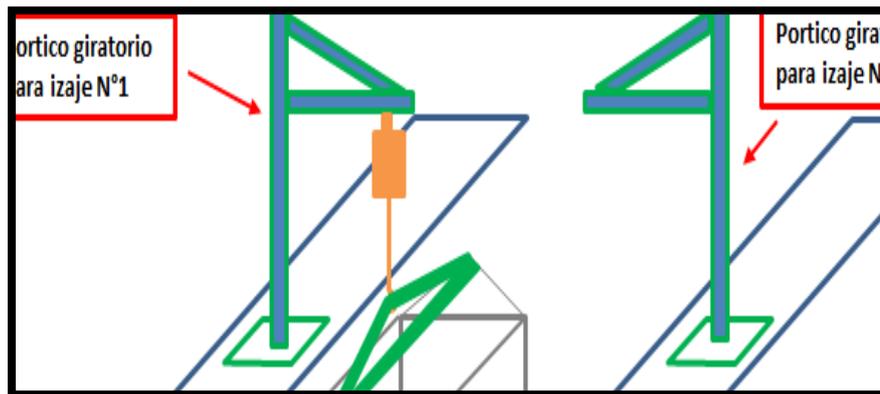


Figura n.º 3-36. Esquema de montaje de pórticos y montaje de guías de disipador.

Fuente : Elaboración propia

Montaje de pasarela

El montaje de la pasarela tendrá la siguiente secuencia:

- Pre-armar nave de plataforma al pie de la instalación.
- Preparar maniobra con grúa de 15 toneladas
- Instalar cable acerado de soporte (desde muro N°1 hasta el muro N°2) para instalación de nave de plataforma.
- Izar con grúa todo el conjunto de la pasarela
- Fijar nave a pórtico giratorio N°1, para lo cual deben utilizarse eslingas de 2 toneladas.
- Colocar y fijar nave a ménsulas mediante pernos hexagonales.
- Armar el 100% de la estructura del acceso (plancha estriada de base, barandas, etc.).
- Realizar tratamiento superficial de estructura según SSPC-SP2 y SSPC-SP3.
- Aplicar recubrimiento superficial epóxico mediante soplete industrial, según UNE-EN-ISO-12944.



Figura n.º 3-37. Montaje de pasarela in situ con grúa de 15tn

Fuente : Elaboración propia

Montaje de disipador

Las actividades previas del montaje del disipador serán:

- Se debe inspeccionar la zona de trabajo y verificar la presencia de obstáculos, toda situación que pueda complicar la ejecución del servicio.
- Delimitar el área de trabajo con postes plásticos y malla de seguridad. Asimismo, colocar letreros de señalización que indiquen los riesgos vinculados al trabajo: trabajos en caliente, caída de objetos.

El Disipador cuenta con dos partes “A” (inferior) y “B” (superior), las cuales serán re-armadas tomando como punto de apoyo y guía la riel instalada en el interior del enlace. Con esto se logra garantizar que el disipador sea funcional al desplazarlo verticalmente sobre el riel sin la posibilidad de que pueda trabarse en ninguna de sus posiciones.

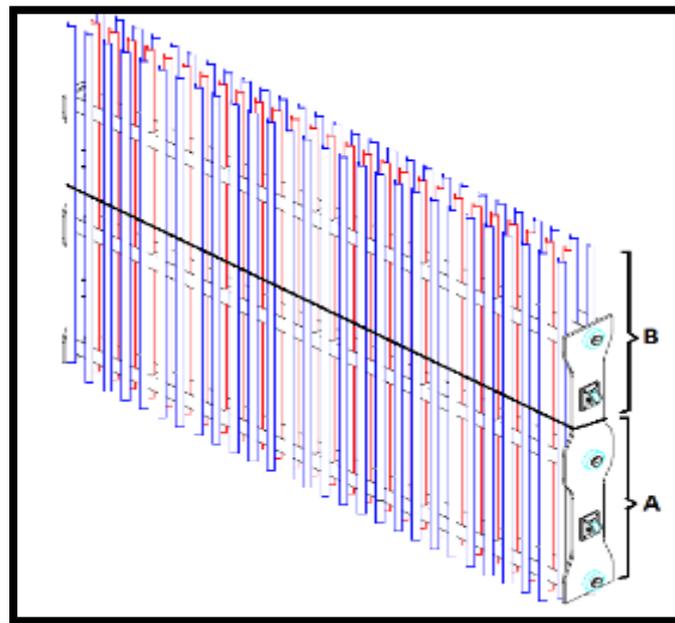


Figura n.º 3-38. Partes de despiece de disipador

Fuente : Elaboración propia

- La instalación debe realizarse según lo establecido en el plano de montaje general.
- Preparar las juntas de soldadura, tanto de las planchas laterales de 1” como de los ángulos verticales de 3/8” x 2 1/2”, según lo establecido en el plano de detalle soldadura de unión”, lo cual indica lo siguiente:

UNION SOLDADA	PLANCHA 1”	ANGULO 2 1/2” x3/8”
Tipo de junta	V	V
Angulo de bisel	60°	60°
Tamaño de talón	3mm	1mm
Separación de ranura	2mm	2mm

- Colocar la parte A del disipador en el interior del riel. Para ejecutar esta operación utilizaremos un camión grúa de 15 tn.
- La parte A del disipador será suspendida mediante un tope de plancha metálica soldado al riel del disipador. Se deberán armar una torre de andamio para alcanzar la altura de la viga y poder colocar y/o retirar los tecles de maniobra.
- La parte B debe ser colocada sobre la parte A. Para ejecutar esta operación utilizaremos un camión grúa. La parte B debe ser asegurada con los tecles de maniobra, a partir de esto se podrá iniciar el armado del disipador. El alineamiento principal será el de las planchas laterales de 1”, debido a que de estas depende que las ruedas guías de deslizamiento se encuentren alineadas y el disipador pueda operar de manera funcional.

- Apuntalar las planchas laterales de 1" y aplicar cordones pequeños de 2" a 3" de largo e intermitentes para asegurar la unión de las partes A y B.
- Alinear los ángulos verticales de 2 ½" x 3/8", para lo cual se debe utilizar grifas y barretas. La fijación de los ángulos se realizará mediante proceso SMAW con E-7018, inicialmente se realizará solo en apuntalado de los estos, hasta haber alineado la totalidad de los mismos.
- El proceso de soldadura se realizará de manera intermitente y de extremo a extremo hacia el centro de la estructura, para evitar la deformación de la estructura. El electrodo a usar será E-7018 y debe ser precalentado en un horno para electrodo, garantizar la calidad del cordón de soldadura.

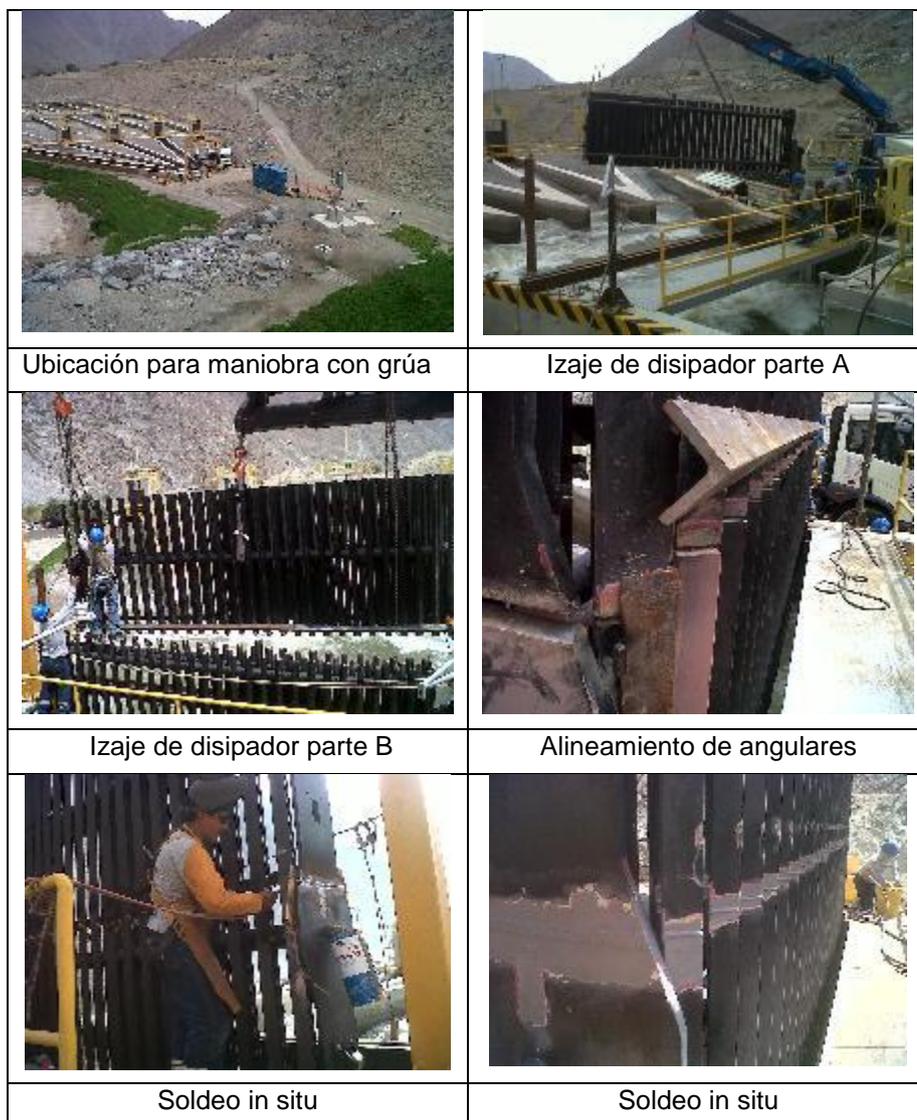


Figura n.º 3-39. Secuencia de proceso de montaje de disipador

Fuente : Elaboración propia

Inspección de soldadura

Existen varios de ensayo tipos que permiten la inspección de soldadura para determinar la calidad. En este proyecto se realizará (NDT) las pruebas de tintes penetrantes.

Este método consiste en aplicar líquidos sobre la superficie a inspeccionar el cual, después de un tiempo determinado reaccionará detectando las discontinuidades (grietas, rechupes, poros, laminaciones) superficiales en la soldadura realizada.



Figura n.º 3-40. Proceso de inspección de soldadura con NDT

Fuente : Elaboración propia

Resane y tratamiento



Figura n.º 3-41. Resane de zona dañada y tratamiento de superficie

Fuente : Elaboración propia

3.5.7 Pruebas

Se realizarán pruebas efectivas del disipador de energía, siguiendo una secuencia específica, detallada en el cuadro de seguimiento de pruebas.

Las pruebas se realizarán con dos teclas de 5 toneladas (Stahl) eléctricas que son actuadas por medios de mando eléctrico, desde su tablero de mando, se realizarán las pruebas en vacío y con carga, siguiendo la siguiente secuencia:

Protocolo de pruebas preliminares.

- **Pruebas winches en vacío**

Verificaciones de cableado y conexionado

Se verificó el comisionado de los winches Lado A y Lado B, revisando la respuesta de los mandos del tablero de control:

- ✓ Prueba de lámparas
- ✓ Panel Energizado
- ✓ Izaje de Reja
- ✓ Descenso de Reja
- ✓ Parada de Emergencia

Estado: Conforme

Medición de altura ganchos en posición superior y sincronización de fin de carrera

Se realizaron las pruebas de los equipos considerando una posición superior y el descenso de los ganchos para verificar sincronización:

Número Prueba	Tiempo del Recorrido	Polipasto A Punto Inicio	Polipasto A Punto Final	Polipasto B Punto Inicio	Polipasto B Punto Final
1re S/C	1'12"95	200mm	1215mm	200mm	1214mm
2da S/C	1'00"23	200mm	1180mm	200mm	1180mm
3re C/C		914mm	1442mm	914mm	1442mm

Estado: Conforme

Medición de tensión y corriente de arranque y marcha

$T_s = 217 - 223V$ $T_b = 219 - 223V$

EN ARRANQUE

subida	Ir	7.3 Apm	Bajada	Ir	7.7 Amp
	Is	7.9 Amp		Is	7.9 Amp
	It	7.7 Amp		It	7.8 Amp

EN MARCHA

subida	lr	7.8 Apm	Bajada	lr	7.7 Amp
	ls	7.8 Amp		ls	7.8 Amp
	lt	7.4 Amp		lt	7.9 Amp

- **Pruebas winches con carga**

Medición de corriente de arranque y marcha

EN ARRANQUE

subida	lr	7.8 Apm	Bajada	lr	7.7 Amp
	ls	7.9 Amp		ls	7.7 Amp
	lt	7.7 Amp		lt	7.8 Amp

EN MARCHA

subida	lr	7.9 Amp	Bajada	lr	7.9 Amp
	ls	7.9 Amp		ls	7.9 Amp
	lt	7.8 Amp		lt	7.9 Amp

Descender 0.50 m, control de frenado (verificar que no haya deslizamiento controlando alturas)

Se realizan pruebas sin carga y con carga para verificar el control de frenado

Estado: Conforme

- **Pruebas de disipador sin carga**

1. Verificar nivelación de la viga del pórtico. Caso contrario alinear

Se corrige la desviación de la Viga Pórtico con un error de 11mm en el Lado A

Estado: Conforme

2. Verificar flexión de la viga por peso propio, sin carga

Flexión de la viga por peso propio 1.50mm

Estado: Conforme

3. Verificar flexión de la viga con carga del 100%

Flexión: 7.50mm

Estado: Conforme

- **Pruebas de disipador con carga**

Mediciones con 40, 42 y 50 m³/s, en los tres casos la inmersión será gradual cada 0.50 m aproximadamente, cada 10 min para cada etapa medir y registrar el nivel de aguas arriba y aguas abajo.

Con caudal de 42 m³/s, verificar la de flexión de la viga del pórtico, consideren como máxima flexión permisible de 11.4mm. Según Norma Básica de la Edificación "NBE-EA- 95

Por tanto Luz de Viga 5700mm / 500 = 11.40mm

Nota. 1: no realizar incremento de caudal con disipador sumergido

Nota 2: Aguas arriba el nivel en ningún caso llegara a rebosar, aún por el oleaje, en dicho caso, para la prueba.

Nota 3: Recordar que el diseño es para 42 m³/s y con disipador completamente sumergido, en esa condición el nivel de agua de ningún modo debe rebosar, si hay riesgo de rebose, elevar el disipador ligeramente para controlar y ese sería el nivel al que tenemos que ajustar Las pruebas solo se realizaron con 42m³/s

Las pruebas preliminares de verificación de desplazamiento se han realizado en el ingreso al Desarenador de la presa Capillucas.

Las condiciones iniciales:

Nivel de Presa	=	1532.9 msnm
Potencia Central Hidroeléctrica	=	220 MW
Caudal turbando	=	40 m ³ /s
Caudal ecológico	=	2 m ³ /s
Total caudal ingreso estimado en bocatoma	=	42 m ³ /s
Nivel de Solera del Canal de Enlace	=	1526.00 msnm
Nivel de rebose del canal de enlace	=	1530.50 msnm
Nivel de agua en el canal de enlace	=	1529.72 msnm (sin disipador de energía)
Altura del Disipador de energía	=	3.96 m

Tabla n.º 3-5. Pruebas de instalación de disipador con máxima carga

PRUEBAS DE INSTALACION DE DISIPADOR CON MAXIMA CARGA											
HORA	Altura de Inmersión Disipador	LECTURA SENSOR NIVEL CANAL DE ENLACE		LECTURA CON WINCHA NIVEL CANAL DE ENLACE		POTENCIA UG'S	Nv. Embalse	Nv. Cámara de Carga	Caudal Ecológico	Apertura Comp. Boc. #01	Caudal Regulado Bocatoma
	m	Mínimo (msnm)	Máximo (msnm)	Antes del Disipador (msnm)	Después del Disipador (msnm)	MW	msnm	msnm	m3/s	cm	m3/s
20:00	0.00	1529.69	1529.72	1529.38	1529.38	220 MW	1533.11	1527.11	2	270	42
20:15	1.00	1529.79	1529.80	1529.55	1529.54	220 MW	1532.89	1527.12	2	270	42
20:25	1.50	1529.95	1529.96	1529.68	1529.40	220 MW	1532.77	1527.12	2	278	42
20:35	2.00	1530.14	1530.15	1529.98	1529.43	220 MW	1532.68	1527.09	2	285	42
20:50	2.50	1530.67	1530.68	1530.22	1529.45	220 MW	1532.44	1527.09	2	304	42
21:00	3.00	1530.73	1530.72	1530.55	1529.59	220 MW	1532.43	1527.09	2	315	42

Fuente: *Elaboración propia*

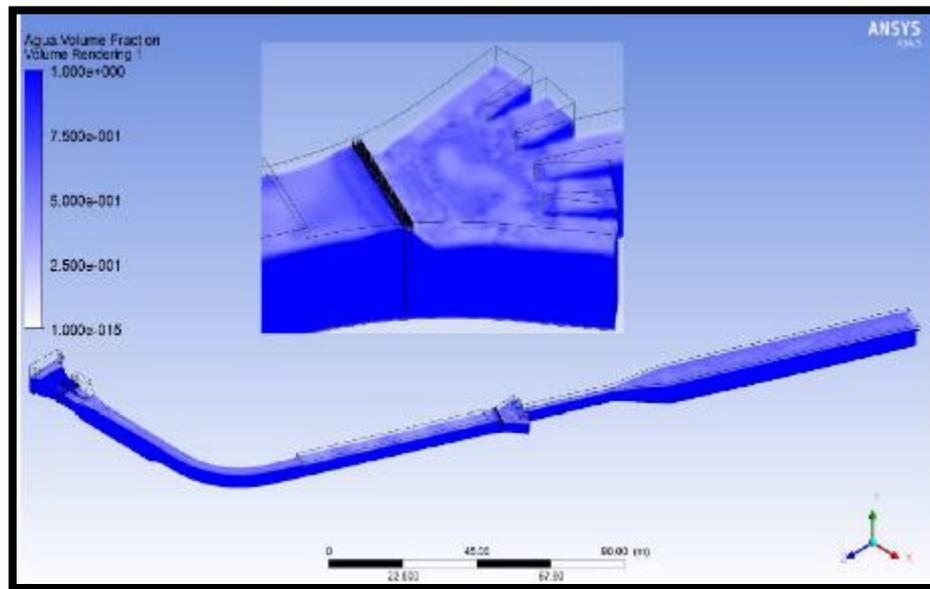


Figura n.º 3-42. Resultados de prueba preliminar de disipador con software Ansys 15

Fuente: *Área de diseño e ingeniería Dimperu*

Al introducir el Disipador 2 metros se obtiene la mejor disminución de energía para la condición de uso en la presente prueba.



Figura n.º 3-43. Prueba preliminar de inmersión de dissipador

Fuente: elaboración propia

Prueba final de dissipador

Caudal:	42m ³ /s	Nivel de Presa:	1540.00
Compuerta 1:	2.75	Compuerta 2:	0.00
Cámara Carga:	1535.60	Numero Prueba:	02

ITEM	DESCRIPCIÓN	TIEMPO (MIN)	BAJADA (MTS) *	NIVEL AGUAS ARRIBA **	NIVEL AGUAS ABAJO **
01	POS. REPOSO	0min	0.0Mts	0.94	0.91
02	DESCENSO 01	10min	0.50Mts	0.87	0.92
03	DESCENSO 02	20min	1.00Mts	0.79	0.96
04	DESCENSO 03	30min	1.50Mts	0.72	0.97
05	DESCENSO 04	40min	2.00Mts	0.63	1.08
06	DESCENSO 05	50min	2.50Mts	0.41	1.03
07	DESCENSO 06	60min	2.75Mts	0.32	1.00
08	DESCENSO 07	70min	3.00Mts	0.24	0.96

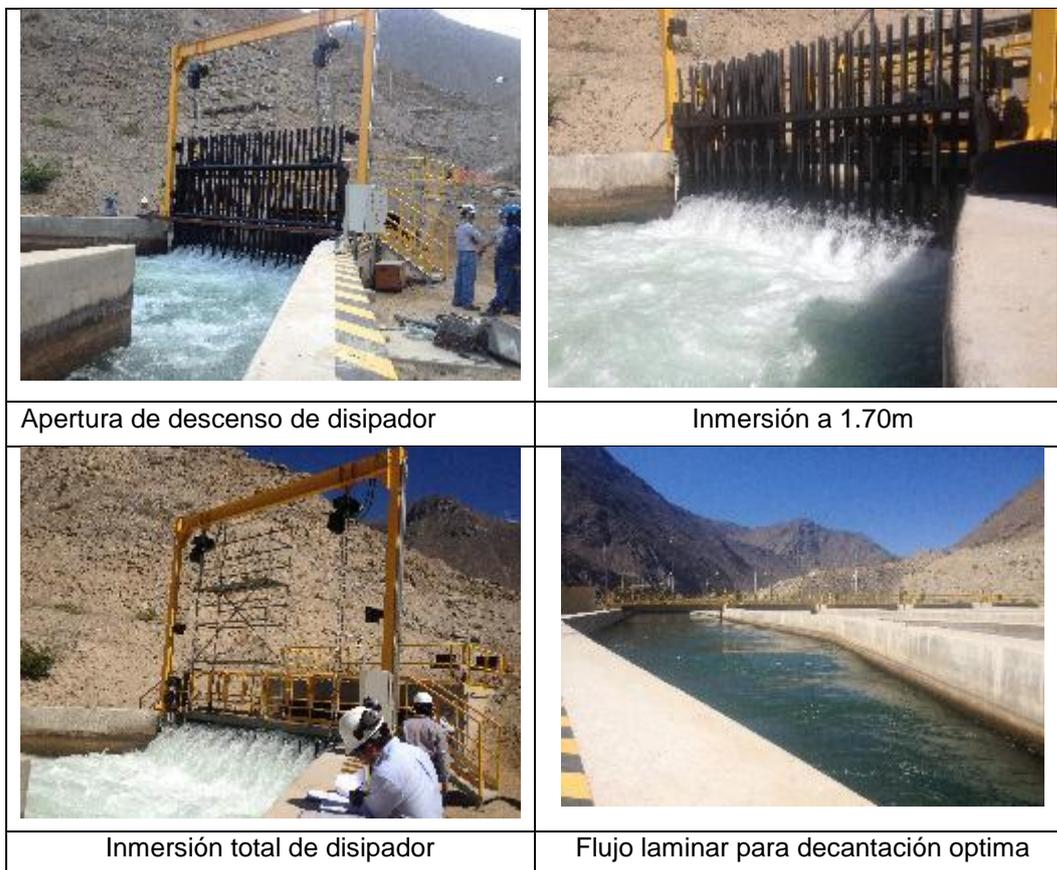
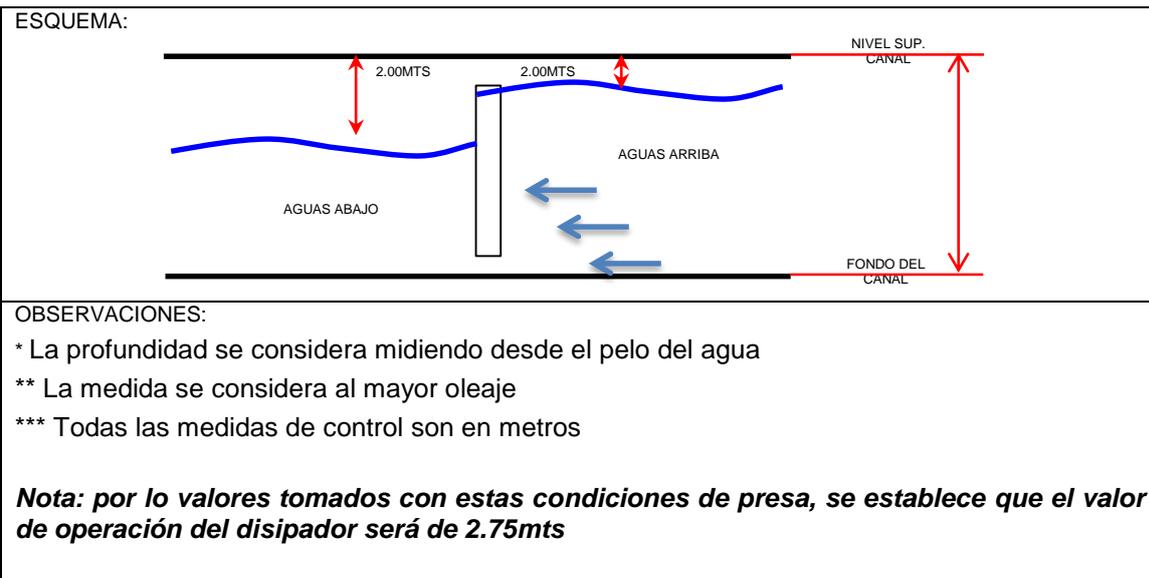


Figura n.º 3-44. Pruebas en campo de disipador

Fuente : Elaboración propia

3.5.8 Dosier

Concluido el montaje, pruebas, se presenta al inspector y toda el área de operaciones por parte del cliente un dosier certificado de calidad a la fecha de terminación de la obra, así

como el cumplimiento de las especificaciones técnicas según el contrato con actas de entrega y recepción.

El certificado será recibido por los propietarios o representantes, encargados y firmara en respuesta a la recepción a la aceptación de lo elaborado.

Calibración de holguras dissipador- Presa Capillucas

Las acciones a tomar para solucionar el contacto existente al momento del izaje entre el dissipador y las guías fijas laterales, y permitirán el óptimo izaje se explica mediante el siguiente diagrama:

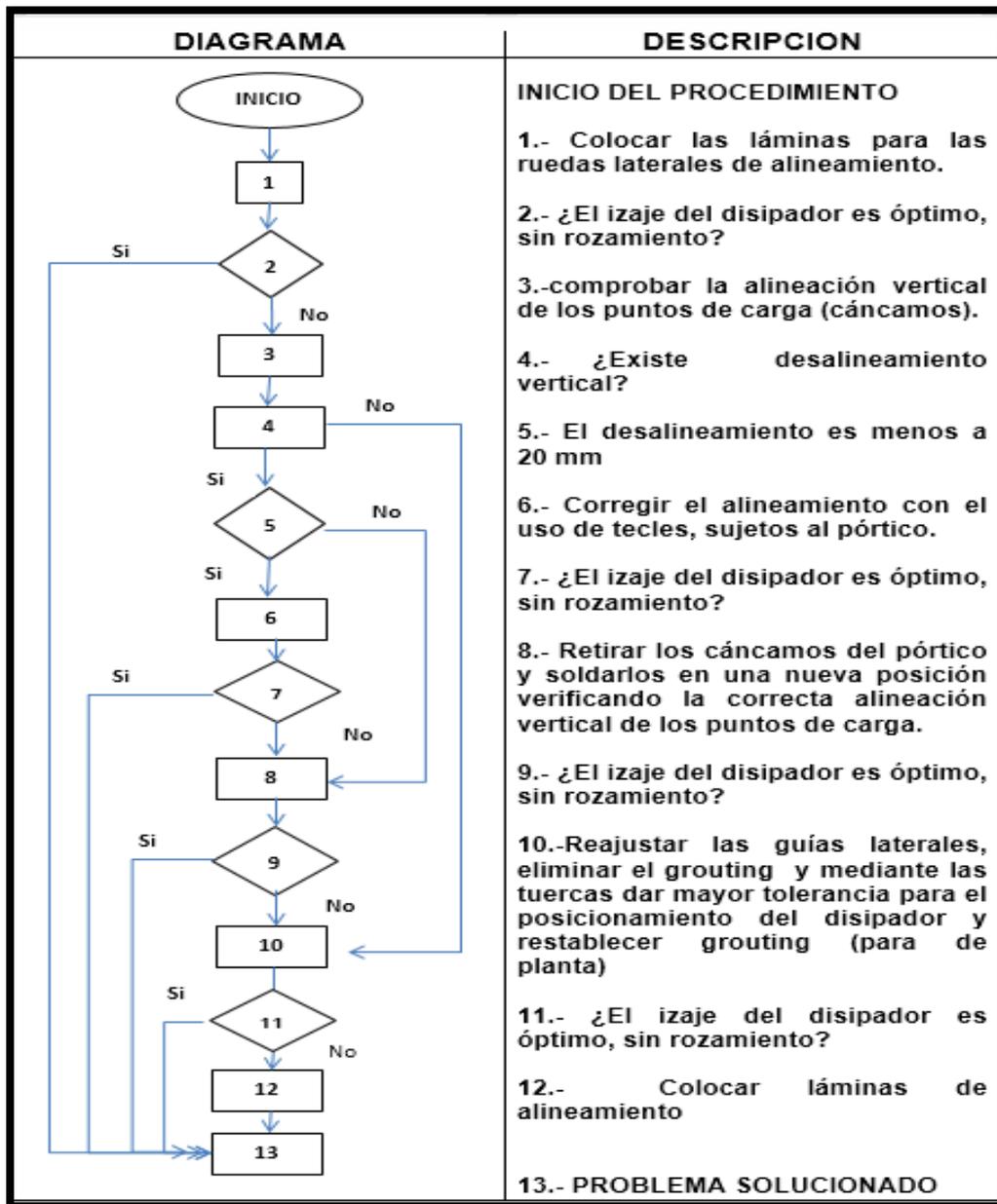


Figura n.º 3-45. Diagrama de metodo de calibración

Fuente : Elaboración propia

4 RESULTADOS

Mediante la implementación del Disipador de energía hidráulica que se realizó en la entrada del desarenador de central hidroeléctrica el Platanal en Cañete, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 Simulación beneficiosa mediante el software previo a la fabricación del disipador.

El modelo simulado en software de ingeniería e implementado cumple con el objetivo trazado en la problemática. Logrando así, la reducción la averías en las operaciones como también minimizando de costos en mantenimiento de la planta, y así cumpliendo con la satisfacción del cliente.

Según los objetivos específicos se detalla a continuación los resultados.

- Se demostró que el diseño del disipador constituido con estructuras metálicas, simulado con software de ingeniería, cumple con el objetivo reduciendo el exceso de velocidad el cual ocasiona turbulencia y oleaje.

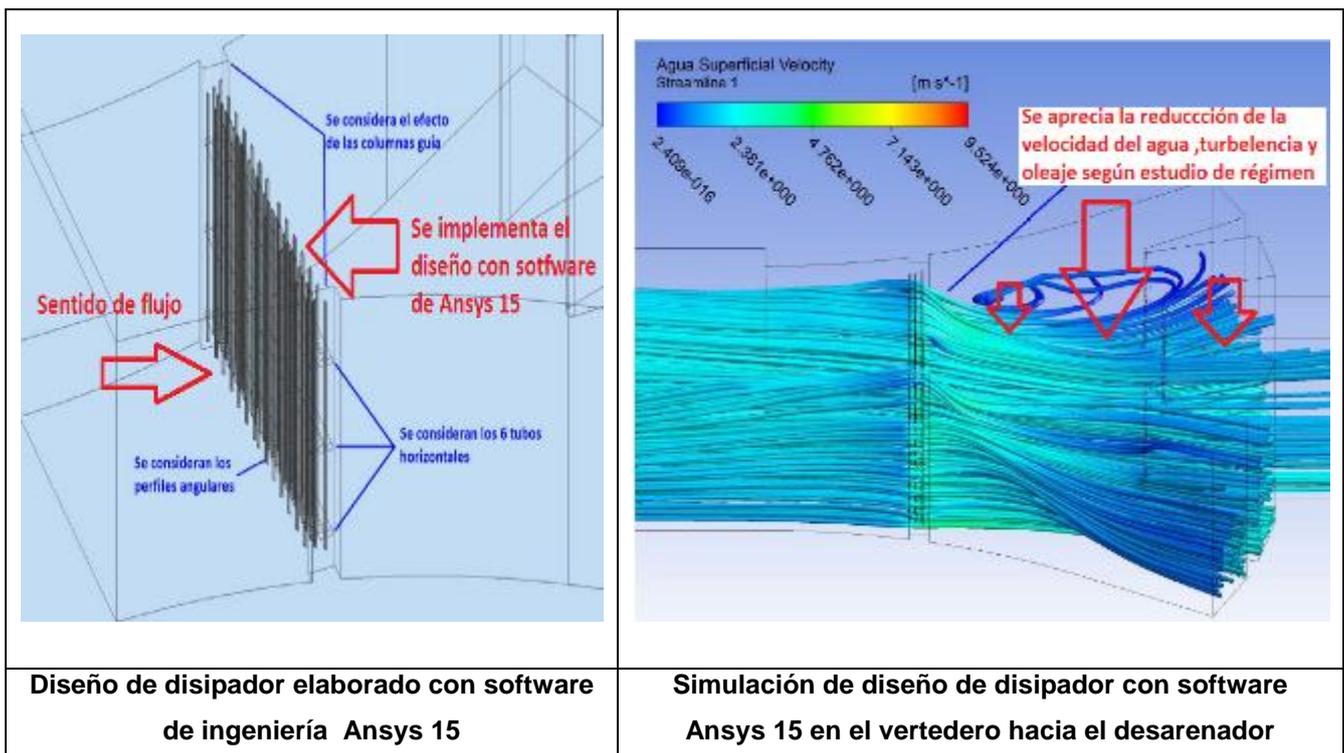


Figura n.º 4-1. Resultado de simulación del diseño de Disipador con software de ingeniería.

Fuente : Elaboración propia

- Mediante el uso de software de ingeniería se demostró, según las especificaciones técnicas sobre los límites de los esfuerzos permisibles dictada por las normas estándares, Ansi y Asme que el diseño de los rieles laterales del Disipador, cumple con la función diseñada. De igual manera el pórtico de contención, como también la pasarela de operaciones del disipador cumple con la memoria de cálculos.

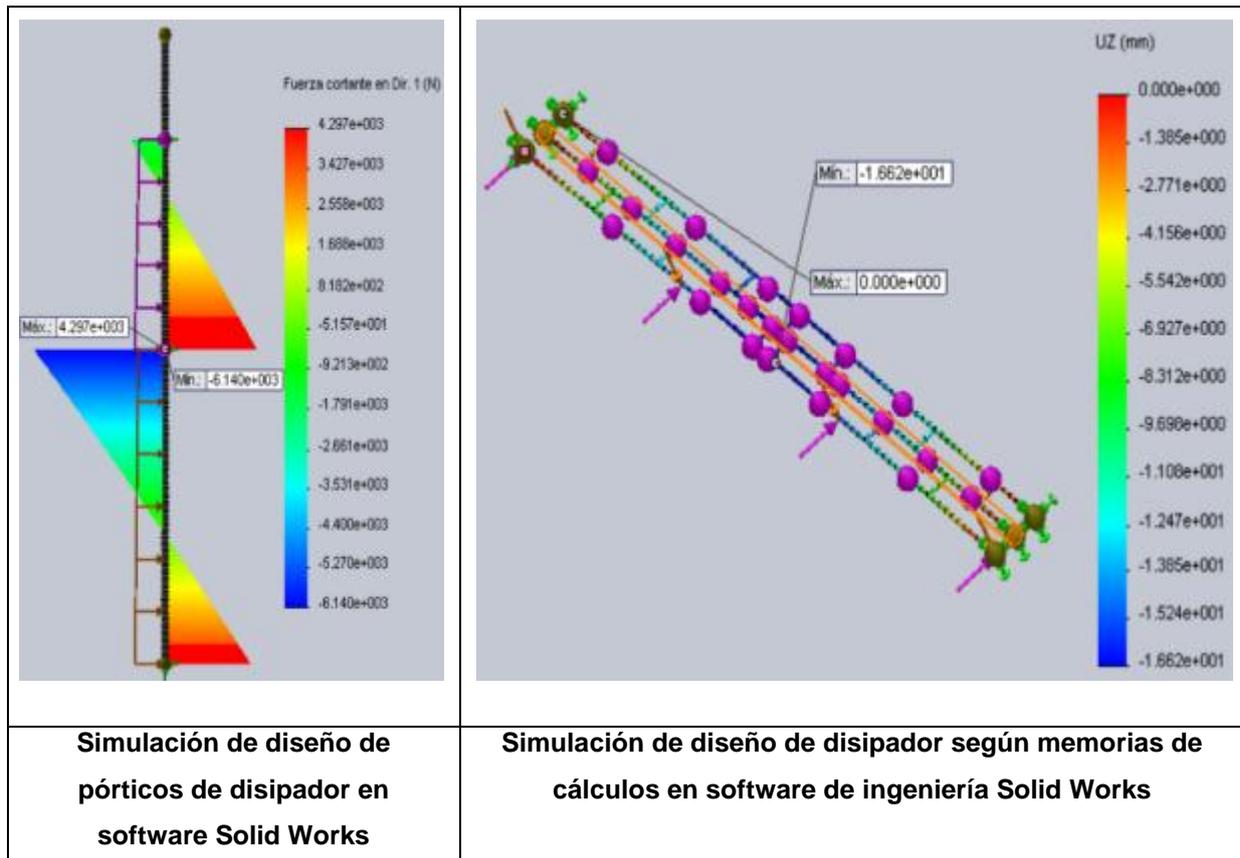


Figura n.º 4-2. Simulación de memoria de cálculos del diseño de estructuras de Disipador

Fuente : Área de diseño e ingeniería

4.2 Fabricación del disipador con estándares internacionales

- Luego de comprobar las simulaciones correspondientes según el estudio del régimen hidráulico se realizó el proceso de fabricación llevando un control estricto de los subprocesos como también cumpliendo los tiempos según el cronograma de la implementación del disipador.
- ✓ ANSI = American National Standards Institute; miembro de la Organización Internacional para la Estandarización.
- ✓ ASME = American Society of Mechanical Engineers: Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, dicta las normas y especificaciones referentes a esta rama de la ingeniería, así como la industrial.

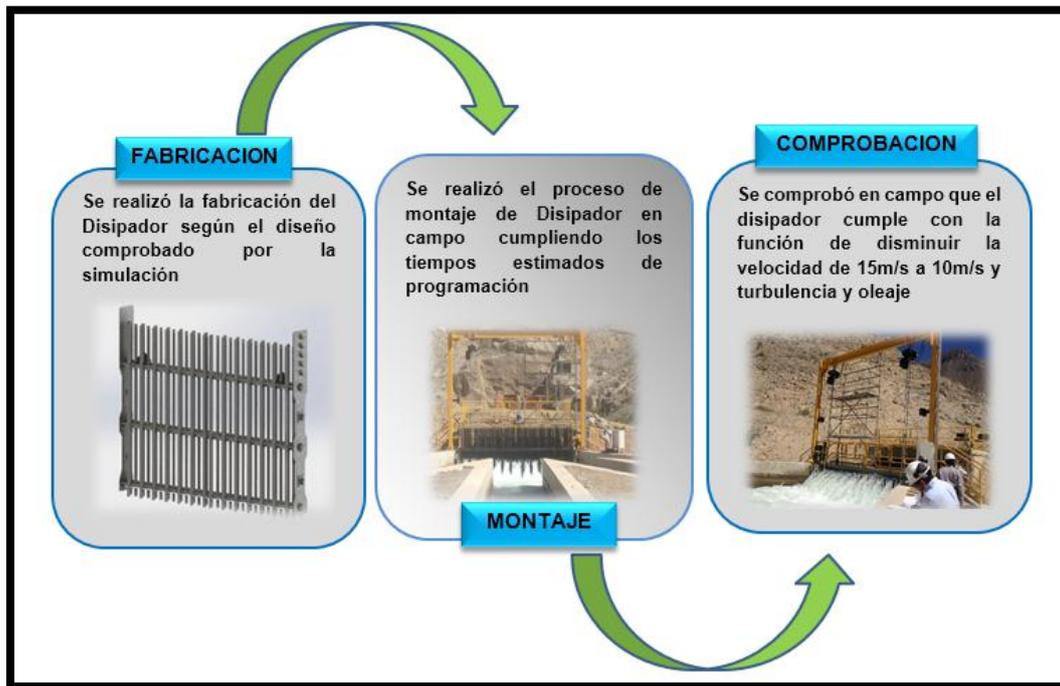


Figura n.º 4-3. Implementación del Disipador en la entrada del desarenador Presa Capillucas

Fuente : Elaboración propia

4.3 Monitoreo exitoso del funcionamiento del disipador.

- Se realizó el monitoreo con el indicador velocímetro la variable velocidad, una vez implementada el Disipador, en la cual se comprobó que se produjo la disminución energía (velocidad de agua) pasando del flujo crítico a flujo laminar de 15m/s a 10m/s.

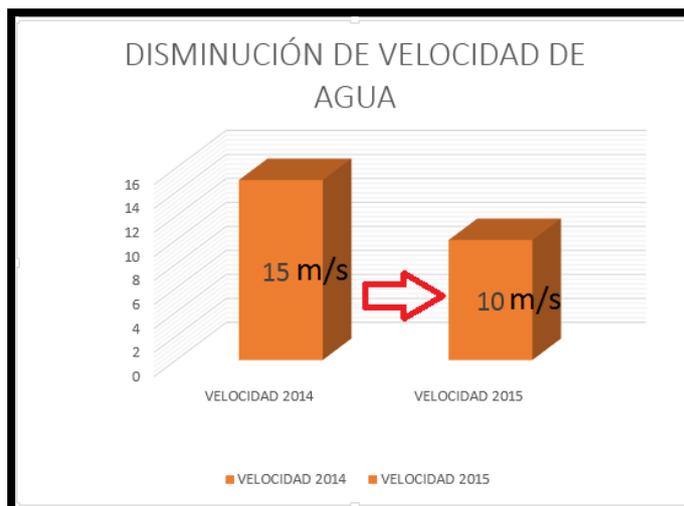


Figura n.º 4-4. Comparación de velocidad de ingreso de agua al desarenador del año 2014 y 2015

Fuente : Elaboración propia

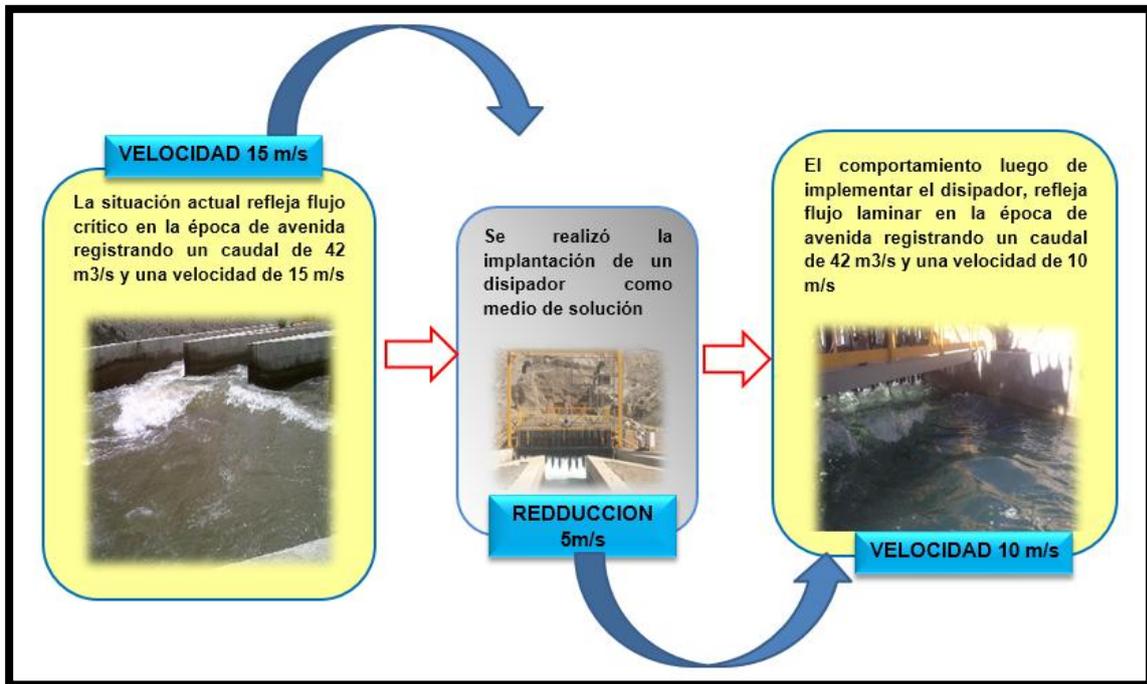


Figura n.º 4-5. Monitoreo de velocidad crítica a laminar.

Fuente : Elaboración propia

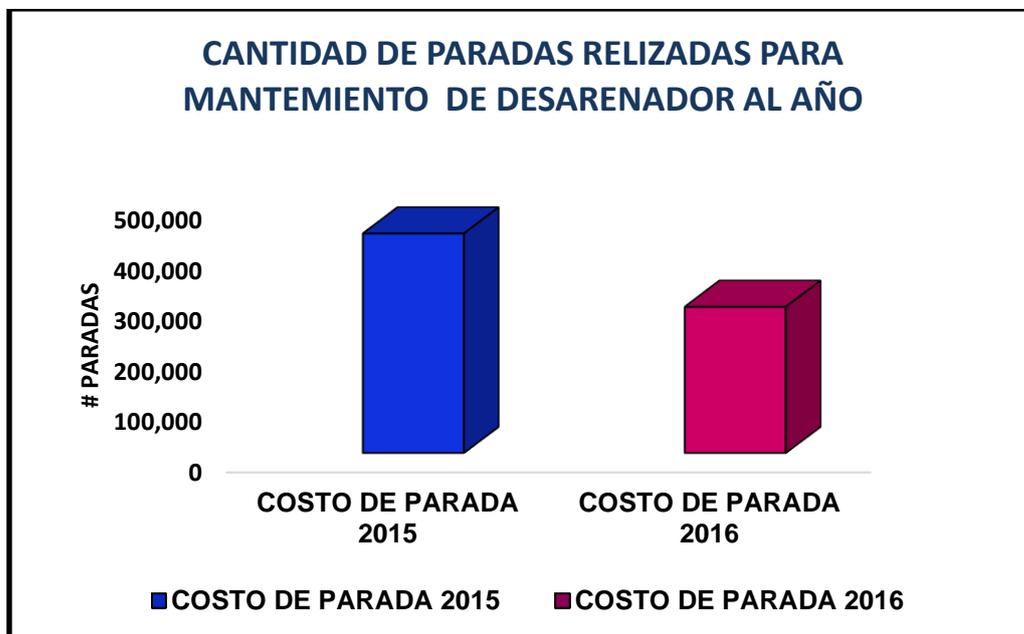


Figura n.º 4-6. Comparación de cantidad de paradas de planta por mantenimiento de desarenador del año 2014 y 2015.

Fuente : Elaboración propia

- se observó que el nivel aguas arriba del disipador se incrementó ligeramente y aguas abajo descendió en mayor grado como se predijo en el resultado del estudio.
- Luego de la inmersión del disipador los flujos críticos en las naves del desarenador cambian su condición a flujo laminar.
- Luego de la inmersión del disipador total se observa una retención de 3m/s en referencia a la cota de nivel de agua en las condiciones de 42 m³/s la altura de inmersión es de 2.75m del disipador.

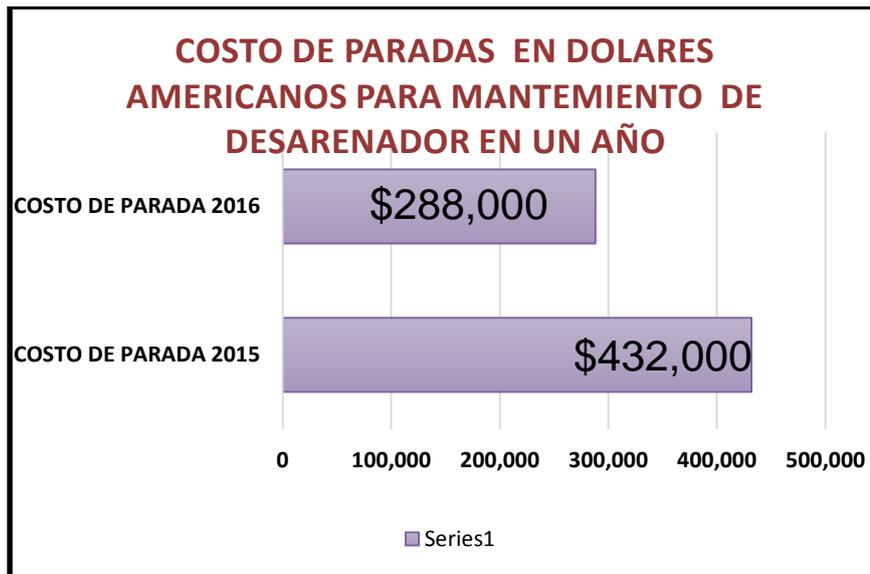


Figura n.º 4-7. Comparación del año 2015 y 2016 de costo de mantenimiento de paradas al año

Fuente : Elaboración propia

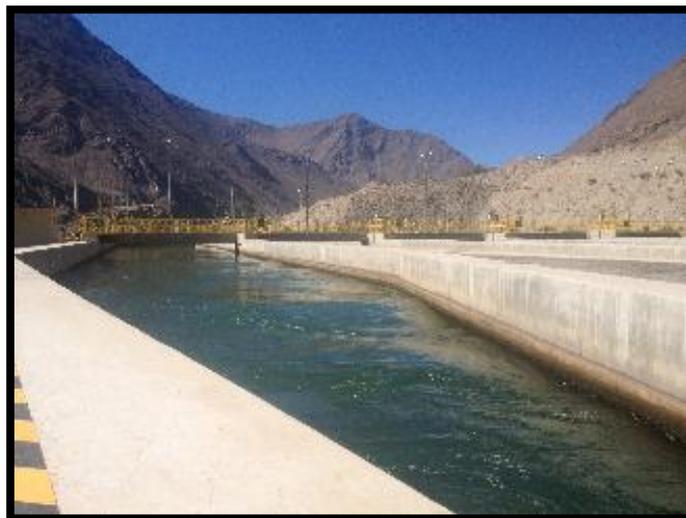


Figura n.º 4-8. Imagen flujo laminar óptimo para decantación de sólidos en el desarenador

Fuente : Elaboración propia

5 DISCUSIÓN

Tomando los resultados obtenidos con las pruebas en campo; podemos determinar que para el problema expresado en el capítulo 03, la alternativa de solución según los estudios del régimen hidráulico fue la implementación de un disipador de energía hidráulica en la entrada del desarenador para erradicar parcialmente el exceso de velocidad que causa turbulencia y oleaje de la Presa Capillucas de la Hidroeléctrica el Platanal, cumpliendo así los objetivos mencionados en el capítulo 02.

RESULTADO	BENEFICIO	OBJETIVO ALCANZADO
Según el estudio del régimen hidráulico el resultado de la simulación del disipador con software de ingeniería tuvo éxito.	Obteniendo el resultado de la estructura ideal se pudo obtener como beneficio la reducción de la fuerza de agua de 15m/s a 10m/s	El porcentaje del objetivo alcanzado se cumple en 100%
La fabricación de las estructuras del disipador se realizó en el tiempo estimado, siguiendo los procesos de fabricación y estándares internacionales de calidad.	La implementación del disipador con estructuras metálicas fueron óptimos adecuándose a las variables y factores en el campo	Los procesos de fabricación y montaje del disipador en el punto fueron exitosos, los cuales reflejan un 100% de cumplimiento.
Según el monitoreo del comportamiento del flujo de agua en campo, después de instalar el disipador, se registró la disminución considerable de la fuerza del flujo de agua.	Con la reducción de exceso de velocidad, se obtuvo la decantación óptima de los sólidos en suspensión, el cual se refleja en el ahorro del costo por mantenimiento del desarenador de \$24'000.00 dólares en maquinaria pesada y \$144'000.00 dólares por planta fuera de servicio.	El porcentaje alcanzado de la disipación de energía hidráulica se refleja en 100%

Pago a contratista externos por maquinarias para mantenimiento al año

Para realizar el mantenimiento de los desarenadores, la empresa Celepsa subcontrata 02 maquinarias pesadas (retroexcavadoras) por cada parada de planta, los cuales trabajan en una jornada de 48 horas. Es decir que en los tres periodos de mantenimiento al año se invierte en dicha maquina una suma total según se muestra en la tabla a continuación.

Tabla n.º 5-1. Costo de maquinaria pesada externa para mantenimiento de desarenador

COSTO DE MAQUINARIA PESADA EXTERNO PARA MANTENIMIENTO					
Numero de parada al año	Costo por hora \$	Cantidad de horas	Cantidad de maquinaria	Costo por parada en \$	Costo total en maquinaria al año
Periodo 01	\$250.00	48.0	2.0	\$24,000.00	\$72,000.00
Periodo 02	\$250.00	48.0	2.0	\$24,000.00	
Periodo 03	\$250.00	48.0	2.0	\$24,000.00	

Fuente : *Elaboración propia*

Costo por parada de planta para mantenimiento de desarenadores al año

Para realizar el mantenimiento de los desarenadores por saturación el canal de purga se viene ejecutando 03 veces al año. Dicho mantenimiento deja la planta fuera de servicio de 48 horas en cada periodo el cual se refleja en pérdida en valor monetario de:

Tabla n.º 5-2, costo de mantenimiento del desarenador al año

COSTO DE MANTENIMIENTO DE DESARENADORES AL AÑO			
Numero de parada al año	Horas de parada	Costo por parada en \$	Costo total de paradas al año
Periodo 01	48.0	\$ 144,000	\$ 432,000.00
Periodo 02	48.0	\$ 144,000	
Periodo 03	48.0	\$ 144,000	

Fuente : *Elaboración propia*

Ahorro obtenido por reducción de manteamiento en un periodo (01 periodo)

Con la implementación de energía se ha reducido a 02 periodos de paradas de planta al año la cual se ve reflejado en un ahorro por año de:

\$ 168'000.00	DÓLARES
----------------------	----------------

Proyección de ahorro en costos de manteniendo de la central hidroeléctrica El platanal

Podemos determinar según las proyecciones en un periodo de 10 años de operaciones el ahorro en costo de mantenimiento reflejado en dólares americanos de:

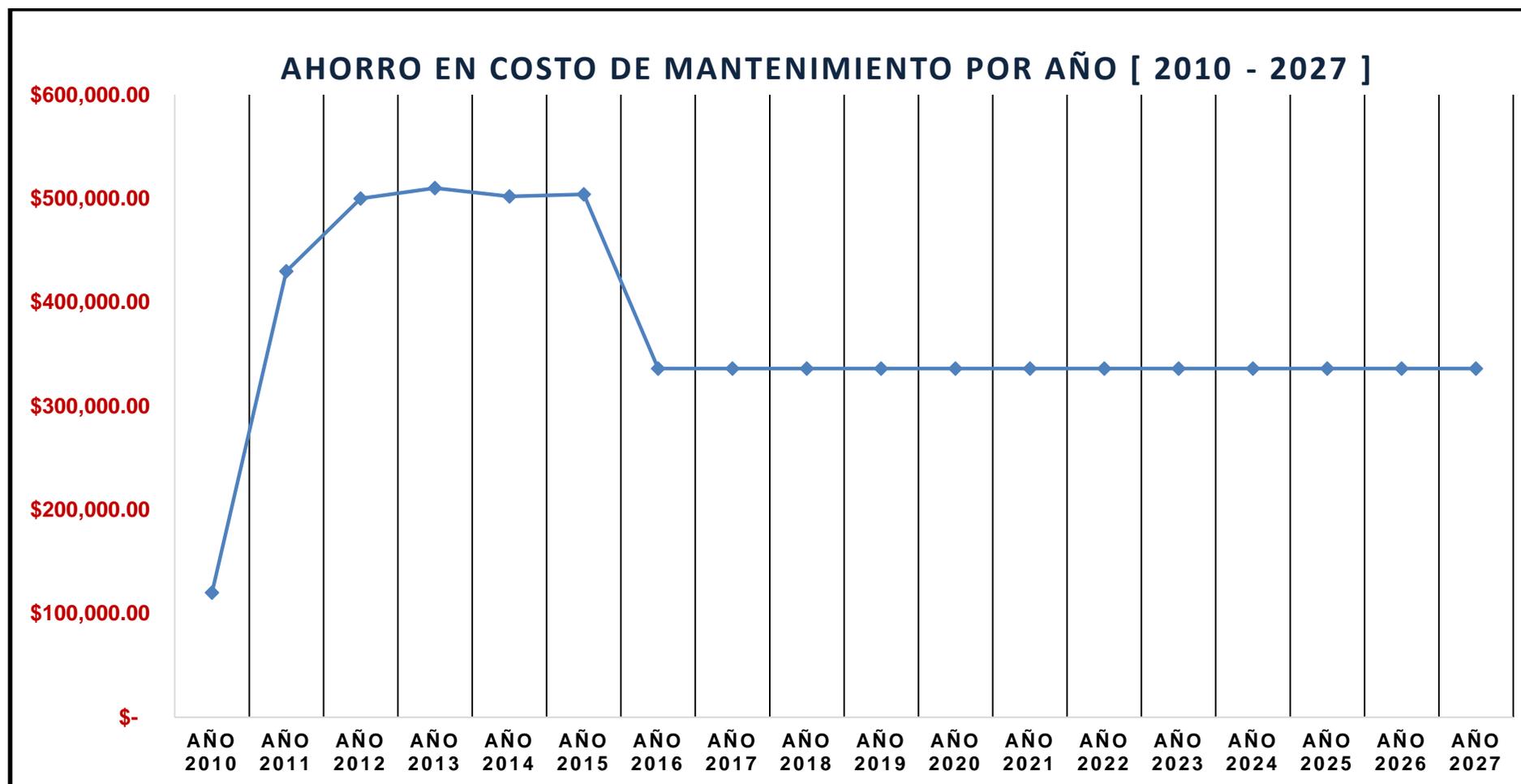


Figura n.º 5-1. Ahorro proyectado en costos de mantenimiento de 2010 al 2027

Fuente : Elaboración propia

EVOLUCIÓN COSTO DE MANTENIMIENTO DEL AÑO 2010 AL 2027 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL PLATANAL - CELEPSA

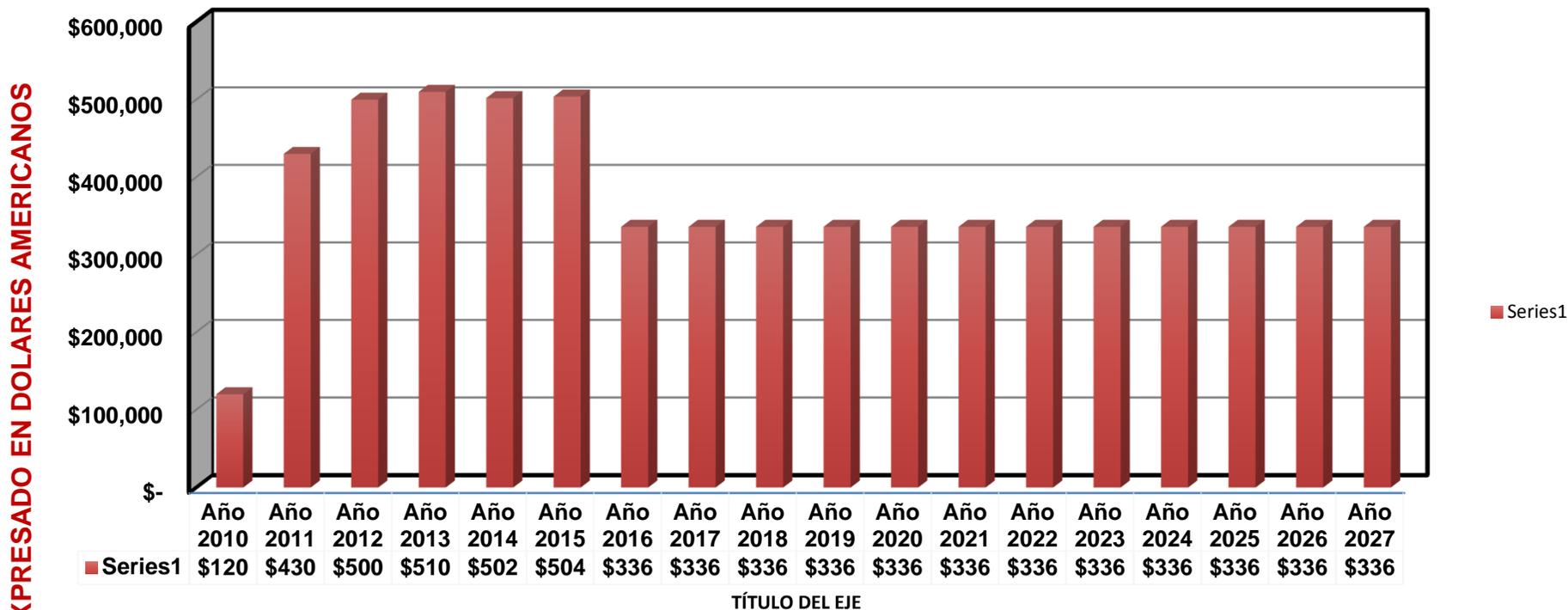


Figura n.º 5-2. Proyección detallada de ahorro en costos de mantenimiento por año desde inicio de operaciones [2010 – 2027]

Fuente : *Elaboración propia*

CONCLUSIONES

- Podemos concluir mencionando que el diseño elaborado con software de ingeniería, según el estudio del régimen hidráulico fue crucial para llevar a cabo una simulación exitosa el cual nos permitió evitar gastos innecesarios de operación real en la central Hidroeléctrica El Platanal. Cabe recalcar la asistencia del software de ingeniería aplicada en este proyecto, cumplió un rol muy importante para proyectar los diagnósticos de las expectativas deseadas, en un mínimo tiempo, optimizando recursos económicos.
- Según nuestro objetivo establecido, el proceso de la fabricación y montaje del disipador se realizó de manera satisfactoria, cumpliendo con las normas y estándares internacionales, así como la mano de obra calificada el cual garantizó el buen funcionamiento en campo de acuerdo al comportamiento de las variables como la velocidad del flujo en campo, permitiendo reducir la velocidad supercrítica al flujo laminar. La disminución (retiro) de los perfiles angulares en el disipador no limita su capacidad para lograr los objetivos propuestos, es decir, se disminuye la turbulencia, oleaje y la velocidad del agua en su ingreso a los desarenadores.
- La construcción e instalación del disipador, con la determinación de las causas del problema usando la herramienta de Ishikawa, permitió identificar las variables para realizar el monitoreo, donde se demuestra la correcta solución que consistía, optimizar el proceso de sedimentación de los sólidos en la Central hidroeléctrica El Platanal. Es decir la configuración del disipador cubrió las expectativas esperadas, disipando de la energía en 30%, según el monitoreo después de su instalación en el punto, optimizando así la decantación de los sólidos en suspensión en el desarenador y evitando los gastos por el mantenimiento, como también reduciendo las averías en las operaciones de la planta, llegando así a cumplir con nuestro cliente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para cualquier proyecto similar al tratado en este informe, desarrollar un análisis profundo de las variables que interactúan, para desarrollar el detalle estructural óptimo. También es necesario contar con profesionales con vasta experiencia en el uso de las herramientas de ingeniería con tecnología de punta como el Ansys y Solid Works presentado en este trabajo, para llevar a cabo la simulación correcta, justificada por todo lo anterior mencionado en el presente informe, el cual recomienda utilizar una sumersión de 2.75m a fin de obtener el mejor resultado de flujo laminar en las naves del desarenador.
- El proceso de la fabricación y montaje de estructuras de este tipo se debe de llevar a cabo con los estándares de calidad más altos, siguiendo la norma. Dentro de la fabricación del Disipador ningún elemento tiene menor importancia que otro. Cada miembro desempeña un esfuerzo o tarea específica y con eso se logra el funcionamiento adecuado de toda la estructura, para reducir la velocidad del flujo. Cabe recalcar que esta estructura puede ser mejorada de manera que su alcance y eficiencia sea mayor aun.
- Según el monitoreo, para obtener los mejores resultados de sedimentación así como la obtención de los flujos laminares en las naves, es recomendable que en la operación de la planta se ajusten los valores de inmersión para cada flujo, los mismos que se muestran en el presente informe. Cabe resaltar que la ingeniería civil no es una rama aislada a este tratado, forma parte del complemento para la mejora del funcionamiento eficientemente de los mecanismos tal como es el caso de un disipador, con infraestructura civil. Es por ello que se recomienda para los proyectos a futuro, considerar la inclusión de algún tipo de disipador para la disminución de la energía del agua en canales o vertederos.
- Como parte de nuestro aporte basado en la experiencia, para el proceso del tratamiento de superficie se recomienda, aplicar el recubrimiento con pistolas Graco y optar por la norma SSPC-SP-5 (preparación de superficie o limpieza con chorro de abrasivo conocido como granallado o arenado - Grado Metal Blanco) con la finalidad de obtener una superficie libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación restos de pintura. Dado que las condiciones donde trabajará, son extremadamente severas por la inmersión del disipador dentro del agua.

REFERENCIAS

- Abril, J. (S.F.). Disipadores de energía. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Anónimo. (S.F.). Desarenadores.
- Anónimo. (S.F.). Unidad Simulación. Obtenido de Definición de simulación : <http://Simulacionis.es.tl/definici%3n-e-importancia-simulaci%3n-en-ingenier%cda-.htm>
- Condón, H. (2013). Propuesta de la instalación de disipadores de energía para proteger las bases de los puentes. Guatemala: Tesis.
- Dassault Systèmes SolidWorks Corp. (Diciembre de 1993). Obtenido de http://www.solidworks.es/sw/183_ESN_HTML.htm
- Esparrow, E. (2008). Estructuras hidráulicas. Nuevo Chimbote: UNS.
- Fernández, D., Martínez, M., & García, H. (S.F.). Disipadores de energía. Sagarpa, 2.
- Fluid Dynamics. (2011). Obtenido de Computational Fluid Dynamics (CFD) Software: <http://resource.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics>
- Francor, C. (26 de Octubre de 2016). Fabricación e instalación de estructuras metálicas. Obtenido de <http://francor.com.mx/fabricacion-e-instalacion-de-estructuras-metalicas/>
- Guevara, A. (S.F.). Presas.
- Ingeniería, C. (2013). Resalto Hidráulico. Obtenido de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/06/el-rapidamente-variado-el-cual-va.html>
- Minem. (23 de Octubre de S,F). Central hidroeléctrica. Obtenido de <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/1/01/02/02/02.htm>
- National Geographic. (11 de Septiembre de 2015). Erenovable.com. Obtenido de <http://erenovable.com/documentales-national-geographic/>
- Ortega, B. (Mayo de 2012). Análisis experimental para la optimización de la disipación de energía a la salida del túnel de desvío en el proyecto hidráulico sopladora. Quito, Ecuador.
- Pegden, D. (1995). Introduction to Simulation Using Siman.
- Pérez, G. (S.F.). Desarenadores. Ica.
- Presas y centrales Argentinas. (S.F. de Marzo de 2012). Obtenido de <https://presasuba.wordpress.com/2013/11/23/nuevo-vertedero-presa-sayano-shusenskaya/>
- Roig, A. (S.F.). Evolución de la calidad. España.

Romualdo, I. (05 de Enero de 2014). Pymes Industria. Obtenido de Construcción y montaje de estructuras metálicas: <http://www.pymesindustria.com/la-importancia-de-la-construccion-de-estructuras-metalicas/>

Ruiz, G. (08 de Abril de 2009). Erenovable.com. Obtenido de Energía: <http://erenovable.com/category/energias-renovables>

Taylor, T. (S.F.).

Twenergy. (23 de Marzo de 2012). Que son las energías renovables. Obtenido de <https://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>

Uribe, C. (19 de Noviembre de 2002). Plantas Hidroeléctricas. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/centrales/index.htm>

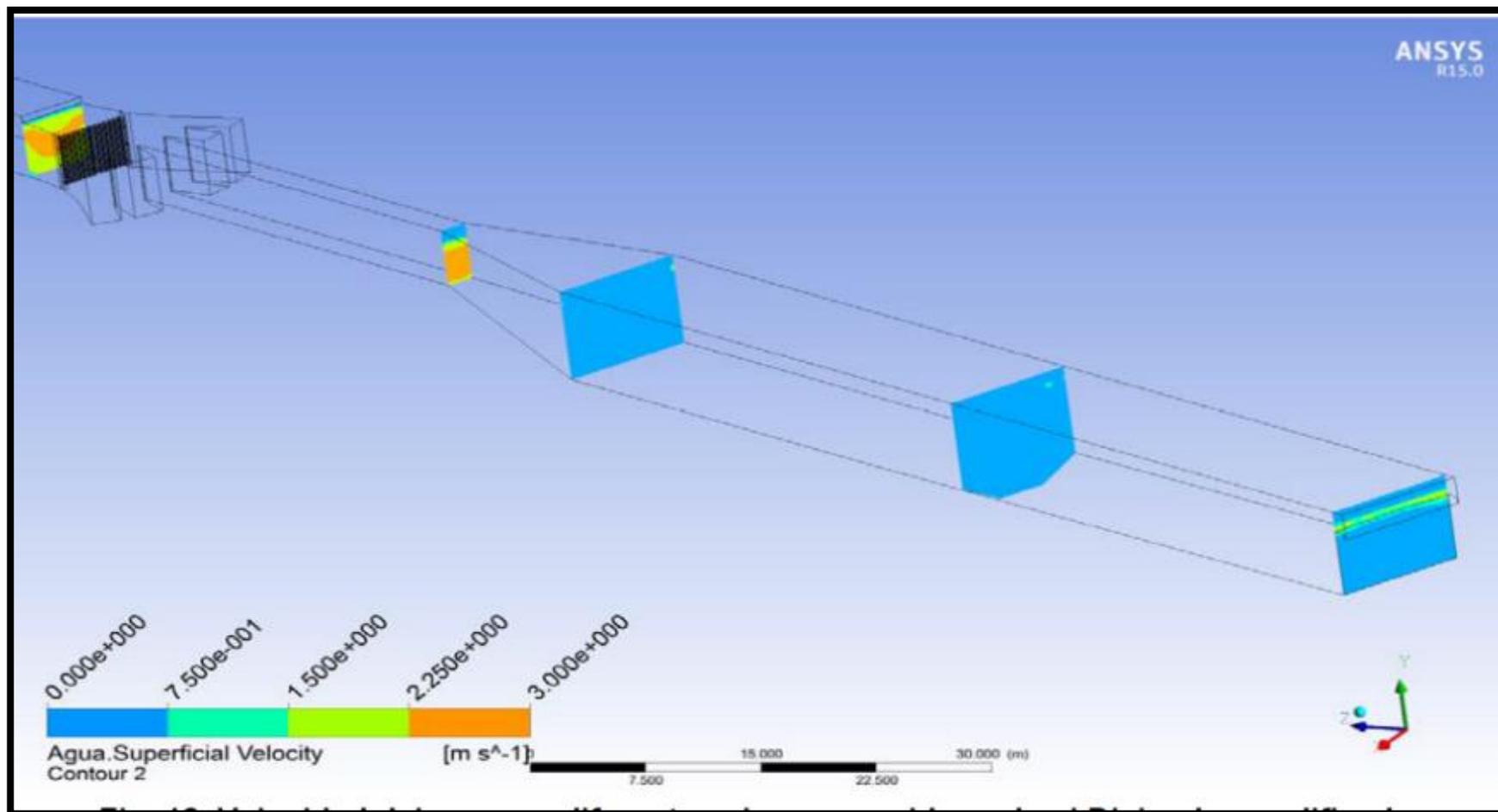
Villamarin, S. (Enero de 2013). Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía. Sangolquí, Ecuador.

Zemansky, S. (2009). Física universitaria . Mexico: Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo n.º 1. Simulación de flujo de agua en canal del vertedero Presa Capillucas con software Ansys 15.....	115
Anexo n.º 2. Memoria de cálculo de elementos de Disipador.....	116
Anexo n.º 3. Certificado de calidad de los materiales de Disipador	117
Anexo n.º 4. Memoria de cálculo de soldadura del Disipador.....	118
Anexo n.º 5. Descripción de las propuestas de diseño del Disipador de energía.	120
Anexo n.º 6. Cronograma de fabricación de disipador Presa Capillucas	121
Anexo n.º 7. Cronograma del montaje de Disipador Presa Capillucas.....	122
Anexo n.º 8. Plano de montaje guías de Disipador Presa Capillucas	123

Anexo n.º 1. Simulación de flujo de agua en canal del vertedero Presa Capillucas con software Ansys 15



Fuente: Estudio de régimen hidráulico Presa Capillucas - Celepsa

Anexo n.º 3. Certificado de calidad de los materiales de Disipador



**CORPORACION
ACEROS AREQUIPA S.A.**

Panamericana Sur Km. 241 - Pisco Telfs: 056-532967 / 532968 Fax: 056-532971

CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO :	CANAL C(U)	NORMA TECNICA :	N ° 3273934 ASTM A36
PROCEDENCIA :	Almacen Lima	NORMA ENSAYO :	ASTM E8
CLIENTE :	COMERCIAL DEL ACERO S.A.	FACTURA N° :	0020 709589

Con el presente documento certificamos que comercializamos Canal C(U) de acero que cumplen con la norma:
ASTM A36 / A36M

en las dimensiones de 3"X4.10LBPIE

Las propiedades mecánicas garantizadas son:
 Límite de Fluencia (fy), mínimo = 2530 kg/cm²
 Resistencia a la Tracción (R) = 4060 - 5620 kg/cm²

Alargamiento en 200 mm, mínimo:
3"X4.10LBPIE.....15% mínimo

(*) Según lo establecido en la norma ASTM A36 / A36M.

Soldabilidad : Buena soldabilidad

Composición Química:
 C = 0.26% máximo
 Si = 0.40% máximo
 P = 0.040% máximo
 S = 0.050% máximo

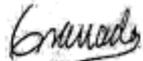
Asimismo, nuestra empresa posee la Certificación ISO 9001:2000 para sus Plantas en Pisco (N° 32450) y Arequipa (N° 33215) emitidos por la ABS QUALITY EVALUATIONS, INC. de TEXAS, USA.

11/02/2013



ISO 9001
Planta 1: Certificado N° 33215
Planta 2: Certificado N° 32450

CORPORACION ACEROS AREQUIPA S.A.



Ing Victor Granados Rivas
SUPERINTENDENTE DE METALURGIA



Fuente: Área ingeniería Dimperu

Anexo n.º 4. Memoria de cálculo de soldadura del Disipador

MEMORIA DE CÁLCULOS SOLDADURA DE EMPLAME EN ELEMENTOS DE COMPUERTA

Para L-2.5"x2.5"x3/8"

Soldadura en la conexión (Soldadura acanalada de penetración)

Material Base ASTM 572:

Fy= 3500 kg/cm² (Resistencia del material base)

Tracción perpendicular al área efectiva, para este tipo de conexiones.

Soldadura E70X

Te= 1.00 cm(espesor del ala)

(0,6 Fexx)= 2953 Kg/cm²

Longitud de soldadura de 11.16 cm., tenemos:

$\phi R_n =$	29656	Kg	=>	Para la soldadura
$\phi R_n =$	35154	Kg	=>	Para el material base

Luego:

$\phi R_n =$ 29656 kg

La resistencia a la tracción del perfil: L-2.5"x2.5"x3/8" es:

A= 11.2 cm² Área de tracción

Estado límite de fluencia en la sección:

$\phi T_n =$ 35154 kg

Estado límite de fractura en la conexión:

U= 0.7

Ae= 7.81 cm²

Fu= 4921 kg/cm²

$\phi T_n =$ 28832 kg

Luego, la resistencia del perfil es:

$\phi T_n =$ 28832 kg/cm²

$\phi R_n > \phi T_n$ Ok!

Entonces:

Para PL-1"

Soldadura en la conexión (Soldadura acanalada de penetración)

Material Base ASTM A36:

$F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ (Resistencia del material base)

Tracción perpendicular al área efectiva, para este tipo de conexiones.

Soldadora E70X

$T_e = 2.54 \text{ cm}$ (Espesor de la plancha)

$(0,6 F_{exx}) = 2953 \text{ Kg/cm}^2$

Longitud de soldadura de 1.0 cm., tenemos:

$\phi R_n = 6750 \text{ Kg} \Rightarrow$

Para la
soldadura
Para el material
base

$\phi R_n = 5784 \text{ Kg} \Rightarrow$

Luego:

$\phi R_n = 5784 \text{ kg}$

La resistencia a la tracción de la plancha para 1.0 cm de ancho es:

$A = 2.54 \text{ cm}^2$

Estado límite de fluencia en la sección:

$\phi T_n = 5784 \text{ kg}$

Estado límite de fractura en la conexión:

$U = 1.0$

$A_e = 2.54 \text{ cm}^2$

$F_u = 4077 \text{ kg/cm}^2$

$\phi T_n = 7767 \text{ kg}$

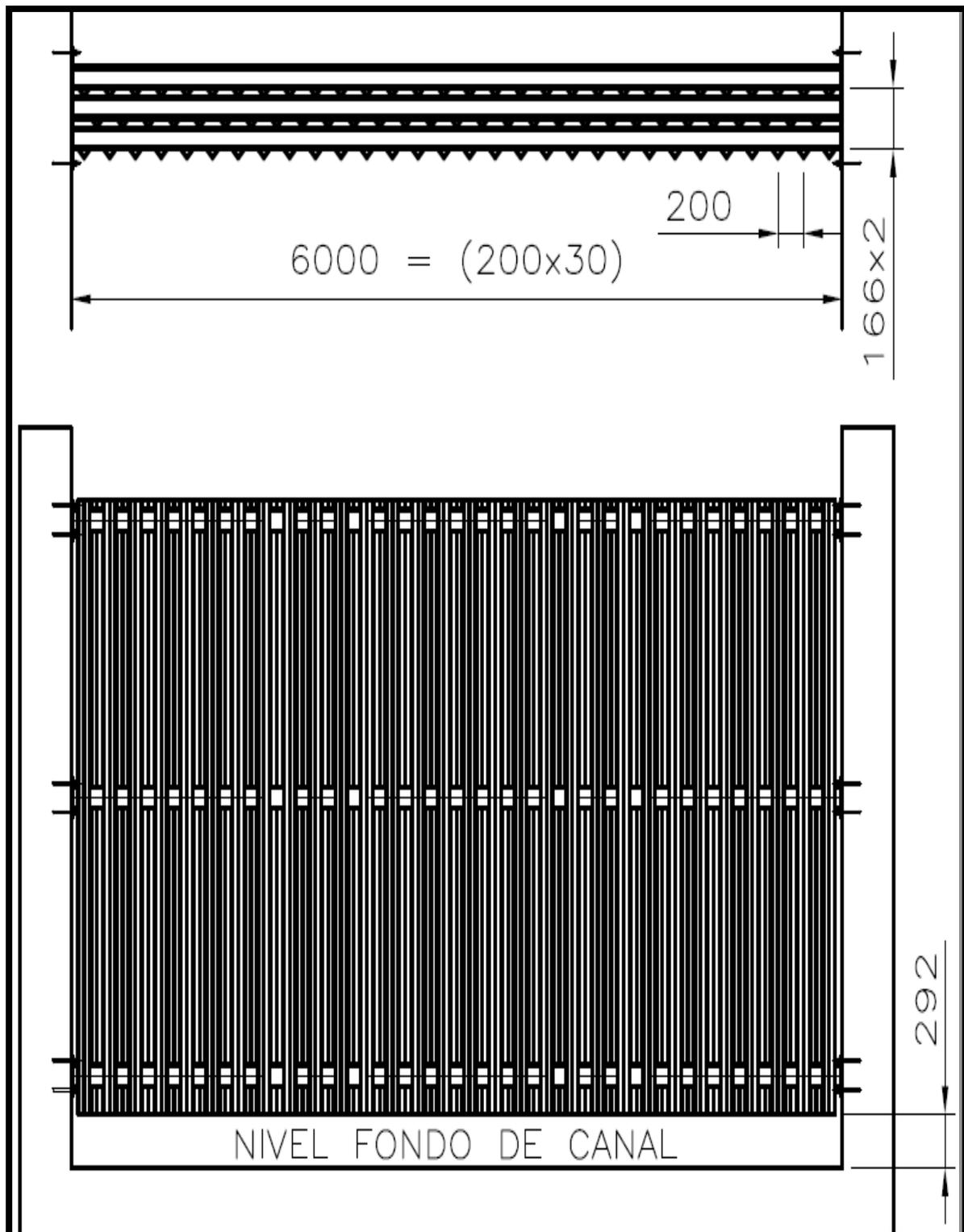
Luego, la resistencia del perfil es:

$\phi T_n = 5784 \text{ kg/cm}^2$

Entonces: $\phi R_n = \phi T_n \text{ Ok!}$

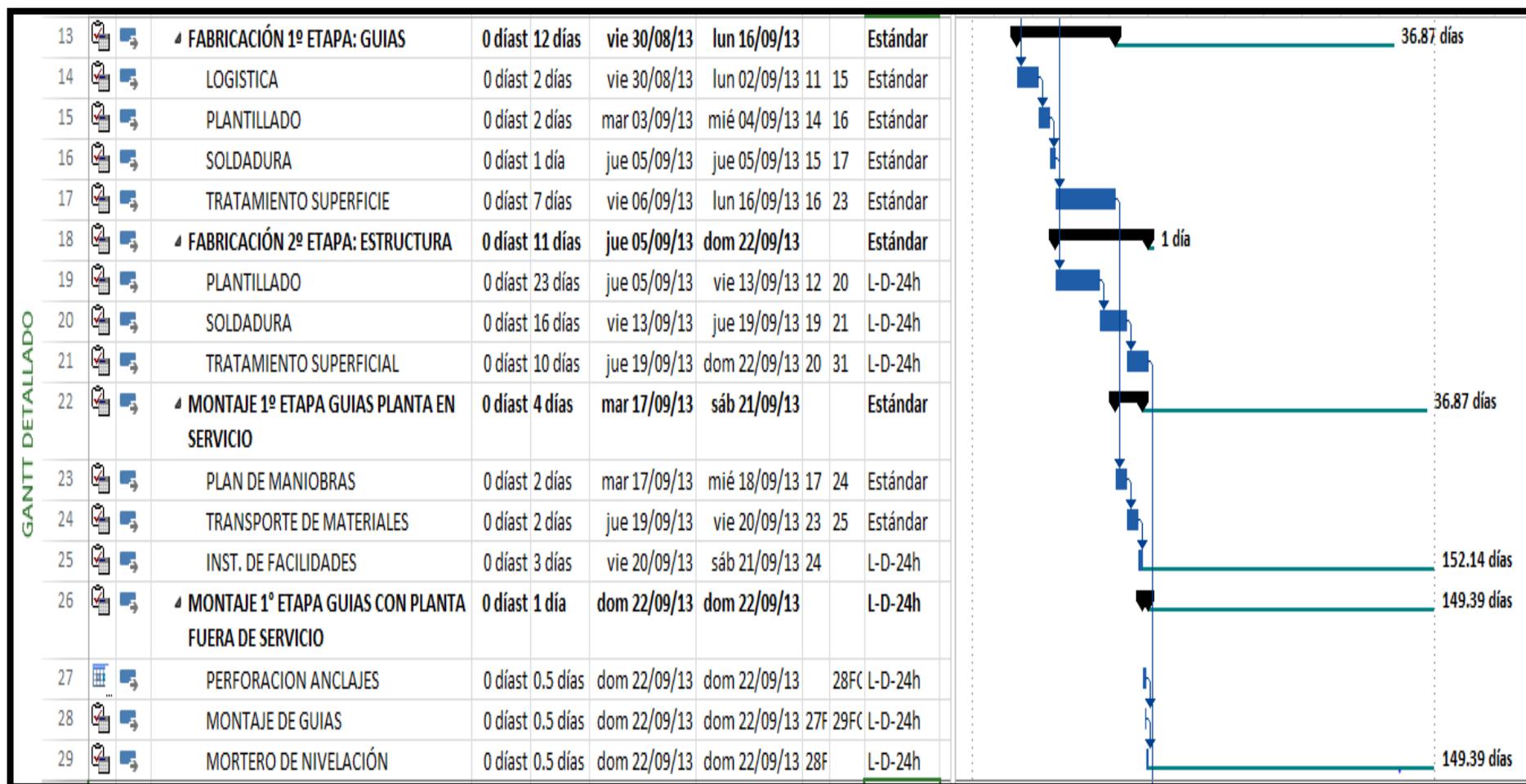
Fuente: Área de ingeniería y diseño Dimperu

Anexo n.º 5. Descripción de las propuestas de diseño del Disipador de energía.



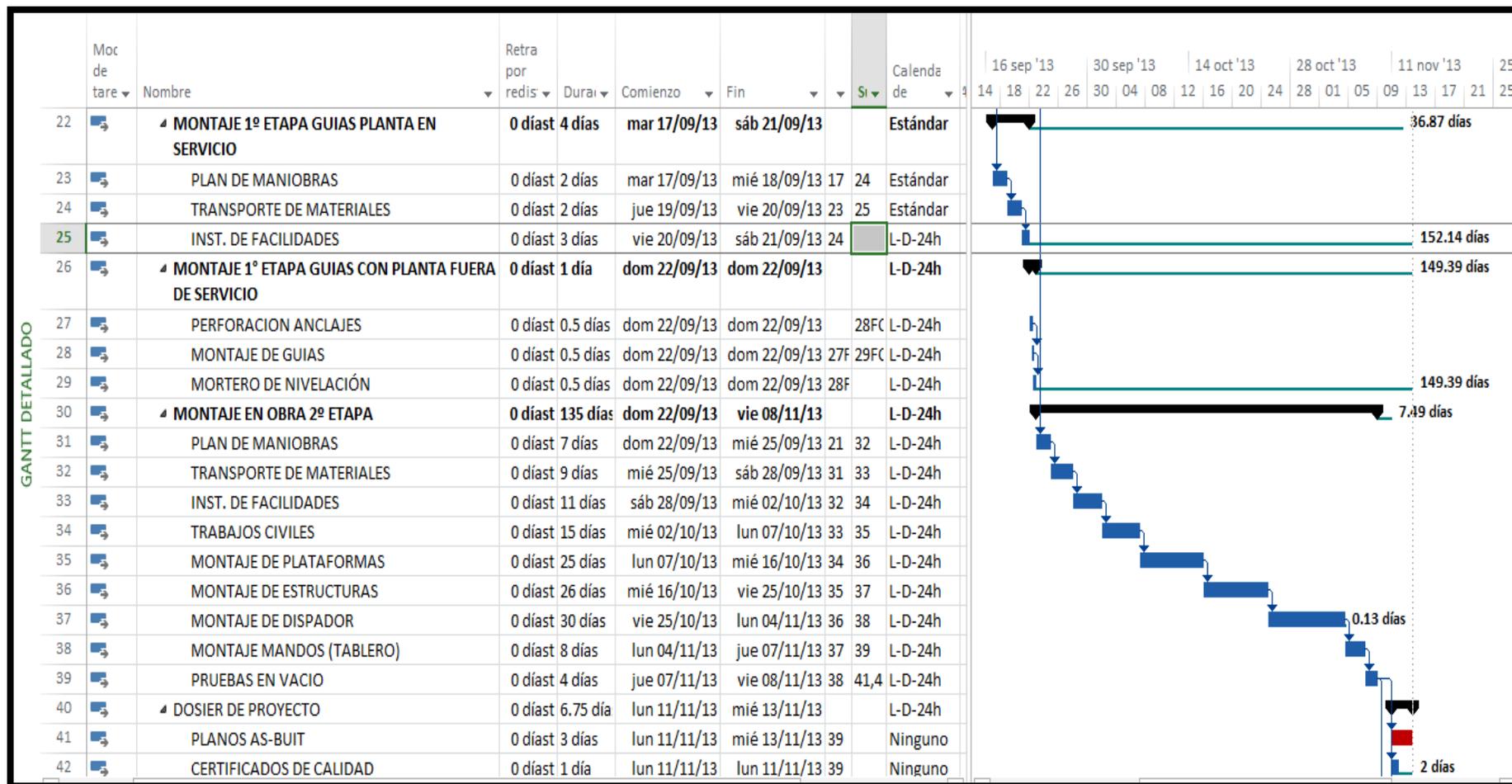
Fuente: Área de diseño e ingeniería Dimperu S, R.L

Anexo n.º 6. Cronograma de fabricación de disipador Presa Capillucas



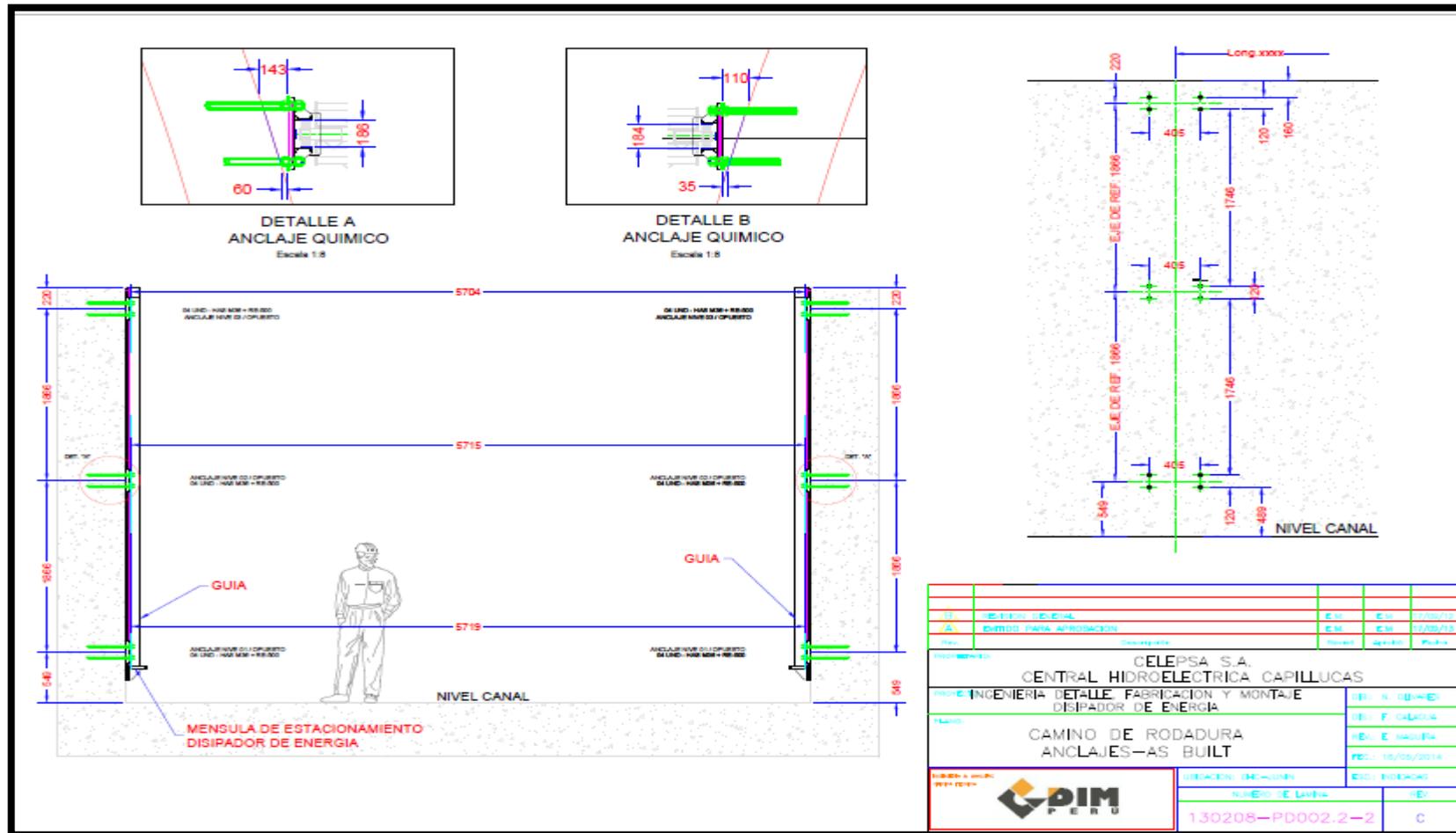
Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 7. Cronograma del montaje de Disipador Presa Capillucas



Fuente: Elaboración propia

Anexo n.º 8. Plano de montaje guías de Disipador Presa Capillucas



Fuente: Área diseño e ingeniería Dimperu