

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA EN COMPAÑÍA NACIONAL DE
FUERZA Y LUZ, ESPECÍFICAMENTE EN PLANTA
HIDROELÉCTRICA BELÉN POR ATASCOS EN LA
PARRILLA DE LA PRESA, DURANTE LOS AÑOS
2016 A 2020.**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR
LA LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.**

AUTOR: CARLOS ANDRÉS DELGADO ROJAS

TUTOR: ING. FEDERICO SALAZAR JÍMENEZ

HEREDIA, FEBRERO 2021

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Carlos Andrés Delgado Rojas, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 111690042 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente aperecebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, ESPECIFICAMENTE EN PLANTA HIDROELÉCTRICA BELÉN POR ATASCOS EN LA PARRILLA DE LA PRESA, DURANTE LOS AÑOS 2016 A 2020, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 9 días del mes de mayo del año dos mil veintiuno.



111690042

Firma del estudiante

Cédula

ACTA DE APROBRACIÓN TUTOR

Heredia, 30 de junio de 2021

**Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana**

Estimados señores:

El estudiante CARLOS ANDRÉS DELGADO ROJAS, cédula de identidad número 1-1169-0042 me ha presentado, el trabajo de investigación denominado: "ESTUDIO DE LAS PERDIDAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, ESPECIFICAMENTE EN PLANTA HIDROÉCTRICA BELÉN POR ATASCOS EN LA PARRILLA DE LA PRESA, DURANTE LOS AÑOS 2016 A 2020.", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Licenciatura.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría de todos los capítulos del documento y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación, antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos, conclusiones y recomendaciones, las cuales fueron concluidas a la satisfacción por la estudiante.

De los resultados obtenidos por la postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINALIDAD DEL TEMA	10%	10%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	20%
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	30%	28%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEÓRICO	20%	19%
	TOTAL		95%

En virtud de la calificación obtenida, se aprueba el proyecto de graduación, por lo que se puede realizar el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Firma 
Nombre del profesor...Federico Salazar Jiménez.
Cédula...1-0914-0803
Carné del Colegio 1782.

ACTA DE APROBACIÓN LECTOR

CARTA DE LECTOR

San José 30 de agosto del 2021

Universidad Hispanoamericana
Sede Heredia
Carrera de Ingeniería Industrial

Estimados señores

El estudiante Carlos Andrés Delgado Rojas, cédula de identidad 111690042, me ha presentado para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "Estudio de las pérdidas de generación eléctrica en la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, específicamente en la planta hidroeléctrica Belén por atascos en la parrilla de la presa, durante los años 2016 a 2020", el cual ha elaborado para obtener su grado de Licenciatura.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atte.

Firma

Roberto Sánchez Morales
Cédula: 900810622



DEDICATORIA

Este paso tan importante en mi vida se lo quiero dedicar primero que todo a Dios, el cual me da la bendición de poder levantarme todos los días y luchar porque mis sueños se hagan realidad.

A mi núcleo familiar, mis padres Carmen Rojas Trejos y Juan Carlos Delgado Venegas y mi hermana Carolina Delgado Rojas, los cuales aportaron de una u otra manera para mi desarrollo profesional.

A mi señora esposa Shirley Moreno Muñoz, por ese apoyo incondicional que se necesita en estos procesos de estudio para poder desarrollarlos de la mejor manera posible.

A mis hijos Andrés Delgado Moreno y Gabriel Delgado Moreno, ellos sin duda terminaron de darme el ánimo y las fuerzas necesarias para llevar a buen puerto mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTO

Primero que todo a Dios que me permite culminar uno de mis sueños el cual es convertirme en un profesional y así obtener una herramienta más para afrontar la vida.

A toda mi familia la cual sin lugar a duda es donde nos forjamos como personas, a mis padres por ser un ejemplo para seguir y darme ese apoyo que se necesita para poder salir a delante.

También agradecer a mi señora esposa y mis hijos los cuales son pilares fundamentales en esta etapa de estudio.

A la CNFL eternamente agradecido, gracias a esta empresa he podido desarrollarme como profesional y como una herramienta para poder alcanzar mis metas en la vida.

A todos los profesores que han colaborado en mi desarrollo como estudiante y como futuro profesional.

INDICE GENERAL

Contenido	
DECLARACIÓN JURADA	II
ACTA DE APROBRACIÓN TUTOR	III
ACTA DE APROBACIÓN LECTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE IMÁGENES	XVI
RESUMEN EJECUTIVO	XVII
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	XIX
CAPÍTULO I	20
INTRODUCCIÓN	20
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	21
1.2. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN.....	23
1.2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	23
1.2.1.1. Estructura Organizativa	25
1.2.2 Descripción del proceso.....	29
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
1.3.1 IDEA DEL PROBLEMA.....	30
1.3.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	30
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	31
1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	32
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	32
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	32
1.6 ALCANCE Y LIMITACIONES.....	32
1.6.1 ALCANCE.....	32
1.6.2 LIMITACIONES	33
CAPÍTULO II	34

MARCO TEÓRICO.....	34
2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO DE LA CARRERA.....	35
2.1.1 INGENIERÍA INDUSTRIAL.....	35
2.1.2. PROCESO PRODUCTIVO.....	36
2.1.2.2. GESTIÓN DE PROCESOS.....	37
2.1.2.3 TIPOS DE PROCESOS.....	39
2.1.3 DIAGRAMA DE FLUJO.....	40
2.1.3.1 Beneficios del diagrama de flujos en procesos.....	41
2.2 MARCO CONCEPTUAL ATENIENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO...	41
2.2.1 DEFINIR.....	42
2.2.1.1 Gráficos de comparación.....	42
2.2.1.2 Análisis FODA.....	44
2.2.2 MEDIR.....	46
2.2.2.1 MUESTREO DEL TRABAJO.....	47
2.2.2.2 ESTUDIO DE TIEMPOS.....	47
2.2.2.3 Entrevistas:.....	49
2.2.3 ANALIZAR.....	51
2.2.3.1 HERRAMIENTA 5 POR QUÉ.....	51
2.2.3.2 DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO (ISHIKAWA).....	53
2.2.3.3 PARETO.....	56
2.2.4 MEJORAR.....	58
2.2.4.1 ANÁLISIS DE CAPACIDAD.....	58
2.2.4.2 Factores que afectan la capacidad de producción.....	60
2.2.4.3 Diagrama Gantt.....	61
2.2.4.4 ANÁLISIS MODO EFECTOY FALLA.....	62
2.2.5 CONTROL.....	65
2.2.5.1 INDICADORES.....	65
2.4 MARCO CONCEPTUAL REFENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO.....	67
2.5 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES...	68
CAPÍTULO III.....	70
MARCO METODOLÓGICO.....	70
3.1. METODOLOGÍA DMAIC.....	71

3.1.2 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	71
3.1.3. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DEL PROYECTO.....	72
3.1.4 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTAS EN PRACTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO	73
3.1.5 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMETACIÓN DEL PROYECTO.....	74
3.1.6 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS	75
CAPÍTULO IV	77
LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSAS.....	77
4.1 Análisis del proceso de generación eléctrico en PH Belén.....	78
4.1.2 Análisis presa PH Belén	78
4.1.3 Análisis Tanque PH Belén	84
4.1.4 Análisis Casa Máquinas.....	86
4.2 Análisis de las pérdidas de Generación por lavados en PH Belén, durante los años 2016 a 2020	92
4.2.1 Análisis pérdidas de generación año 2016 PH Belén	94
4.2.2 Análisis pérdidas de generación año 2017 PH Belén	96
4.2.3 Análisis pérdidas de generación año 2018 PH Belén	99
4.2.4 Análisis pérdidas de generación año 2019 PH Belén	102
4.2.5 Análisis pérdidas de generación año 2020 PH Belén	105
4.2.5.1 Resumen pérdidas de generación durante los años 2016 a 2020 PH Belén por lavados.	107
4.3 Análisis de las causas potenciales de pérdidas de generación en PH Belén por lavados durante los años 2016 a 2020.....	109
4.3.1 Análisis FODA Planta Hidroeléctrica Belén.....	110
4.3.2 Análisis Causa- efecto	114
4.3.2.1 Maquinaria	115
4.3.2.2 Medio Ambiente	117
4.3.2.3 Medición	121
4.3.2.4 Material:	124
4.3.2.5 Mano de obra.....	126
4.3.2.6 Método.....	128

4.3.3 Análisis diagrama Pareto por averías en las unidades de PH Belén. ...	
1304.3.3.1 Diagrama de Pareto Unidad # 1 PH Belén.....	130
4.3.3.2 Diagrama de Pareto Unidad # 2 PH Belén.....	131
4.3.3.3 Diagrama de Pareto Unidad # 3 PH Belén.....	133
4.3.4 Análisis del problema salidas por lavado: Herramienta de los 5, ¿por qué? 135	
CAPÍTULO V	137
DISEÑO HE IMPLEMETACIÓN DE LA SOLUCIÓN.	137
5.1 Metodología Análisis Modo Efecto- Falla (AMEF)	138
5.2 Oportunidades de mejora vrs propuestas	141
5.2.1 Diseño de la propuesta	142
5.2.2 Análisis de actividades y recolección de muestras	142
5.3 Recolección y tamaño de la muestra limpieza manual de la presa	142
5.4 Recolección y tamaño muestra, limpieza sistema hidráulico PH Encanto.	146
5.5 Comparación entre sistema de limpieza hidráulico contra sistema de limpieza manual	149
5.6 Sistema de limpieza hidráulico propuesto para PH Belén	151
5.7 Análisis económico de propuesta de sistema hidráulico de limpieza para PH Belén.....	155
5.7.1 Costos asociados al uso del sistema de limpieza	155
5.7.2 Análisis de ganancia promedio años 2017 y 2020.....	157
5.8 Diseño del indicador de desempeño	160
5.9 Diagrama Gantt de la propuesta del proyecto PH Belén.....	164
CAPÍTULO VI	166
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
6.1 Conclusiones.....	167
6.2 Recomendaciones.	169
Bibliografía	170
ANEXOS	172
Anexo 1, Unidad generadora # 1 Planta Hidroeléctrica belén.....	173
Anexo 2, Unidad generadora # 2 Planta Hidroeléctrica belén.....	174
Anexo 3, Unidad generadora # 3 Planta Hidroeléctrica belén.....	175
Anexo 4, basura atascada en rodets de las unidades.....	176

Anexo 5, Sistema Plantas Generación.....	177
Anexo 6, Hoja de trabajo para toma de tiempos	178
Anexo 7, Reporte de avería mecánica en API PRO.....	179
Anexo 8, F-112 Reporte diario de operación.....	180
Anexo 9, Entrevista a encargado de Planta Hidroeléctrica Belén	181
Anexo 10, Carta de aprobación por parte de CNFL para la realización del proyecto	183

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama CNFL.....	26
Figura 2. Organigrama PH Belén.....	28
Figura 3. Proceso Generación PH Belén	29
Figura 4. Diagrama de flujo Generación PH Belén	30
Figura 5. Proceso de mejoramiento continuo.....	36
Figura 6. Diagrama de flujo Proceso productivo.	37
Figura 7. Mapa de procesos CNFL.	38
Figura 8. Simbología diagramas de flujo.....	40
Figura 9. Características Seis Sigma	42
Figura 10. Matriz Análisis FODA	44
Figura 11. Diagrama Causa-Efecto.....	54
Figura 12. Diagrama de Pareto accidentes en carreteras.....	57
Figura 13. Diagrama Gantt.....	62
Figura 14. Cálculo del indicador.....	67
Figura 15. Antecedentes de proyectos.....	69
Figura 16. Diagrama de flujo presa Belén.....	80
Figura 17. Operación de limpieza por diferencia en parrilla de la presa.	83
Figura 18. Diagrama Causa- Efecto pérdidas de generación Lavados.	115
Figura 19. Operación de limpieza por diferencia en parrilla de la presa.	129
Figura 20, Criterios análisis AMEF	139
Figura 21. Análisis modo efecto- falla PH Belén.	140
Figura 22. Cálculo tamaño de la muestra.	144
Figura 23. Cálculo tamaño de la muestra sistema hidráulico.....	147
Figura 24. Sistema de limpieza hidráulico PH Encanto.....	153
Figura 25. Ficha de indicador.....	161
Figura 26. Análisis de indicador	162
Figura 27. Cálculo del indicador.....	163
Figura 28. Diagrama Gantt cronograma de actividades.....	165

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de puestos PH Belén.....	27
Tabla 2. Pérdida estimada 2016 a 2020.	31
Tabla 3. Análisis FODA.....	46
Tabla 4. Tabla para estudio de tiempos.	48
Tabla 5. ¿Tabla cinco por qué?	52
Tabla 6. Número de accidentes en tramo de carretera.	57
Tabla 7. Análisis utilización de capacidad.....	60
Tabla 8. Tabla Análisis AMEF.....	64
Tabla 9. Atributo de prioridad AMEF.....	65
Tabla 10. Clasificación Indicadores.....	66
Tabla 11. Metodología para la definición del problema.....	72
Tabla 12. Metodología para la medición y respaldo cualitativo del proyecto	73
Tabla 13 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio.....	74
Tabla 14. Metodología para la implementación del proyecto.	75
Tabla 15. Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados.	76
Tabla 16. Características unidades PH Belén.....	86
Tabla 17. Causas de fallas unidad # 1 PH Belén.....	88
Tabla 18. Causas de fallas unidad # 2 PH Belén.....	88
Tabla 19. Causas de fallas unidad # 3 PH Belén.....	89
Tabla 20. Horario tarifario años 2016-2020.....	92
Tabla 21. Total, horas fuera de línea por lavados 2016.....	94
Tabla 22. Pérdida estimada generación año 2016.....	95
Tabla 23. Generación real año 2016 PH Belén.....	96
Tabla 24. Total, horas fuera de línea por lavados 2017.....	97
Tabla 25. Pérdida estimada generación año 2017.....	98
Tabla 26. Generación real año 2017 PH Belén.....	99
Tabla 27. Total, horas fuera de línea por lavados 2018.....	100
Tabla 28. Pérdida estimada generación año 2018.....	101

Tabla 29. Generación real año 2018 PH Belén.....	102
Tabla 30. Total, horas fuera de línea por lavados 2019.....	102
Tabla 31. Pérdida estimada generación año 2019.....	103
Tabla 32. Generación real año 2019 PH Belén.....	104
Tabla 33. Total, horas fuera de línea por lavados 2020.....	105
Tabla 34. Pérdida estimada generación año 2020.....	106
Tabla 35. Generación real año 2020 PH Belén.....	107
Tabla 36. Resumen pérdidas de generación años 2016 a 2020 PH Belén.....	107
Tabla 37. Análisis FODA PH Belén.....	110
Tabla 38. Total, horas fuera de línea por lavados PH Belén 2016 a 2020.....	123
Tabla 39.....	124
Tabla 40. Diagrama de Pareto unidad # 1 PH Belén.....	131
Tabla 41. Diagrama de Pareto unidad # 2 PH Belén.....	133
Tabla 42. Diagrama de Pareto unidad # 3 PH Belén.....	134
Tabla 43. Muestreo preliminar tamaño de muestra limpieza manual.....	144
Tabla 44. Pérdidas de Generación PH Belén según muestras.....	145
Tabla 45. Muestreo preliminar limpieza parrilla con sistema hidráulico.....	147
Tabla 46. Muestreo limpieza parrilla con sistema hidráulico.....	148
Tabla 47. Comparación entre sistema manual y sistema hidráulico (horas, colones).	149
Tabla 48. Consumo eléctrico sistema hidráulico.....	155
Tabla 49. Costo de operación del sistema por el operario.....	156
Tabla 50. Costo capacitación del personal presa.....	156
Tabla 51. Ganancia promedio años 2017 y 2020.....	157
Tabla 52. Análisis económico de la propuesta de implementación.....	158
Tabla 53. Resultado del análisis económico.....	159

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1 Ejemplo gráfica de comparación.	43
Gráfica 2. Salida de las unidades PH Belén por Falla Mecánica 2016-2020. ...	90
Gráfica 3. Salida de las unidades PH Belén Lavados 2016-2020.	91
Gráfica 4. Horas fuera de línea PH Belén 2016.	95
Gráfica 5. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2016.	96
Gráfica 6. Horas fuera de línea PH Belén 2017.	98
Gráfica 7. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2017.	99
Gráfica 8. Horas fuera de línea PH Belén 2018.	100
Gráfica 9. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2018.	101
Gráfica 10. Horas fuera de línea PH Belén 2019.	103
Gráfica 11. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2019.	104
Gráfica 12. Horas fuera de línea PH Belén 2020.	105
Gráfica 13. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2020.	106
Gráfica 14. Aporte PH Belén a generación total real años 2016 a 2020.	108
Gráfica 15. Total, cambios de contenedor PH Belén años 2016 a 2020.	121
Gráfica 16. Total, de toneladas de basura generadas PH Belén 2016 a 2020.	121
Gráfica 17. Diagrama de Pareto unidad # 1 PH Belén, años 2016 a 2020.	132
Gráfica 18. Diagrama de Pareto unidad # 2 PH Belén, años 2016 a 2020.	133
Gráfica 19. Diagrama de Pareto unidad # 3 PH Belén, años 2016 a 2020.	134
Gráfica 20. Diagrama de Pareto averías PH Belén 2016 a 2020.	135
Gráfica 21. Comparación tiempos de lavado sistema hidráulico contra sistema manual.	150
Gráfica 22. Minimización pérdidas económicas PH Belén.	151

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Presa PH Belén.....	79
Imagen 2. Compuerta de regulación.....	80
Imagen 3. Parrilla de gruesos PH Belén.	81
Imagen 4. Limpieza de parrilla gruesos con personal de CNFL.....	82
Imagen 5. Limpieza de parrilla gruesos con agua en embalse.	83
Imagen 6. Limpieza de parrilla finos tanque PH Belén.....	84
Imagen 7. Contenedor de basura tanque PH Belén.....	85
Imagen 8. Wincher Presa PH Belén.....	117
Imagen 9. Inundación Presa PH Belén.	118
Imagen 10. Arrastre de basura en parilla de presa PH Belén.	119
Imagen 11. Contacto directo con agua contaminada por parte del personal.	120
Imagen 12. Gancho para realizar limpieza de parrilla de la presa.	126
Imagen 13. Equipo protección para limpieza de parrilla presa Belén.....	127
Imagen 14. Limpieza manual parrilla gruesos PH Belén.....	130
Imagen 15. Estructura parrilla de gruesos PH Encanto.	153
Imagen 16. Limpieza toma PH Encanto.....	154

RESUMEN EJECUTIVO

Carlos Andrés Delgado Rojas, Universidad Hispanoamericana, junio, 2021, Estudio de las pérdidas de generación eléctrica en Compañía Nacional de Fuerza y Luz, específicamente en Planta Hidroeléctrica Belén por atascos en la parrilla de la presa, durante los años 2016 a 2020. Proyecto de graduación para optar por la licenciatura en Ingeniería Industrial.

El presente proyecto se realiza en la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, específicamente en la Planta Hidroeléctrica Belén, la misma se ubica en la provincia de Alajuela, esta planta se dedica a la generación hidroeléctrica, la planta cuenta con una capacidad instalada de 10 500 Kilowatts hora, su principal afluente es el río Virilla, esta planta dentro de la matriz de CNFL representa el 13,6% de la generación total CNFL. Este estudio en PH Belén se centra en las pérdidas de generación por atascos de parrilla, durante los años 2016 a 2020, a la actualidad la planta no cuantifica las pérdidas por este concepto de atascos de parrilla en la presa, según el análisis de la información utilizada para dicho proyecto el monto de las pérdidas estimadas por este motivo asciende a los ₡ 126 920 605.78 durante los años 2016 a 2020.

Ante este escenario se analizaron una serie de factores que influyen en la generación de estas pérdidas, con la intención de determinar una solución viable al problema y los factores más considerables dentro de PH Belén corresponden a crecientes, arrastre de basura y por consecuencia obstrucción de parrilla de gruesos que se traduce en menor nivel de agua y pérdidas de generación, también hay afectación por causa de fallas mecánicas en las unidades producto de la basura que llega a la turbina de la máquina.

Dentro del estudio se propone la inversión de un sistema de limpieza hidráulico, el cual minimice los tiempos de lavado y por ende maximice la generación en PH Belén, para esta implementación de la propuesta se realiza un análisis económico para validar el costo- beneficio de la colocación de un sistema de limpieza hidráulico en la presa de PH Belén, el cual nos da una TIR de 11,16% con un periodo del

retorno de la inversión de 5,7 meses esto genera un total de 2,14 colones por cada colon invertido.

Otro factor para considerar es la implementación de un indicador de gestión que funcione como mecanismo de control de los tiempos de lavado, con el sistema de limpieza hidráulico, como también capacitar al personal de la planta para la atención de averías mecánicas en las unidades de generación con la intención de minimizar los tiempos de atención de dichas fallas y mantener una disponibilidad operativa lo más favorable posible para PH Belén.

ACRÓNIMOS Y SIGLAS.

CNFL: Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

ICE: Instituto Costarricense de electricidad.

PH Belén: Planta Hidroeléctrica Belén.

SIP: Sistema Integrado de plantas.

ARESEP: Autoridad Reguladora Servicios Públicos.

CDG: Centro Despacho de Generación.

GAM: Gran Área Metropolitana.

API PRO: Sistema de reportes averías CNFL.

EBI: Empresa tratamiento de residuos sólidos.

F-10: Solicitud de trabajo interno CNFL.

F-112: Registro diario de operación.

IMN: Instituto Meteorológico Nacional.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

En la actualidad las organizaciones necesitan de planeamientos y controles definidos para las diferentes áreas que componen la organización y que se rigen bajo los objetivos estratégicos de la empresa, esto con la intención de ser siempre más competitivos independientemente al nicho de mercado al cual pertenecen, siempre con la mirada puesta en poder competir en mercados cada día más globalizados, donde las expectativas son más altas por parte del cliente, esto obliga a las empresas manejarse bajo un ciclo de mejora continua que les permita ser más ágiles en sus decisiones comerciales.

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz es una empresa de carácter público que se dedica a la generación, distribución y comercialización de la energía eléctrica renovable dentro del gran área metropolitana cuenta con un total de 932, 49 Km² dentro de su área de servicio, incluye tanto los clientes residenciales, comerciales como así también tipo industrial. La CNFL cuenta con una Gerencia General de la cual se divide en 5 direcciones: Dirección de Estrategia y Desarrollo del Negocio, Dirección Generación de la Energía, Dirección de Distribución de la Energía, Dirección de Comercialización y por último Dirección de Administración y Finanzas.

Este proyecto se desarrollará en la Dirección generación de la energía, dentro de esta dirección se cuenta con un total de nueve plantas hidroeléctricas y una planta eólica, en total se tiene una potencia instalada entre todas las centrales de generación de 141 134 Kilowatts. Dentro de estas plantas pertenecientes a la dirección de generación de la energía se encuentra la Planta Hidroeléctrica Belén, en la cual se va a desarrollar el proyecto específicamente, dicha planta se ubica en la provincia de Alajuela, su principal afluente es el río Virilla, su punto de entrega es circuito Lindora- Belén, subestación lindora, cuenta con tres unidades generadoras, dos unidades de 1250 Kilowatts como lo muestra el anexo 1 y anexo 2 y una unidad de 8000 Kilowatts según anexo 3, para un total de 10 500 Kilowatts, todas sus turbinas son tipo Francis horizontal, la misma cuenta con una presa a filo de agua, un canal de conducción con una distancia de 4 kilómetros y una capacidad de 14000 mil metros cúbicos, cuenta con un total de 20 funcionarios,

distribuidos de la siguiente forma: 4 Operadores de planta, 4 Ayudantes de Operador, 4 operadores de tanque, 4 Operadores de presa, 1 Asiste Administrativo, 1 Asiste de Operación, 1 Jefatura y 1 misceláneo de campo.

En PH Belén uno de los factores que está afectando la generación es la cantidad de basura que arrastra el río Virilla en su cauce, el cual genera gran cantidad de residuos en la parrilla de gruesos de ingreso de agua al canal de conducción de la planta, por esta razón cuando esta parrilla presenta problemas por obstrucción esto se traduce en un menor nivel de agua en el canal y por ende se debe bajar la potencia a las unidades y se da una afectación directa a la generación que se entrega a la matriz eléctrica de la CNFL.

Con este proyecto se busca cuantificar las pérdidas de generación que presenta PH Belén por este concepto durante los años 2016 a 2020, hasta la actualidad no se cuenta con esta información y por ende no se puede calcular la pérdida relacionada a este problema como tampoco se puede definir un plan a seguir para la toma de decisiones con el objetivo de maximizar la generación de la planta.

El presente proyecto consta de seis capítulos, en el primer capítulo comprende el planteamiento del problema o su respectiva oportunidad de mejora, con una debida justificación que evidencia la existencia de un problema y respalde la necesidad de gestionar dicho hallazgo.

En el segundo capítulo se muestra el marco teórico del proyecto, en este capítulo se presenta conceptos teóricos de las herramientas de ingeniería y diversas técnicas que se van a desarrollar a lo largo del proyecto.

El tercer capítulo del proyecto describe y documenta la metodología a utilizar, tanto general como específica utilizada para definición del problema, la medición cuantitativa de la situación actual dentro de la planta y la propuesta de mejora, implementación de esta y el control, así como el seguimiento de los resultados obtenidos.

En el cuarto capítulo se documentan todos los hallazgos evidenciados en el proceso de generación eléctrica de la PH Belén, esta situación nos dará pie para la implementación de las mejoras dentro del proceso productivo de la planta.

El quinto capítulo establece el diseño de la propuesta de mejora para PH Belén y la implementación de esta, esta ofrece una solución integral al problema evidenciado en capítulos anteriores.

Como sexto capítulo se incluye el apartado de conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, dicho apartado está dirigido a mejorar la situación evidenciada como problema y mejorar la producción de energía eléctrica de PH Belén.

1.2. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN

1.2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz nace en el año de 1941, con la fusión de The Costa Rica Electric Light and Traction Company, Limited; Compañía Nacional de Electricidad y Compañía Nacional Hidroeléctrica (o Compañía Eléctrica) esto a razón de nacionalizar los servicios eléctricos a toda la ciudadanía, esto se da gracias al esfuerzo político de los dirigentes en aquel momento para dejar atrás el modelo de privatización de dicho servicio y poder ofrecer de este modo una cobertura total incluyendo los sectores sociales menos favorecidos en esas fechas. Desde ese momento el norte de la CNFL se centra en brindar servicios de calidad para toda la población de la gran área metropolitana, definida históricamente como su área de servicio desde sus inicios.

Para su sistema de generación, cuenta con diez (10) subestaciones elevadoras. Para su sistema de distribución de electricidad, dispone de veintiuna (21) subestaciones reductoras para su sistema de distribución aéreo; tres (3) subestaciones para su sistema de distribución subterráneo, tres (3) patios de interruptores y dos (2) subestaciones móviles como respaldo. Además, su sistema de distribución comprende 6.887 km de líneas en operación, de las cuales 3.404

son primarias y 3.483 son líneas secundarias y de ese total (6.887 km), 6.138 km son líneas aéreas y 749 km son subterráneas; cuenta con 2.363 MVA de capacidad instalada en transformadores de distribución. Su área de servicio abarca un total de 564.010 servicios facturados (clientes) del Gran Área Metropolitana, donde se concentra la mayor cantidad de la población, la vida institucional pública y las principales actividades comerciales y productivas del país.

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz es la principal empresa distribuidora de electricidad en Costa Rica y su área de servicio abarca un total de 932,49 Km² en la cual tiene una cobertura de electrificación del 100% en su totalidad. Para brindar este servicio en su área de servicio la CNFL cuenta con un total de cinco sucursales:

- Sucursal Central.
- Sucursal Desamparados.
- Sucursal Escazú.
- Sucursal Guadalupe.
- Sucursal Heredia.

Esta organización cuenta con un total de nueve Plantas Hidroeléctricas y una Planta Eólica, sumando un total de 141 134 Kv de potencia total instalada.

- Planta Hidroeléctrica Balsa, potencia 3700 Kv.
- Planta Hidroeléctrica Belén, potencia 10500 Kv.
- Planta Hidroeléctrica Brasil, potencia 24000 Kv.
- Planta Hidroeléctrica Cote, potencia 6786 Kv.
- Planta Hidroeléctrica Daniel Gutiérrez, potencia 20121 Kv.
- Planta Hidroeléctrica El Encanto, potencia 9084 Kv.
- Planta Hidroeléctrica Eléctrona, potencia 5825 Kv.

- Planta Hidroeléctrica Río Segundo, potencia 1250 Kv.
- Planta Hidroeléctrica Ventanas, potencia 11268 Kv.
- Planta Eólica Valle Central, potencia 15300 Kv.

Misión “Brindar soluciones integrales de energía, para el desarrollo sostenible y el bienestar de nuestros clientes”

(<https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/quienes-somos.pdf>, s.f.)

Visión “Ser la empresa referente en distribución eléctrica urbana de la región, con soluciones integrales, innovadoras y competitivas”

(<https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/quienes-somos.pdf>, s.f.)

Propuesta de valor La CNFL, un socio estratégico para nuestros clientes desde 1941. Brindamos soluciones integrales para su negocio o residencia en todos nuestros servicios:

- Sostenibilidad en todas nuestras operaciones.
- Calidad y continuidad del suministro eléctrico.
- Servicios innovadores, diseñados según sus necesidades.
- Atención ágil y oportuna

(<https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/quienes-somos.pdf>, s.f.)

1.2.1.1. Estructura Organizativa.

En la figura 1, se muestra el organigrama de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, en la cual se pueden observar las distintas áreas que componen la estructura organizacional de CNFL. En la parte más alta del organigrama se encuentra la Asamblea de accionistas, donde se despliegan dos staff como lo son auditoria

interna y secretaría del consejo de administración, seguido de la gerencia general de CNFL. Dentro del organigrama de la empresa se desprenden cinco direcciones:

- Dirección estrategia y desarrollo del negocio.
- Dirección generación de la energía.
- Dirección distribución de la energía.
- Dirección comercialización.
- Dirección administración y finanzas.

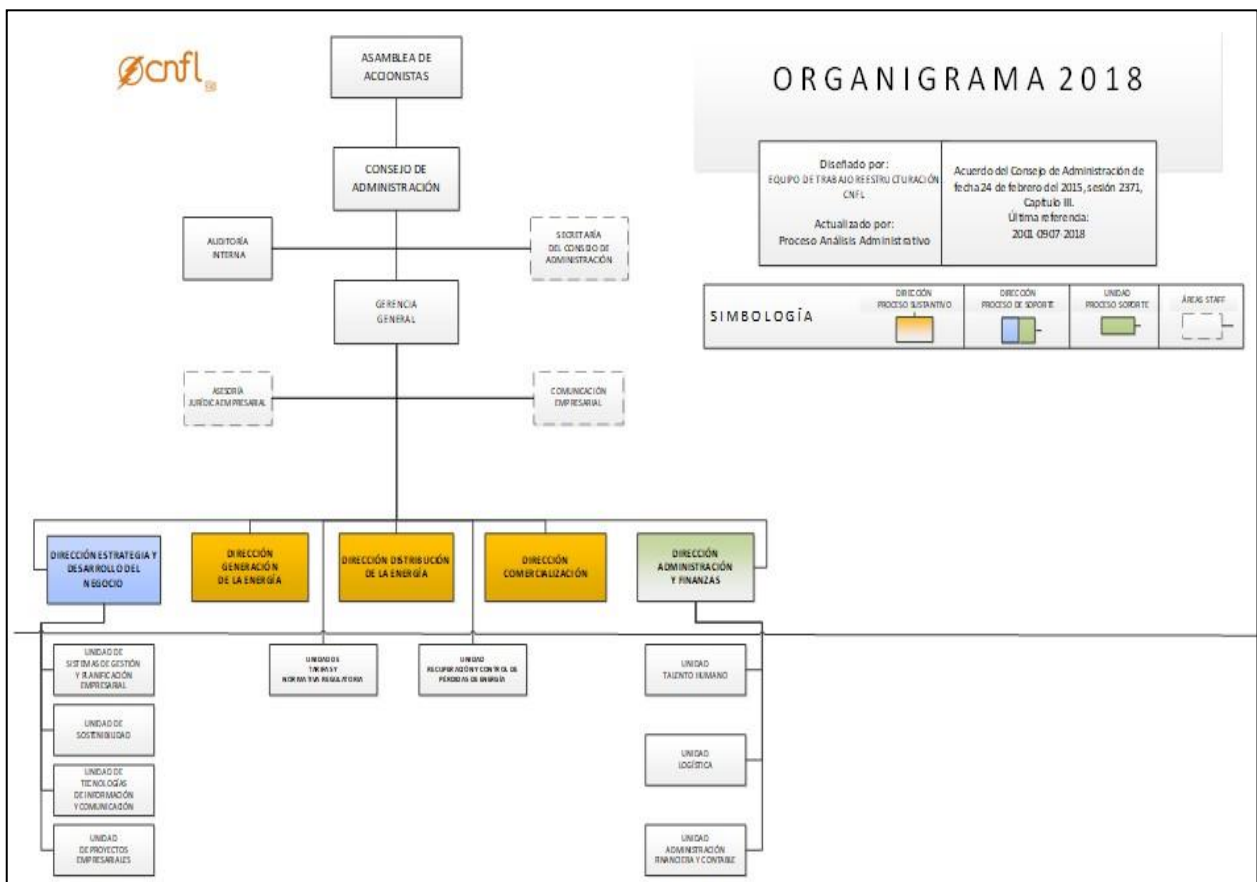


Figura 1 Organigrama CNFL.

Fuente: www.cnfl.go.cr

La empresa cuenta con un total de 1955 colaboradores en sus diversas áreas, para efectos de este proyecto el cual se desarrollará específicamente en Planta Hidroeléctrica Belén, la misma cuenta con un total de 20 funcionarios distribuidos de la siguiente forma:

Nombre del puesto	Cantidad
Operador de planta	4
Ayudante de operador	4
Operador de presa	4
Operador de tanque	4
Misceláneo de plantas	1
Asistente operativo	1
Asistente administrativo	1
Jefatura de planta	1

Tabla 1. Distribución de puestos PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la figura 2 se muestra el organigrama propio de PH Belén, donde se muestra como están organizados por puestos la central Hidroeléctrica.

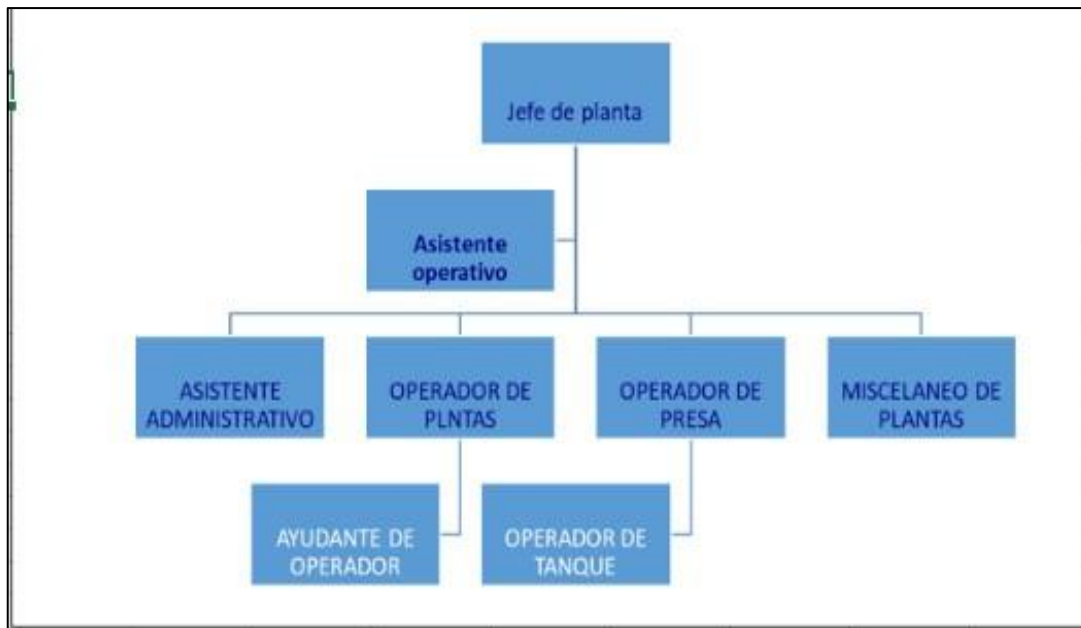


Figura 2. Organigrama PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como lo muestra el organigrama de PH Belén se cuenta con una jefatura la cual es la encargada de administrar las acciones realizadas en la planta, cuenta con un asistente operativo que se encarga en conjunto con la jefatura de tomar la decisiones operativas de la planta, como por ejemplo estar al tanto de la presa, tanque y casa máquinas, por otra parte cuenta con un asiste administrativo que se encarga de todo lo relacionado a los trámites administrativos de la planta como por ejemplo la confección de planillas, roles de vacaciones, informes, incapacidades, entre otras. En la parte operativa se cuenta con 4 operadores de planta, 4 asistentes de operador los cuales trabajan directamente en casa máquinas y son los responsables de la generación de la planta en sus respectivos turnos, se cuenta con 4 operadores de presa y 4 operadores de tanque, que trabajan en forma coordinada con el operador de planta, la planta cuenta con una persona miscelánea que se encarga de realizar diversas funciones como mantenimiento de zonas verdes y cubrir a personal de la presa y tanque cuando se requiera. Cabe mencionar que la

Planta Hidroeléctrica Belén opera de forma continua en tres turnos, el turno de la mañana de seis de la mañana a dos de la tarde, el turno mixto de dos de la tarde a diez de la noche y por último el turno nocturno de diez de la noche a seis de la mañana.

1.2.2 Descripción del proceso

El proceso de producción de energía en PH Belén, comienza en la presa, en la cual el agua del río es encausada hacia un canal de conducción donde se ubica la parrilla de gruesos, cuya función es que no ingrese basura al canal de conducción, la misma tiene unas dimensiones de tres metros de ancho por tres metros y medio de alto, las dimensiones del canal son cinco metros de ancho por siete metros de profundidad, cuenta con una capacidad de catorce mil metros cúbicos por segundo, tiene un largo total de cuatro kilómetros hasta la siguiente etapa del proceso que sería en tanque de oscilación de la planta, en este punto se cuenta con una parrilla de finos que no permite el ingreso de basura al siguiente proceso el cual sería la conducción del agua por tuberías de presión hacia casa máquinas, en esta parte del proceso la PH Belén cuenta con dos unidades generadoras de 1250 Kilowatts y una unidad de 8 000 Kilowatts para una potencia total instalada de 10 500 Kilowatts.

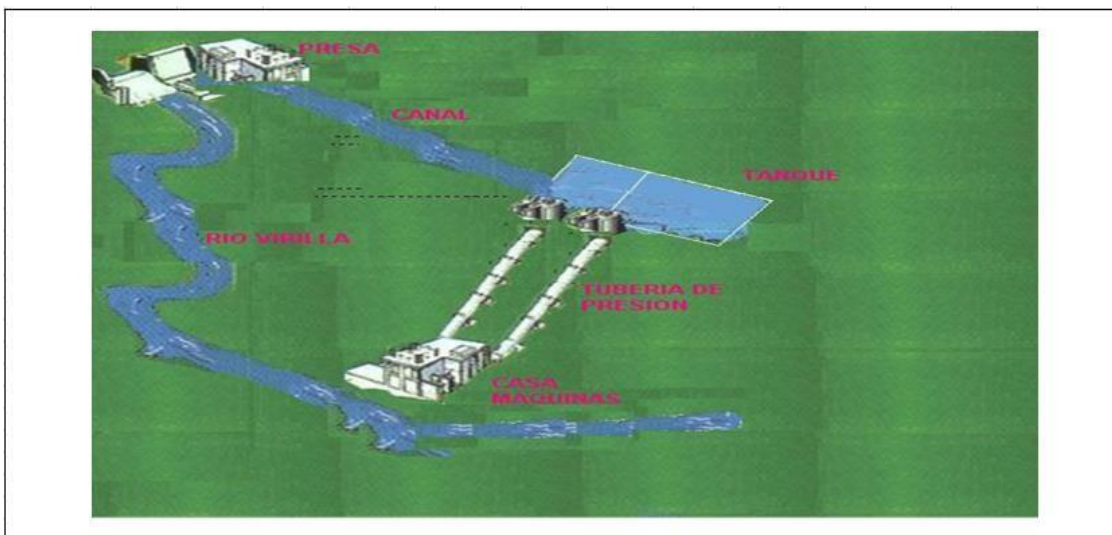


Figura 3. Proceso Generación PH Belén

Fuente: Elaboración propia, 2021

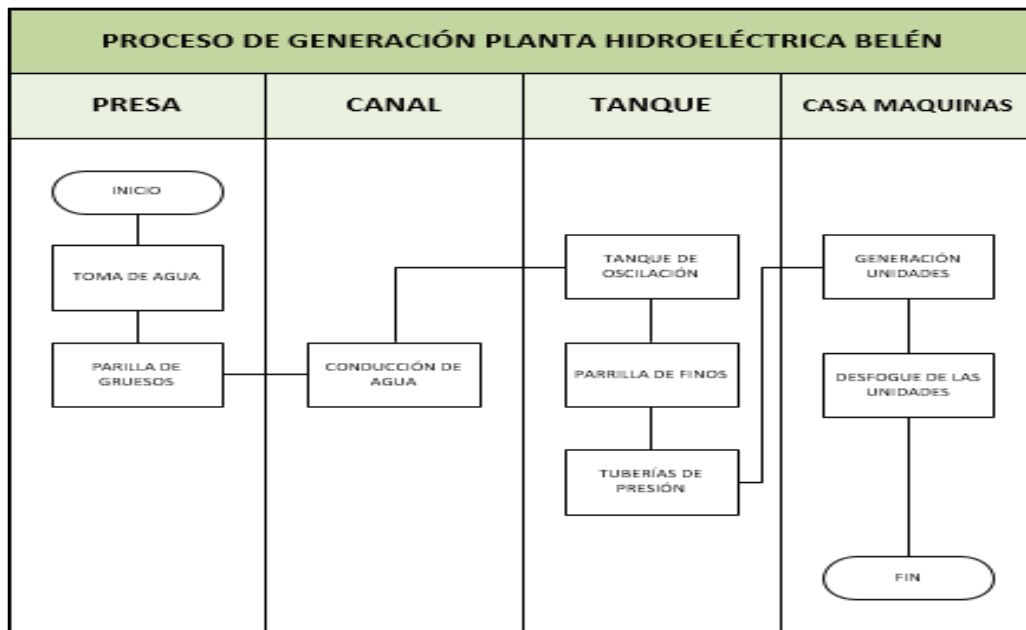


Figura 4. Diagrama de flujo Generación PH Belén

Fuente: Elaboración propia, 2021

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1 IDEA DEL PROBLEMA.

Se desconoce las pérdidas de generación en el proceso productivo de energía eléctrica en PH Belén por el concepto de atasco de parrilla de la presa, debido al arrastre de basura que proviene del río Virilla, por lo que esta afectación no se está viendo reflejada en el indicador de generación ni disponibilidad operativa de planta.

1.3.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

La empresa no cuantifica las pérdidas de generación por atasco de parrilla de la presa producto del arrastre de basura proveniente del río Virilla, esto debido a que siempre lo han manejado como una condición natural del río, tomando como objeto de estudio dicho proceso en la generación entre los años 2016 a 2020 se ha estimado una pérdida por este concepto de ₱126 920 605,78 este monto

contempla las horas fuera de línea de las unidades para poder realizar los lavados correspondientes en la presa producto del atasco de la parrilla. A continuación, se muestra la siguiente tabla donde se desglosan las pérdidas estimadas por este concepto.

Pérdida estimada 2016 a 2020 por lavados PH Belén		
Años	Pérdida estimada	
2016	₡	33 968 909,60
2017	₡	61 110 424,70
2018	₡	11 164 383,75
2019	₡	9 675 744,00
2020	₡	11 001 143,73

Tabla 2. Pérdida estimada 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

El presente proyecto se enfoca en diseñar un modelo que permita minimizar las pérdidas de generación de electricidad en Planta Hidroeléctrica Belén por concepto de atascos en la parrilla de la presa, como también minimizar los tiempos fuera de línea de las unidades y mantenimientos correctivos generados por la basura en las unidades de generación.

Actualmente la Planta Hidroeléctrica Belén carece de un modelo o un indicador que le permita cuantificar las pérdidas generadas por este concepto y cuantificar las horas fuera de línea de las unidades que afectan la disponibilidad operativa de la misma. Durante los años 2016 a 2020 se ha generado una pérdida de ₡126 920 605,78, lo cual representa porcentualmente un total de 4,98%. Ante esta situación que se presenta se hace necesario establecer algún mecanismo que permita minimizar estas pérdidas de generación y como contra parte poder depurar la generación entregada por PH Belén a la matriz eléctrica del país.

Dicho proyecto impacta de forma directa y positiva la generación de la Planta Hidroeléctrica Belén, así como también la disponibilidad operativa de las unidades, mejorando los indicadores de generación y contemplando el factor de lavados en la presa dentro del indicador de disponibilidad operativa, para de este modo poder cuantificar las pérdidas por este concepto. Otro punto importante por lo cual impactaría de forma positiva tanto a la empresa como a la sociedad es que la CNFL genera con sus plantas un total de 11% aproximadamente de la energía en periodos de invierno y 9% aproximado en periodos de verano que se distribuye y comercializa

tanto a clientes residenciales, industriales y comerciales dentro de sus zonas servidas, el restante porcentaje del cual se comercializa y distribuye se le factura al ICE, de ahí la importancia de optimizar los recursos de tal modo que se pueda generar la mayor cantidad de tiempo la totalidad de la capacidad instalada de la central, como también minimizar los pagos que se realizan por concepto de pago de compra de energía al ICE.

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO.

1.5.1 OBJETIVO GENERAL.

Realizar un estudio del proceso de Generación eléctrica en la central Hidroeléctrica Belén, analizando las posibles causas que generan pérdidas de producción en este caso Kilowatts, como pérdidas económicas, mediante el estudio y análisis cuantitativos que permitan identificar posibles problemas para la generación de la central hidroeléctrica.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Realizar un diagnóstico del estado actual de cómo se realizan las labores de limpieza de la parrilla de gruesos de la presa de PH Belén.
- Cuantificar las pérdidas de generación producto de atascos por basura en la parrilla durante los años 2016 a 2020.
- Identificar las oportunidades de mejora para el proceso de generación de PH Belén.
- Determinar el costo / beneficio de implementar una propuesta de mejora para el proceso productivo de PH Belén.

1.6 ALCANCE Y LIMITACIONES.

1.6.1 ALCANCE.

Con la realización de este proyecto se estará abordando el proceso productivo de generación hidroeléctrica en PH Belén el cual incluye: el estudio de las formas de trabajo en casa máquinas, tanque y presa. Se analizará los tiempos de limpieza en

la presa y los costos por este concepto, como también los costos incurridos por mantenimiento correctivos a las unidades producto de la basura arrastrada en el proceso. En el alcance se tiene incluido una propuesta de mejora para minimizar las pérdidas de producción como minimizar los tiempos de limpieza en la central hidroeléctrica y como contra parte poder maximizar la generación de PH Belén según su capacidad instala.

1.6.2 LIMITACIONES.

Para el desarrollo de este proyecto se determinó como una limitante la forma en la que la información necesaria para el proyecto estaba almacenada, se evidencio que la misma está muy dispersa y en diferentes áreas dentro de la empresa. Otra de las limitantes a la hora de realizar el análisis de datos es el tema relacionado a la pandemia por Covid-19, por lo que cierta parte del personal de CNFL se encuentra en labores de teletrabajo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

El presente proyecto está enfocado en analizar las pérdidas de producción por atasco de parrilla de gruesos en la presa de PH Belén, analizando los procesos productivos actuales, como también la forma de realizar dicha limpieza hasta la fecha en la planta.

2.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL RELATIVO DE LA CARRERA.

2.1.1 INGENIERÍA INDUSTRIAL.

La ingeniería industrial es una de las ramas más importantes dentro del sector laboral, debido a que esta involucra no solo una herramienta para el análisis de las diversas aristas que se presentan en las organizaciones, sino que es un conjunto de herramientas y un sin número de aspectos fundamentales para el buen accionar dentro de las empresas, tanto para el análisis de procesos, factores económicos, mano de obra, materiales, maquinaria, administrativos, planeamiento, mejora continua de procesos, indicadores, recurso humano, entre otra gran cantidad de herramientas para hacer de las empresas un entorno más productivo y más ágil para la toma de decisiones. La ingeniería industrial ocupa de una gran cantidad de recursos los cuales, en gran magnitud o pequeña, combinados o no, el ingeniero busca sacarle el máximo provecho para alcanzar los objetivos estratégicos establecidos por las organizaciones.

Otro aspecto de gran relevancia que busca la Ingeniería Industrial dentro de las organizaciones es la mejora continua que permita la toma de decisiones de forma más oportuna y bajo un concepto de investigación asociado. Como se muestra en el cuadro proceso de mejoramiento continuo, dentro de cualquier proceso productivo siempre existe la posibilidad de mejorar, definir objetivos, análisis de la información, realizar un plan de análisis, ejecución, verificación, estandarizar los procesos, informe final.

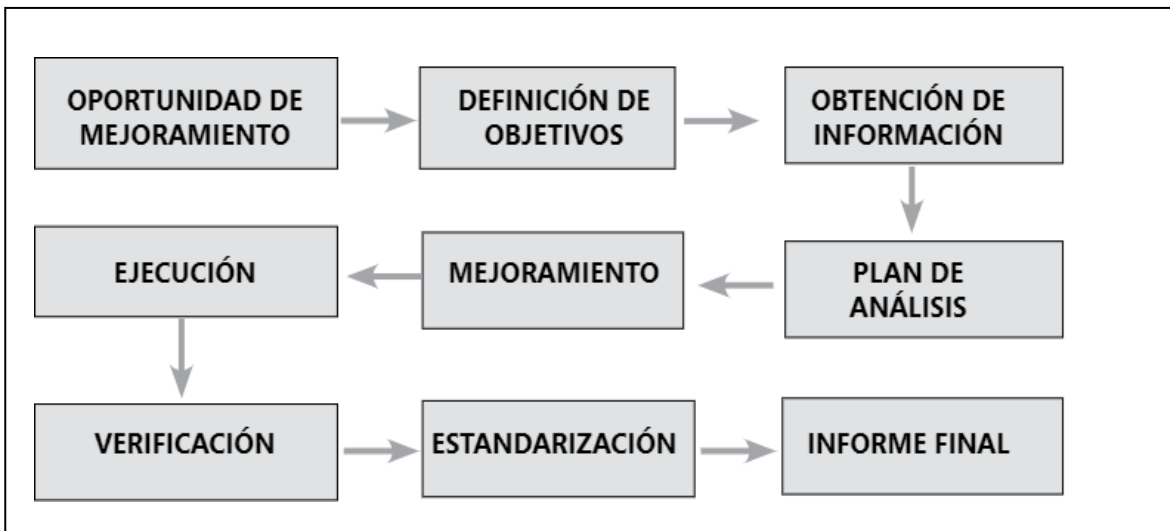


Figura 5. Proceso de mejoramiento continuo.

Fuente: (Herrera)

2.1.2. PROCESO PRODUCTIVO.

Como se menciona en el libro los procesos industriales y el medio ambiente: “Un nuevo paradigma, el cual indica que un proceso productivo es la transformación de un material que se encuentra en un estado inicial llamado materia prima, a través de una serie de etapas que, en su conjunto se denominan proceso; todo esto, para llevarlo a un estado final denominado producto” (Méndez Delgado, 2011).

Según hace referencia en la cita el proceso productivo de cualquier organización con lleva una serie de actividades relacionadas con la transformación de un insumo, materia prima, para transformarlo en un producto final ya sea este un bien, producto o servicio, todas estas acciones con la intención de ser competitivos en el sector o nicho al cual pertenece la organización.

Como se muestra en la figura 5, el proceso productivo inicia con la con las estradas al proceso, ya sea bien tangible o intangible, posterior a esto se da la transformación de este hacia un producto o servicio que ofrezca la organización y por último se da las salidas del proceso, siempre con la intención de satisfacer las necesidades del cliente.

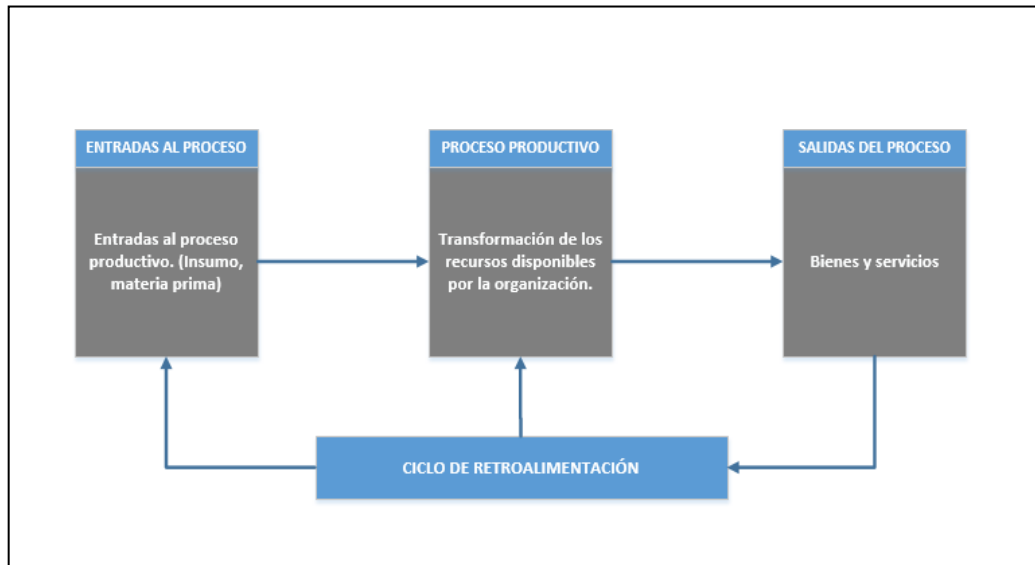


Figura 6. Diagrama de flujo Proceso productivo.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.1.2.2. GESTIÓN DE PROCESOS.

Las buenas gestiones en los procesos de las organizaciones se convierten en armas competitivas para desarrollarse en los mercados actuales, en los cuales se busca la mejora continua, la simplificación de las labores y el dinamismo en las operaciones que conforman cada una de las estructuras de las empresas. Cada uno de los procesos debe estar bien definido y estructurado de tal forma que la planeación de las tareas sea clara y concisa para el alcance de los objetivos propuestos.

Como se menciona en el libro Gestión Estratégica Organizacional, en su tercera edición “Las empresas, cualquiera que sea su estrategia corporativa, lo que buscan es dar valor a los consumidores y para eso deben tener cosas bajas o un producto diferenciado. La clave entonces está en la revisión de los procesos y actividades desde el proveedor hasta el consumidor o cliente final y para eso debe hacer uso de la gestión estratégica organizacional” (Herrera, Gestión Estratégica Organizacional, 2011).

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de cómo la CNFL agrupa sus procesos productivos de tal forma que todas sus operaciones están representadas en el mapa de procesos.

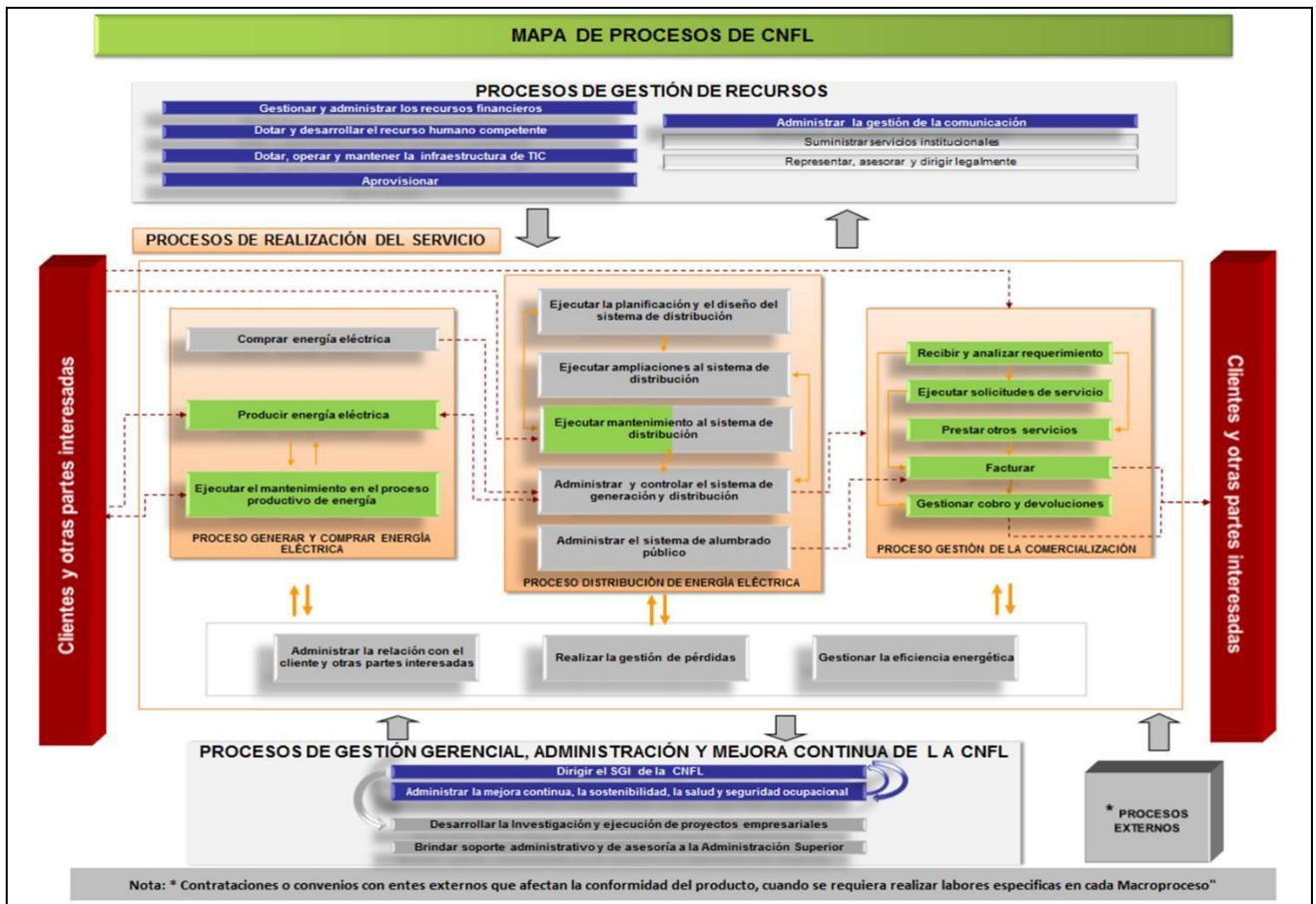


Figura 7. Mapa de procesos CNFL.

Fuente: (<https://intranet.cnfl.go.cr/index.php/comunidad-cnfl/documentos-vigentes-de-la-cnfl>, s.f.)

2.1.2.3 TIPOS DE PROCESOS.

Dentro de las organizaciones existen tres tipos de procesos identificados los cuales son: Procesos estratégicos, procesos del negocio, procesos de apoyo.

Procesos estratégicos:

Los procesos estratégicos dentro de las organizaciones marcan el camino para dónde quiere ir la organización, acá es donde se marcan estrategias y directrices para el establecimiento de la misión, visión, valores, directrices, objetivos corporativos, departamentales, así como también se deben establecer programas de acción de pueden hacer medible los planes estratégicos de las organizaciones. Es importante dentro de este marco estratégico que los colaboradores dentro de la organización estén claros de los mismos y puedan implementar diversas acciones que ayuden a alcanzar dichos procesos estratégicos.

Todos estos procesos estratégicos deben de estar ligados directamente con la gerencia y deben de tener un tiempo establecido, una manera de poder medir dicho proceso es estableciendo indicadores que pueden dar un panorama más claro de un determinado momento de las organizaciones.

Procesos del negocio:

Dentro de este proceso del negocio la misión y la satisfacción del cliente son muy importantes, se puede decir que mucho de estos procesos se enfocan en los servicios que ofrece la organización ya sea un bien tangible o intangible. Estos procesos lo que se encargan de transformar la materia prima en un producto final de calidad para el cliente o consumidor final.

Procesos de apoyo:

Los procesos de apoyo dentro de las organizaciones son aquellos que proveen un apoyo a las actividades productivas propios del negocio, estos también se pueden llamar como procesos secundarios. Algunos de los procesos de apoyo en las organizaciones se encuentran: Gestión de talento humano, Logística, Gestión Jurídica, Proveeduría, entre otros, estos son de gran importancia para el alcance de los objetivos estratégicos de las organizaciones.

2.1.3 DIAGRAMA DE FLUJO.

Los diagramas de flujo se utilizan para describir gráficamente diversas etapas de un determinado proceso y sus interacciones con otras partes del proceso al cual pertenecen, estos diagramas se crean con la intención de facilitar la comprensión de los procesos como tal, son más fáciles de comprender que los gráficos en un proceso, estos diagramas son de gran utilidad para representar procesos, proponer mejoras a los procesos actuales, toma de decisiones. En los diagramas de flujo se emplean diversas figuras que representan los componentes o pasos dentro de un sistema como, por ejemplo: rectángulos, óvalos, círculos, también se componen de flechas las cuales conectan los pasos dentro del diagrama y denotan la secuencia de operaciones dentro de los mismos. A continuación, se muestra en la siguiente imagen la simbología, nombre y función que se representa dentro de los diagramas flujos para ayudar a comprender como interpretarlos:





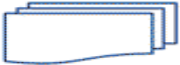

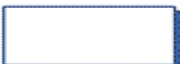



SÍMBOLO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Terminal: Indica el inicio o la terminación del flujo del proceso.		Actividad: Representa la actividad llevada a cabo en el proceso.
	Decisión: Señala un punto en el flujo donde se produce una bifurcación del tipo "Sí" – "No".		Documento: Documento utilizado en el proceso.
	Multidocumento: Refiere un conjunto de documentos. Por ejemplo, un expediente.		Inspección / Firma: Aplicado en aquellas acciones que requieren de supervisión.
	Conector de un Proceso: Conexión o enlace con otro proceso, en el que continúa el diagrama de flujo. Por ejemplo, un subproceso.		Archivo: Se utiliza para reflejar la acción de archivo de un documento o expediente.
	Base de Datos: Empleado para representar la grabación de datos.		Línea de Flujo: Indica el sentido del flujo del proceso.

Figura 8. Simbología diagramas de flujo.

Fuente: (<https://www.aiteco.com/diagrama-de-flujo/>, s.f.)

En resumen, como se dice en el libro Introducción al Estudio del Trabajo "Los diagramas sirven para indicar el movimiento y/o las interrelaciones de movimientos con más claridad que los gráficos" (Kanawaty, 1996)

2.1.3.1 Beneficios del diagrama de flujos en procesos

- Brindan un beneficio a los colaboradores del proceso a entender de manera más sencilla el proceso.
- Facilita a la organización simplificar sus procedimientos.
- Permite realizar mejoras a los procesos productivos.
- Involucra al personal del área, departamento, dirección a la planificación y realización de estos integrando diversos puntos de vista.
- Se eliminan todos aquellos aspectos que no generan valor al proceso.
- Clarifica de mejor manera los participantes dentro del proceso.

2.2 MARCO CONCEPTUAL ATENIENTE A LA GESTIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se efectuará utilizando la metodología DMAIC, esta se utiliza para establecer los parámetros correctos en el curso de la investigación del proyecto. Esta metodología busca siempre la mejora continua de los procesos productivos de las organizaciones, buscando una excelencia en los mismos que permitan una toma de decisiones basada en la mejora de los procesos.

Este método de mejora continua, llamado así por las etapas que lo componen para definir las pautas del proyecto, las mismas se citan en el libro Calidad Total Y productividad (2005) como: “Definir, Medir, Analizar, Mejorar y control, las cuales se resumen con las siglas DMAIC” (PULIDO, 2005)

A continuación, se muestra la siguiente figura en relación con las características o principios de Seis Sigma:

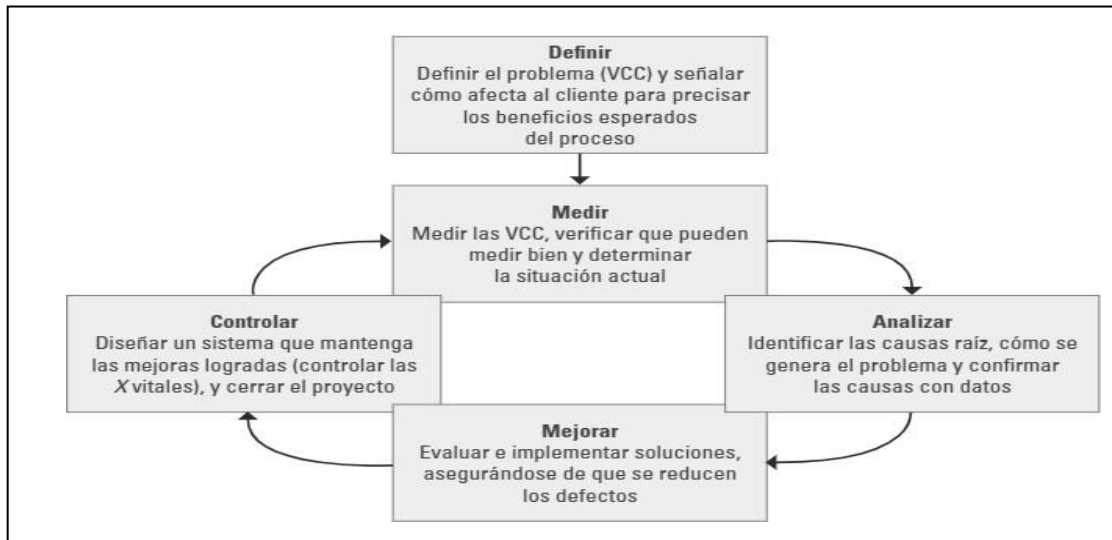


Figura 9. Características Seis Sigma

Fuente: (Pulido)

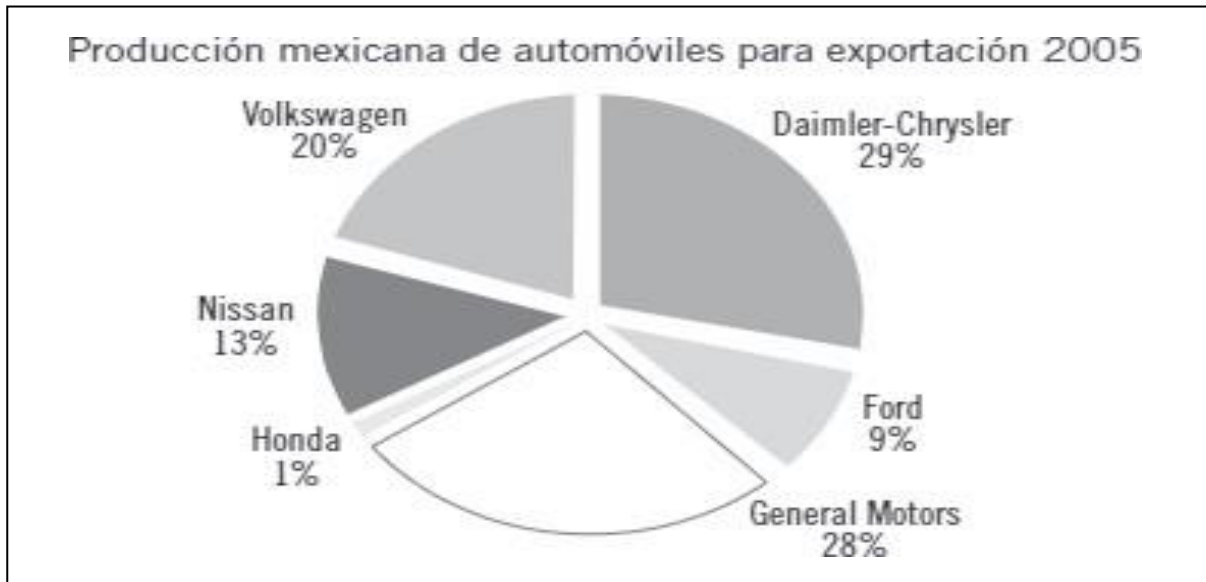
2.2.1 DEFINIR.

Dentro de la metodología esta es la primera parte el proceso la cual se enfoca y delimita el proyecto en cuestión, para esta etapa es muy importante contar con una claridad de lo que se pretende investigar, se debe delimitar los objetivos del proyecto, se debe establecer el alcance de este.

2.2.1.1 Gráficos de comparación

Los gráficos de comparación nos ayudan a comprender mejor por medio de valores numéricos condiciones de un determinado problema en distintos momentos en el tiempo, de este modo poder comparar momentos distintos a un determinado problema, se puede decir que sirven como una fotografía de un momento del problema que se está analizando, dichos gráficos nos pueden ayudar a ver diversos comportamientos de un proceso productivo como, por ejemplo: temperaturas, niveles, muestras, costos, utilidad, entre otros.

A continuación, se muestra un ejemplo de una gráfica en relación con la producción de automóviles mexicanos para exportación en el año 2005.



Grafica 1 Ejemplo grafica de comparación.

Fuente: (Rodríguez Franco, Pierdant Rodríguez, & Rodríguez Jiménez, 2016)

Ventajas de los gráficos de comparación:

- Facilitan la comparación de las categorías de la serie secundaria para cada una de las categorías de la serie principal.
- Se muestran las diferencias en las magnitudes de las diversas categorías o componentes de la situación en análisis.
- Las gráficas se colocan a la par, para que la comparación sea más fácil de analizar.
- Cuando se hacen cortes en la escala, estos deben abarcar por completo las características que se están comparando.
- Facilitan la toma de decisiones en un proceso.
- Puede mostrar el avance o retroceso de un proceso en espacial.

2.2.1.2 Análisis FODA.

El análisis FODA es una herramienta utilizada para diagnosticar dentro de las organizaciones las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, se utiliza para desarrollar cualquier estrategia comercial, partiendo del punto interno de la organización donde se pueden estudiar las fortalezas y debilidades detectadas dentro de las organizaciones y proyectar las diversas aristas que ofrecen el mercado al cual nos encontramos comercialmente hablando, como por ejemplo analizar las amenazas y oportunidades en los mercados actuales.

Este análisis FODA es de suma importancia para las organizaciones debido a que al realizar un estudio de esta naturaleza mostrara un entorno más claro para las empresas y partir de acá para desarrollar sus objetivos estratégicos, la toma de decisiones o cambios organizativos que permitan ser más ágiles en sus operaciones y estar anuentes a cualquier cambio en el mercado.



Figura 10. Matriz Análisis FODA

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se muestra en la figura 10 Matriz Análisis FODA, las fortalezas y las debilidades corresponden a factores internos dentro la organización y dependen de las mismas organizaciones potenciar sus fortalezas convirtiéndolas en armas

competitivas en el mercado, un ejemplo de fortalezas dentro de las empresas puede ser su posicionamiento como marca en el mercado, si bien es cierto es una fortaleza ya por sí sola, con una mejor gestión de posicionamiento de marca tendrá mucho más éxito en el nicho de mercado al cual pertenece. Por otra parte tenemos las debilidades que también se ven reflejadas a lo interno de las organización, estas debilidades deben ser trabajadas para convertirlas en fortalezas de ahí la importancia de un análisis FODA para poder diagnosticar el estado a nivel interno de las organizaciones, un ejemplo de debilidades dentro de las empresas puede ser no saber cuál es su capacidad de producción de un determinado producto o servicio, de este modo se pueden estar sub utilizando los recursos disponibles.

En el análisis FODA también se analizan factores externos a la organización los cuales no pueden ser controlados al cien por ciento por las empresas, en este caso hablamos de las oportunidades y amenazas. En los mercados cada día más globalizados se pueden encontrar con facilidades estas dos aristas dentro del FODA, por ejemplo, al cambiar los gustos de los clientes se puede volver en una oportunidad de negocio si la empresa está en condiciones de suplir estos nuevos gustos de los clientes, de este modo poder convertir estas oportunidades en una futura fortaleza. Las amenazas también forman parte del paquete en el análisis del mercado en el cual las empresas se ven altamente amenazadas por esta razón, ante esto es de suma importancia que las organizaciones realicen estudios de mercado en los cuales les muestre un panorama más claro por dónde va el norte de la organización y como poder minimizar cualquier amenaza que pueda presentar el mercado, siempre con la intención de verse en la menor medida afectada la empresa.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla en la cual se pueden ver algunos ejemplos de cómo afectan los mercados a las organizaciones realizando un análisis FODA de las diversas situaciones que se puedan presentar:

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Posicionamiento en el mercado • Calidad del producto • Valoración positiva del cliente • Certificación de procesos • Posición geográfica 	<ul style="list-style-type: none"> • No tener objetivos claros • Instalaciones deficientes • Personal poco capacitado • Organización rígida • Poca productividad
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Apertura nuevos mercados • Nueva tecnología aplicada • Expansión de marca • Cambio de gustos del cliente • Acceso a créditos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio gusto del cliente • Competencia en el mercado • Políticas del país • Desastres naturales • Pandemias

Tabla 3. Análisis FODA.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2.2 MEDIR.

En esta segunda etapa de la metodología DMAIC se contemplan todas aquellas mediciones de la condición actual de un determinado proceso dentro del engranaje productivo de una organización, estas acciones se realizan con la intención de tener un panorama más claro del problema al cual se le quiere realizar el análisis mediante la recolección de datos que evidencian tal situación a tratar. Para esta medición se aplican diversas herramientas que ayudan a justificar el proyecto y que se pueda cuantificar las causas identificadas para dar una posible solución al problema.

2.2.2.1 MUESTREO DEL TRABAJO.

El muestreo del trabajo también conocida como método de observación instantáneas u observaciones aleatorias, contempla que el investigador realiza una serie de observaciones del proceso productivo en determinados momentos de forma aleatoria o al azar. Como se menciona en el libro Introducción al estudio del trabajo, “El muestreo del trabajo es una técnica para determinar, mediante muestreo estadístico y observaciones aleatorias, el porcentaje de aparición de una actividad” (Kanawaty G., 1995)

Ventajas del muestreo de trabajo:

- No requiere la observación constante del analista del proceso.
- Se reducen los tiempos.
- Por lo general el analista utiliza menos tiempo de trabajo en la recolección de la información.
- El operario no está sujeto a largos periodos de observaciones de su trabajo.

2.2.2.2 ESTUDIO DE TIEMPOS.

El estudio de tiempos sirve para analizar una determinada operación dentro del sistema productivo, considerando fallas, demoras, retrasos, reprocesos, entre otros, esto se realiza con la intención de obtener un determinado tiempo estándar en las operaciones realizadas, una de las funcionalidades del estudio de tiempos es estandarizar los tiempos a partir de ahí establecer las metas o indicadores del sistema productivo, otra ayuda que brindan es minimizar los costos asociados al tiempo en la tareas que conlleva la actividad.

Dentro de los procesos productivos de las organizaciones existen pérdidas asociadas a la variable tiempo, dicha variable tiene por lo general un efecto negativo para las organizaciones cuando no se tienen las medidas correspondientes o el análisis correcto de las situaciones, por la general estas actividades van ligadas a un retraso en las actividades dentro de la cadena de suministros, retrocesos, no existe estandarización en las operaciones, las métricas se pueden ver afectadas y

los tiempos de producción de un determinado producto. El estudio de tiempos viene a reforzar el control que se debe tener para verificar el cumplimiento de los tiempos dentro del flujo del proceso productivo, el mismo estudio de tiempos evidenciara las áreas o partes del proceso que no cumplan o muestren algún grado de retraso, estos estudios lo que buscan es maximizar las operaciones de las organizaciones volviendo más eficientes los procesos y convertirlos en fortalezas para afrontar el mercado al cual pertenecen.

Como se menciona en el libro Introducción al Estudio del Trabajo, el cual dice que “El estudio de tiempos es una teoría de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una teoría definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida” (Kanawaty G., Introducción al Estudio de Trabajo, 1996)

A continuación, se muestra una tabla elaborada para el estudio de tiempos, en la cual se detallan la operación a realizar, el tiempo, las observaciones relevantes al proceso.

Secuencia	Operación	Hora Inicio	Hora Fin	Observaciones
A				
B				
C				
D				
E				
F				

Tabla 4. Tabla para estudio de tiempos.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2.2.3 Entrevistas:

Este método de recolección de datos consiste en realizar entrevistas a criterio del entrevistador de las diversas personas claves en un determinado proceso, las cuales pueden generar información de suma importancia para el análisis del proyecto, dando una luz con relación a los diversos problemas o situaciones que ellos consideren que afectan al proceso. Estas entrevistas deben de ser estructuradas y específicas de un tema en cuestión, aportando un panorama más claro de la situación actual, este intercambio de información aportara resultados positivos para efectos del proceso.

Preguntas abiertas:

Las preguntas abiertas dentro de una encuesta piden a los entrevistados que brinden respuestas con sus propias palabras, brindando la oportunidad al entrevistado que exprese abiertamente sus opiniones o comentarios sobre el tema a tratar, estas entrevistas por lo general llevan una estructura no tan sólida debido a que según el desarrollo de la entrevista se pueden tocar otros temas de interés provenientes del problema, se puede decir que son más flexibles en ese sentido. Algunos ejemplos de preguntas abiertas pueden ser las siguientes:

- ¿Por qué se han generado pérdidas de producción en los últimos años?
- ¿Por qué no se cuenta con indicadores para el proceso productivo?
- ¿Cómo se tramita los mantenimientos correctivos en la planta?

Como se puede observar este tipo de preguntas brindan la posibilidad de que el entrevistado hable abiertamente o narre lo que el crea conveniente en relación con el tema a tratar, estas preguntas son de suma importancia para el proyecto ya que se convierten en una fuente de información muy generosa de aprovechar, tomando en cuenta que son personas claves dentro del proceso y tienen una experiencia que les permite emitir un criterio válido del tema.

Preguntas cerradas:

Con relación al tipo de preguntas cerradas son las que piden al entrevistado que elija entre un conjunto de respuestas como por ejemplo (si / no) o entre una lista de opciones para responder a un determinado tema, estas preguntas son fundamentales para recolectar datos específicos que el encuestador requiere para el posterior análisis del problema. Algunos ejemplos de preguntas cerradas que se pueden realizar en una entrevista de este tipo pueden ser:

- ¿La planta cuenta con indicadores?
- ¿Se tiene un sistema de limpieza adecuado?
- ¿Los diagramas de proceso son claros?

Como se puede observar este tipo de preguntas son estructuradas y llevan el guion al cual se le quiere llevar a la entrevista, este tipo de entrevista cerrada es de suma importancia para obtener información específica del proceso.

Fuentes de información:

Estas fuentes de información pueden ser de diversos tipos como, por ejemplo: documentación, revistas, entrevistas, reportajes, entre otros, de los cuales se puede extraer diversas informaciones importantes para la realización del proyecto, este tipo de fuente aporta material valioso para conocer y distinguir las características del proceso, en relación con este proyecto se tomarán en cuenta dos tipos de fuente de información las cuales se describen a continuación:

Primarias:

Este tipo de información primaria se puede incluir libros, revistas científicas, periódicos, diarios, documentos oficiales, entre otros, estas aportan un gran conocimiento bajo un criterio firme y estadístico como lo son registros históricos que puede poseer un determinado departamento al cual se somete a un estudio.

Secundarias:

Esta información se obtiene del personal experto o encargado del proceso el cual será objeto de estudio, este tipo de información secundaria es de gran importancia porque proporciona una visión clara de acontecimientos que pueden ser de interés para el desarrollo del proyecto.

2.2.3 ANALIZAR.

En esta tercera etapa se analizan los datos en relación con las causas evidenciadas, en este punto se presenta un panorama más claro para trabajar en el análisis del problema de la investigación, también se pueden sacar conclusiones más concisas del problema en cuestión.

2.2.3.1 HERRAMIENTA 5 POR QUÉ.

Esta herramienta se determina como un método para realizar el análisis de una situación en particular, en la cual se realizan una serie de preguntas lógicas en relación con el contexto del problema con la intención de investigar las relaciones de causa- efecto de un determinado problema en algún proceso dentro de las organizaciones. La idea de la utilización de esta herramienta es llegar al punto exacto del problema o del porque seda esta situación, nos permite obtener un panorama más claro de la situación, por ejemplo, partimos de inicio que tenemos un determinado problema, pero al aplicar la herramienta de forma correcta cabe la posibilidad de que lo que se planteó como problema inicial ya no lo sea si o que más bien el problema principal sea otro.

Esta herramienta de análisis se basa en un proceso de trazabilidad, donde se realizan diversas preguntas para analizar las posibles causas del problema, es importante mencionar que no tienen que ser exclusivamente cinco preguntas que resuelvan el problema en análisis, esto tiene que ver con la complejidad del asunto a tratar, de esto modo el número de preguntas que lleven al ojo del problema puede ser muy variable según la situación del problema.

Trazabilidad	Pregunta	Respuesta
1	¿Porque ocurrió daño en sistema hidráulico de la unidad generadora?	Porque el manómetro de presión no media bien.
2	¿Porque no estaba midiendo correctamente?	Porque el manómetro no estaba calibrado
3	¿Porque el manómetro no estaba calibrado?	Porque no se tiene un cronograma de calibración.
4	¿Porque no se tiene un cronograma de calibración?	Porque el personal de la planta no está calificado para hacer esta función
5	¿Porque no está calificado para hacer esta función?	Por falta de capacitación

Tabla 5. ¿Tabla cinco por qué?

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se muestra en la tabla cuatro, el problema que origino todo este análisis fue un daño en el sistema hidráulico de la unidad, producto de un manómetro mal calibrado, pero al realizar el análisis de la situación se determinó que el problema principal era que el personal de la planta no estaba calificado para realizar esta

función dentro de la planta, por esta razón ningún operario procedía a realizar la revisión correspondiente del manómetro.

Como se menciona en el libro Control de la Calidad, “Esta herramienta es muy beneficiosa para desarrollar el razonamiento crítico, con frecuencia es un método rápido para resolver un problema” (Besterfield, Control de la Calidad, 2009)

2.2.3.2 DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO (ISHIKAWA).

Para el desarrollo del proyecto una de las herramientas de análisis y toma de decisiones que utilizara es el diagrama causa- efecto, esta herramienta se centra en el análisis de los problemas que básicamente presenta la relación entre un efecto y todas las posibles causas que lo ocasionan.

Como se menciona en el libro Administración de la Calidad en su octava edición, “Un diagrama de causa y efecto es una figura formada por líneas y símbolos cuyo objetivo es representar una relación significativa entre un efecto y sus causas. Fue creado por Kaoru Ishikawa en 1943, y también se le conoce como diagrama de Ishikawa” (Besterfield, 2009)

Como elaborar un Diagrama de Causa- Efecto:

- Constituir en lo posible un equipo de trabajo multidisciplinar que permita la obtención de diversos puntos de vista.
- Describir de forma concisa y clara el problema en cuestión.
- Identificar claramente las categorías dentro de las cuales se pueden clasificar las causas del problema.
- Realizar un análisis de las causas, esto puede ser mediante una lluvia de ideas.

- Preguntarse el porqué de cada causa, el objetivo de esta técnica es averiguar el porqué de cada una de las causas.
- Como resultado del análisis se obtendrá una serie de sub-causas que consistirán en las llamadas espinas menores dentro del diagrama causa-efecto.

Con los diagramas de causa-efecto se investigan los efectos malos y se emprenden acciones para corregir las causas, se establecen diversas aristas para tratar el problema, en la siguiente figura se muestra un diagrama causa-efecto con respectivos componentes para realizar el análisis de cualquier problema que esté afectando la organización.

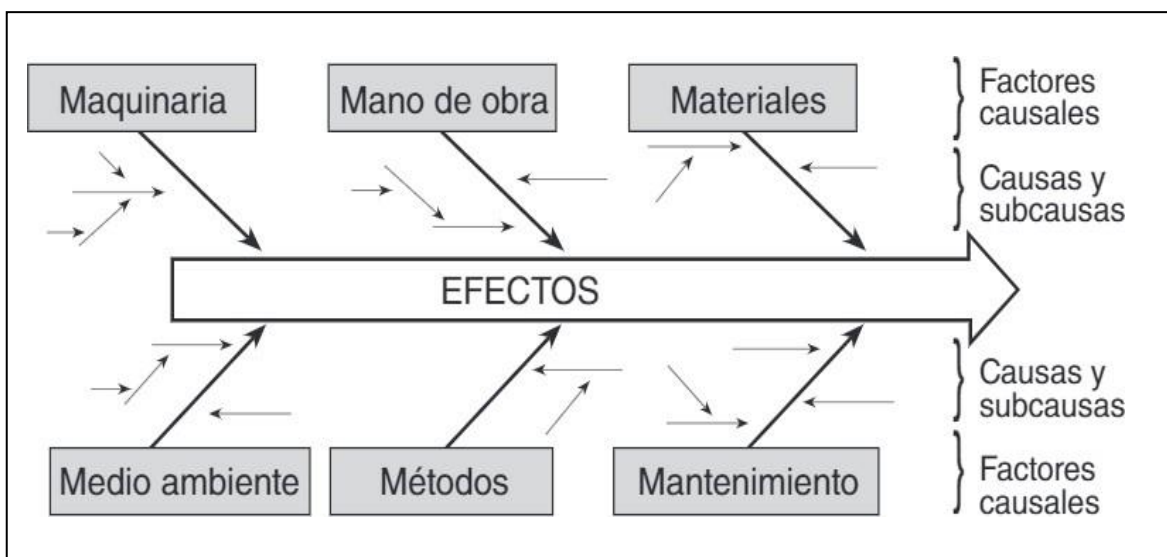


Figura 11. Diagrama Causa-Efecto

Fuente: (Cuatrecasas, 2010)

Como se muestra en la figura once (Diagrama Causa-Efecto) para este proyecto se utilizará el método de las 6M, este método consiste en agrupar las diversas causas potenciales en seis variables principales que se describen a continuación:

Mano de obra o personal:

En relación con este apartado dentro del diagrama se tienen que incorporar todas las variables que se relacionen directamente al personal involucrado en los procesos productivos de la organización, se puede mencionar entre algunas causas: capacitación, motivación, pagos, habilidades, incapacidades, vacaciones del personal. En síntesis, se ubican en este apartado todo lo relacionado con el personal de la organización y todo lo que este puede llegar a afectar el proceso.

Métodos:

En este apartado en particular se contemplan todos los métodos utilizados por la organización para sus procesos, como, por ejemplo: procedimientos establecidos, instructivos, diagramas de flujo, manuales, normas, entre otros, se analizan acá todos estos documentos los cuales son utilizados para el desarrollo cotidiano de las actividades dentro de la empresa.

Máquinas o equipos:

Cuando nos referimos a las variables correspondientes a maquinaria o equipos se toman estimaciones importantes como la capacidad del equipo, condiciones de estos, el grado de eficiencia de las máquinas o equipos, mantenimiento requerido por los equipos, calibraciones, equipo obsoleto, repuestos, entre otras, todos estos detalles anteriormente mencionados son muy importantes de analizar en un proceso productivo y nos pueden dar una luz en relación con posibles fallas por estas causas.

Material:

Dentro del diagrama causa-efecto cuando nos referimos al apartado de material se determinan todas aquellas variables que interfieren o se relacionan directamente con la utilización de los materiales y como esto influye en la cadena de producción a la cual se dedica la organización, ejemplos de estos se pueden mencionar, materiales que no cuentan con las especificaciones necesarias, falta de stock, inventario mal realizado, exceso o desperdicio en la línea de producción, pérdida de materiales, entregas lentas por parte de proveedores, todos estos factores se deben analizar para realizar una toma de decisiones en relación a este apartado.

Mediciones:

En el apartado de mediciones se contemplan la disponibilidad de las áreas de la organización para efectuarlas y detectar el problema, es de suma importancia cuando se necesiten realizar las mediciones utilizar un método confiable que garantice la precisión requerida para la investigación.

Medio Ambiente:

En este punto se deben analizar variables relacionadas con las instalaciones, lugares de trabajo, condiciones ambientales adversas para los procesos productivos, deficiencia en el diseño de los puestos de trabajo, realizar grandes desplazamientos, ruido, iluminación, contaminación, todas estas variables pueden afectar la cadena de producción en las organizaciones.

2.2.3.3 PARETO

La utilización de esta herramienta es obtener un diagrama, en el cual se pueda interpretar de manera fácil y que se represente la relación entre el efecto y la causa que lo produce, de esta manera se puedan evidenciar una determinada situación que ayude a la toma de decisiones.

El análisis de Pareto es útil para la identificación de, los artículos o actividades de interés, los cuales son identificados y medidos con una misma escala y luego se ordenan en orden descendente. Este diagrama de Pareto es utilizado para determinar las prioridades para ciertas actividades que impulsen el control total de la calidad.

Algunos pasos para la construcción de un diagrama de Pareto pueden ser, decidir y delimitar el problema, con base en lo anterior se decide que datos se van a necesitar, es importante definir el periodo en que se van a tomar los datos para el análisis, al terminar de tomar los datos se debe construir una tabla donde se cuantifique la frecuencia de cada defecto, así como su porcentaje.

A continuación, se muestra un ejemplo de la utilización del diagrama de Pareto para la interpretación de los datos de un determinado problema. Se analizan los accidentes ocurridos en un determinado tramo de la carretera, clasificándolos por su causa principal.

<i>Número de accidentes en un tramo de la carretera</i>			
<i>Causa principal del accidente</i>	<i>Numero de accidentes</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Porcentaje acumulado</i>
Exceso de velocidad	72	60%	60%
Peatones en la calzada	24	20%	80%
Sobrepaso prohibido	12	10%	90%
Falla técnica (frenos)	6	5%	95%
Conducir alcoholizado	4	3,3%	98,3%
Otros	2	1,7%	100%
Total	120	100%	

Tabla 6. Número de accidentes en tramo de carretera.

Fuente: (Carro Paz & González Gómez)

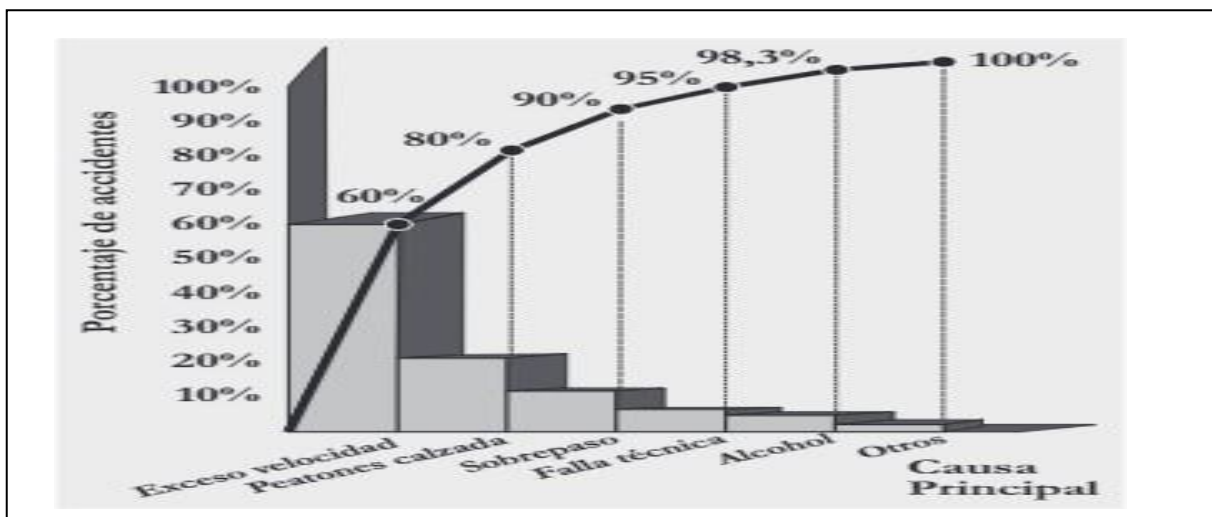


Figura 12. Diagrama de Pareto accidentes en carreteras.

Fuente: (Carro Paz & González Gómez)

Como se muestra en la tabla seis y la figura doce, el 80% de los accidentes están provocados principalmente por dos causas, exceso de velocidad que representa en 60% y peatones en la calzada el cual representa el 20%. Con esta técnica se representa de forma más clara las variables a corregir.

2.2.4 MEJORAR

En esta etapa dentro de la metodología establecemos soluciones pertinentes a la investigación y para trabajar sobre las causas del problema, como objetivo es poder corregirlas, también se debe mencionar que implementadas las soluciones se valoran los datos posteriores a la mejora para de este modo poder mostrar la trazabilidad en las soluciones propuestas, las mismas deben de ser medibles para comprobar la validez dentro de un proceso de mejora continua.

2.2.4.1 ANÁLISIS DE CAPACIDAD

Para la organización es de suma importancia conocer su capacidad productiva, cuando esta capacidad no se tiene clara la organización no tiene un punto de partida en relación con la programación de su producción por ejemplo puede darse que se estén subutilizando los recursos disponibles. En general conocer la capacidad productiva ayuda con la implantación de indicadores que monitorean realmente cómo se comporta un determinado proceso productivo. Del mismo modo al no tenerse claro la producción no se pueden establecer mejoras ni planes de mejora continua concisos que ayuden hacer los procesos más ágiles y eficientes.

Como se menciona en el libro Calidad Total y Productividad, “Conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada; esto permitirá saber en qué medida tal característica es satisfactoria” (Pulido H. G., 2005)

En las organizaciones se pueden definir diversos tipos de análisis de capacidad como lo son:

Capacidad teórica: Esta se representa utilizando el 100% de su capacidad instalada, la misma de forma completa y con un flujo de materia prima constante para la producción y con un personal a tiempo completo para la producción.

Capacidad de diseño: Es la también conocida como la capacidad alcanzada con el mejor nivel de operación, esta se puede definir como la máxima capacidad teórica que el sistema puede alcanzar siempre y cuando se presenten condiciones óptimas para alcanzar este efecto en la producción.

Capacidad efectiva: En este tipo de análisis de capacidad interfieren variables como tiempos de descanso, tiempos por pérdida de tiempo, pérdida de tiempos por mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de las maquinarias, también afectan los reprocesos debido a que el factor humano siempre está presente, tomando en cuenta todas estas variables la capacidad efectiva se define como la producción que se espera obtener con las condiciones reales de producción.

Capacidad real: Esta capacidad tiene que ver con la producción alcanzada en un determinado periodo de tiempo ya establecido, esta capacidad es la que se mide cuando ya termino el proceso productivo, esta capacidad real es la que nos termina por dar el sistema una vez que todas las variables que afectan el sistema ya fueron contempladas.

Utilización del capacidad: En este caso para determinar la utilización del sistema se divide el resultado de la capacidad real obtenida contra la capacidad de diseño del sistema productivo, el resultado de la misma se puede ver reflejado como el aprovechamiento de la capacidad del sistema, Este punto es muy importante porque permite a las organizaciones establecer ciclos de mejora continua en sus procesos que permitan elevar el resultado de su capacidad real, teniendo por objetivo llegar lo más posible a un 100% de su capacidad instalada en producción real.

A continuación, se muestra un ejemplo de análisis de utilización de la capacidad en una central hidroeléctrica, con una potencia total instalada de 10500 kWh, para los meses de enero y febrero:

Mes (kWh)	Enero	Febrero
Generación real	8000	1000
Generación proyectada	10500	10500
Desempeño	76,19%	95,23%

Tabla 7. Análisis utilización de capacidad.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2.4.2 Factores que afectan la capacidad de producción

Para tener una capacidad de producción acorde con la capacidad instalada se debe de tener en cuenta todos aquellos factores que afecten de forma directa o indirecta la producción, de esta forma idear estrategias competitivas que permitan competir a las organizaciones en los mercados actuales, como se menciona en el libro Dirección de operaciones aspectos estratégicos en la planeación y los servicios, donde se plantean los siguientes factores que afectan la magnitud y la utilización de la capacidad. (Dominguez, Alvarez, & Jose, 1995)

- Tecnología.
- El nivel real de organización.
- Cantidad de equipos.
- La política de mantenimiento.
- La gestión de materiales.
- La magnitud y distribución de las áreas productivas.
- La demanda y la cuota del mercado.
- La mano de obra.
- Diseño característico del producto.

- La calificación de los trabajadores y su estimulación.
- La especialización.
- Indicadores de rendimiento de los equipos y áreas.
- Cumplimiento promedio de las normas.
- La estabilidad de la fuerza de trabajo.

2.2.4.3 Diagrama Gantt.

La implementación del proyecto se realizará mediante el diagrama Gantt, este diagrama muestra de manera simple las fechas de terminación de las diferentes actividades del proyecto, mostrando una secuencia lógica en las labores a realizar. Esta herramienta permite la planificación sistemática de las actividades dentro de las organizaciones, sus elementos plantean una visión general de la implementación del proyecto.

Que se muestra en un Diagrama Gantt:

- Las fechas de inicio y finalización de un proyecto.
- Que tareas hay dentro de un proyecto.
- Las subtareas de las tareas principales.
- Responsables.
- Estimación de duración de cada tarea.
- Costos.
- Relación entre las diversas tareas en el diagrama.
- Progreso.

Ventajas de la utilización de un Diagrama Gantt:

- Claridad en las operaciones.
- Muestra un orden en las actividades.
- Muestra la línea del tiempo del proyecto.
- Rendimiento del proyecto.
- Toma de decisiones.
- Se muestra el atraso en las actividades.

A continuación, se muestra un ejemplo de un diagrama Gantt, en el cual se pueden ver las actividades a desarrollarse como la línea del tiempo de cada una de las actividades:

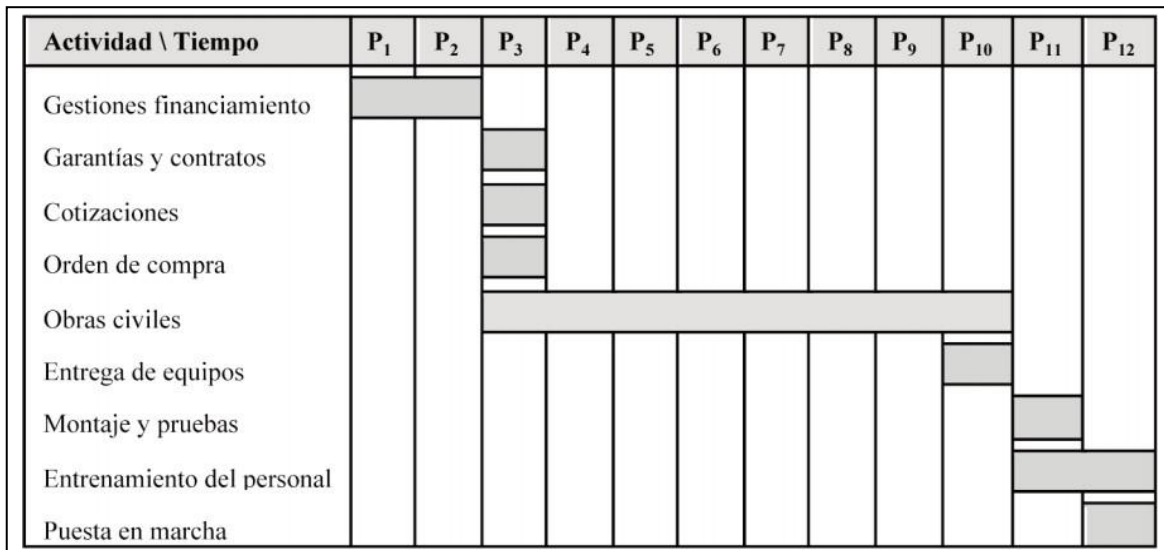


Figura 13. Diagrama Gantt.

Fuente: (Pastor, 2011)

2.2.4.4 ANÁLISIS MODO EFECTOY FALLA

El análisis modo efecto y falla también conocido como (AMEF) nació en los Estados Unidos a finales de los años 40, esta metodología fue aplicada por la NASA y su fin era evaluar la confiabilidad de los equipos, en la medida en que se determina los

efectos de las fallas de estos. Este análisis es un procedimiento que permite identificar las fallas en un proceso de producción, evalúa de forma objetiva los efectos, causas y elementos que afecten el proceso, posterior a esto la herramienta permite ponderar cada elemento en análisis y darle una priorización a cada una de ellas según el resultado obtenido.

Ventajas de aplicar el método AMEF:

- Se identifican las posibles fallas en un proceso, producto o sistema.
- Se conoce a fondo el proceso productivo.
- Identificar los posibles efectos que puede generar las fallas.
- Ponderar cada una de las posibles fallas.
- Evaluar mediante indicadores la relación entre gravedad, ocurrencia.
- Documentar la información suministrada para la toma de decisiones.
- Es una fotografía del proceso.
- Reduce costos.

Como se menciona en la Norma ISO 22301, “Con el AMEF es posible reconocer o identificar errores o fallas potenciales, principalmente en los procesos de producción, con el propósito de eliminarlos o de minimizar el riesgo asociado a las mismas” (La norma ISO 22301)

A, continuación se muestra una tabla para la implementación del AMEF:

ATRIBUTO DE PRIORIDAD	NIVEL NPR	CODIGO	Nivel	Valor cualitativo de ocurrencia de la falla
Riesgo de falla ALTO	500-1000		10	Extremadamente alta
Riesgo de falla MEDIO	125-499		9	Muy alta
Riesgo de falla BAJO	1-124		8	Alta
No existe riesgo de falla	0		7	Recurrente
			6	Moderada
			5	Ocasional
			4	Esporádica
			3	Baja
			2	Muy baja
			1	Remota

Tabla 9. Atributo de prioridad AMEF.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.2.5 CONTROL.

En esta etapa de control dentro de la metodología DMAIC los datos deben de tener una trazabilidad la intención es poder desarrollar un modelo en el cual la producción sea estable y medible, acá se deben de aplicar herramientas que permitan verificar el estado del proceso aplicando criterios para la toma de decisiones en el momento que el proceso comience a tener modificaciones hacia la baja en la producción del bien o servicio. Esta etapa dentro de las organizaciones es de suma importancia para mantener a los diversos procesos alineados a los objetivos estratégicos y comerciales de las organizaciones.

2.2.5.1 INDICADORES

Una de las medidas de control aplicadas en las organizaciones es la creación de indicadores, los cuales deben ser medibles y mostrar una trazabilidad en el proceso, estos indicadores ayudan a la toma de decisiones y son una fotografía de un momento determinado en los procesos. Esta herramienta de calidad da un mayor grado de análisis y un mejor diagnóstico de las operaciones de las empresas, en

base a estos indicadores se pueden establecer planes de mejora a los procesos, ver los valores acumulados en los diversos periodos y compararlos contra las metas proyectadas de esta forma se podrá ver que tal productiva es una línea de producción, por ejemplo.

Características de los indicadores:

- Deben ser informativos para toma de decisiones.
- Deben ser fiables para la organización.
- Deben ser válidos y la información que muestran.
- Adecuados con los procesos que se apliquen.
- Prácticos para la toma de decisiones.
- Comparables entre diversos periodos de un mismo proceso.

Clasificación de indicadores:

Según aplicación	Según proceso productivo
Eficiencia	Manejo de insumos
Eficacia	Relacionado con los procesos
Gestión	Productos, sean bienes o servicios
Financiero	Resultados de utilidad
Productividad	Análisis equipos para producción

Tabla 10. Clasificación Indicadores.

Fuente: Elaboración propia, 2021

COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERCA Y LUZ, S.A.	
CÁLCULO DEL INDICADOR	
1. Datos del Indicador	
1.1 Nombre del Indicador	Generación Eléctrica de Planta Hidroeléctrica Belén
1.2 Unidad de Medida	MWh
1.3 Período	2021
1.4 Frecuencia de medición	Mensual
1.5 Periodicidad de envío de información a la USGYPE	La información se sube al SIGE
1.6 El indicador es de tipo acumulado o individual	Individual
1.7 Fórmula del Indicador	Energía Generada Total Real de la planta
1.8 El dato obtenido de la fuente de información requiere de algún cálculo adicional? Explique	NO

Figura 14. Cálculo del indicador.

Fuente: (<https://intranet.cnfl.go.cr/index.php/comunidad-cnfl/documentos-vigentes-de-la-cnfl>, s.f.)

2.4 MARCO CONCEPTUAL REFENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO.

El impacto a corto y mediano plazo que implica el presente proyecto se relaciona directamente con el proceso productivo de energía hidroeléctrica en la CNFL, específicamente en Planta Belén, este proceso de generación al igual que las otras

plantas de CNFL tiene una importancia significativa en las finanzas de la organización, debido a que del total de la facturación que se le paga al Instituto Costarricense de Electricidad aproximadamente el 9% en el periodo de verano y el 13% aproximadamente en el periodo de invierno es generado con las plantas de CNFL, el restante porcentaje se compra al ICE para atender la demanda de los clientes de CNFL. Ante este panorama se vuelve clave optimizar los procesos productivos y satisfacer las necesidades del cliente, este servicio dentro de la población es de suma importancia debido a que es un servicio de primera necesidad y la organización debe velar por mantener la continuidad del servicio.

Por otra parte, para la organización es de suma importancia mantener la calidad de sus procesos, esto mediante los controles y el seguimiento de las variables que influyan en el proceso productivo y como estas lo pueden afectar. Como se menciona en el libro Análisis y planeación de la calidad, en el cual se menciona en relación con la calidad “La calidad del servicio, la calidad del proceso y la calidad de la información ahora se miden, se controlan y se mejoran” (Juran, 2007)

Este proyecto está enfocado en la mejora de los procesos productivos de PH Belén, maximizando la generación y minimizando los costos y los tiempos por atender afectaciones a la generación por el concepto de atasco de parrillas en la presa, de este modo ofrecer una generación más estable tanto en periodos de verano como de invierno.

2.5 ANTECEDENTES DE PROYECTOS O EXPERIENCIAS SEMEJANTES

A continuación, se muestra en la siguiente tabla antecedentes de proyectos o experiencias semejantes con la utilización de herramientas para el diagnóstico y solución de problemas, estas herramientas que se muestran en esta tabla se utilizarán en el presente proyecto.

Autor, año	Título	Metodología utilizada	Principales resultados
Rivas calvo, 2019.	Propuesta de mejora en los tiempos de set-up del departamento de CNC 4 ejes de la empresa Oberg Medical, durante el primer cuatrimestre del año 2019.	Diagrama causa-efecto (Ishikawa)	Reconocimiento del problema actual y posibles causas que lo generan.
Autor, año	Título	Metodología utilizada	Principales resultados
Barboza Villegas, 2018.	Implementación de una mejora en el proceso de producción del aceite vegetal en Inolasa, Puntarenas durante el último cuatrimestre 2018 y el primer cuatrimestre 2019.	Análisis FODA	Estudio de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en el proceso de producción del aceite vegetal.
Arroyo cordero, 2020.	Disminución de los desperdicios de la línea de sub ensambles en el área de OIS de la empresa Boston Scientific, durante el primer cuatrimestre del 2020.	Diagrama de Gantt	Control de las fechas y avance de las diferentes actividades del proyecto.

Figura 15. Antecedentes de proyectos

Fuente: Elaboración propia, 2021

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. METODOLOGÍA DMAIC

Para este proyecto se utilizará la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) la cual busca identificar las oportunidades de mejora en los procesos que ya existen en la organización, utilizando un enfoque cuantitativo y estandarizado. En cada una de las fases del proyecto se utilizarán diversas herramientas, las mismas con la finalidad de ser utilizadas para el análisis de los procesos productivos y la mejora continua de las organizaciones.

En el presente proyecto se utilizarán diversas técnicas de Ingeniería Industrial para efectuar la debida recolección de datos y que los mismos sean representativos y mantengan un nivel de confiabilidad que represente veracidad en el objetivo de estudio.

Una de las técnicas a utilizar es la modalidad de entrevistas con preguntas abiertas y cerradas al encargado de PH Belén, como a encargado de la parte mecánica en CNFL, esto con la intención de recopilar información importante dentro del desarrollo del proyecto que permita tener una visión más clara del problema detectado en la planta.

3.1.2 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Para este apartado de la definición del problema se utilizan datos e información suministrada por la organización, en particular para el desarrollo del siguiente proyecto serian datos de los últimos cinco años del 2016 al 2020, en el análisis de estos datos suministrados se refleja la incidencia que ha tenido PH Belén en relación a la pérdidas de generación eléctrica por concepto de atasco de parrilla de gruesos en la presa de la misma planta, para lograr llegar a esta definición del problema se determina mediante diagramas de flujo, análisis de datos, gráficos de comparación los cuales nos darán una mejor perspectiva del problema en cuestión.

Tabla 11. Metodología para la definición del problema

Actividades	Objetivo	Actividades	Herramienta	Resultado
Definición	Realizar un diagnóstico del proceso actual de generación de PH Belén.	1- Identificación del problema en PH Belén. 2- Definir situación actual de PH Belén. 3- Se establecen los objetivos del proyecto. 4- Se realiza un mapeo de flujo del proceso. 5- Se realizan sesiones con encargado de planta para definir el problema.	Para esta parte de definición del problema se utilizaran las siguientes herramientas: Diagramas de flujo, tablas, gráficos de comparación, análisis de datos, entrevistas preguntas abiertas, análisis FODA.	Con la utilización de estas herramientas se identifica el problema del cual se parte para el desarrollo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia,2021

3.1.3. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y RESPALDO CUALITATIVO DEL PROYECTO.

En esta fase se recopila toda la información necesaria para poder realizar un análisis completo y entender el impacto del problema que se identificó en la fase anterior. Esta medición está presente en todas las etapas del proyecto en el caso de la parte del diagnóstico para poder entender las causas para poder realizar un posterior análisis, del mismo modo en la fase de medición para observar el impacto de las propuestas implementadas y determinar a nivel cuantitativo la mejora obtenida.

Tabla 12. Metodología para la medición y respaldo cualitativo del proyecto

Etapa	Objetivo	Actividades	Herramientas	Resultados
Medición	Identificar las diversas oportunidades de mejora en el proceso productivo de PH Belén.	1- Se logran identificar las actividades del proceso. 2- Se realiza un análisis de las causas del problema. 3- Se lleva a cabo el análisis de los datos obtenidos. 4- Se determinan las variables críticas del proceso actual.	Para esta etapa de medición del problema se utilizarán las siguientes herramientas: Diagrama de flujos, gráficos, diagrama causa-efecto, los 5 porque's, Diagrama de Pareto, toma de tiempos.	Identificación de las principales causas que afectan el proceso productivo de PH Belén, realizando un análisis de los resultados obtenidos.

Fuente: Elaboración propia,2021

3.1.4 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE MEJORA, CONSTRUCCIÓN O PUESTAS EN PRACTICA DE UN NUEVO PROCESO, PRODUCTO O SERVICIO.

La metodología utilizada está enfocada en la mejora continua de los procesos de PH Belén, maximizando la generación de producción eléctrica en la central, es de suma importancia brindar información que respalde el proyecto y esta refleje cuantitativamente los hallazgos encontrados en el proceso durante la etapa de medición, minimizando las pérdidas de generación eléctrica por atascos de parrilla en la presa de PH Belén, todos estos hallazgos detectados es de gran importancia poder convertirlos en oportunidades de mejora dentro del proceso.

Tabla 13 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio.

Etapa	Objetivo	Actividades	Herramientas	Resultado
Análisis y mejora	Proponer un modelo de generación eléctrica en la central PH Belén, minimizando las pérdidas por atascos de parrilla en la presa.	1- Análisis de datos y cálculos para la toma de decisiones. 2- Se determinan principales causas que generan las pérdidas de generación.	Para esta etapa de Análisis y mejora del proceso se utilizarán las siguientes herramientas: Análisis modo efecto-falla (AMEF) Diagramas de flujo, gráficos.	Determinar las principales oportunidades para definir soluciones viables en el proceso de generación de PH Belén.

Fuente: Elaboración propia,2021

3.1.5 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMETACIÓN DEL PROYECTO.

Para esta etapa del proceso se procede a definir las actividades, plazos y responsables en relación con los diversos personajes que influyen en el proceso de generación de PH Belén, esta planificación se realizará mediante un diagrama Gantt buscando el alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto, siempre con miras en un proceso de mejora continua que permita optimizar los recursos con los que cuenta la PH Belén.

Tabla 14. Metodología para la implementación del proyecto.

Etapa	Objetivo	Actividades	Herramienta	Resultado
Implementación	Definir las actividades, plazos y responsables para la implementación de un modelo productivo minimizando las pérdidas de generación.	1- Definir actividades claves para el proceso. 2- Definir plazos y responsables. 3- Entrevistas sobre posibles mejoras a implementar.	Para esta etapa de implementación se utilizarán las siguientes herramientas: Diagrama de Gantt, Entrevista abierta, diagrama de flujo. Modo efecto-falla (AMEF)	Reducir las pérdidas de generación eléctrica por concepto de atasco de parrilla en la presa de PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.1.6 METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN, ASEGURAMIENTO, CONTROL Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.

En esta etapa dentro del proceso, es de suma importancia que las verificaciones de las acciones a realizar para la mejora del proceso muestren una trazabilidad que permita medir el desempeño del proceso, se debe tener claro que el método de control a implementar debe estar ajustado a las necesidades de la organización y que sea de suma importancia para la toma de decisiones en el proceso.

Tabla 15. Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados.

Etapa	Objetivo	Actividades	Herramientas	Resultados
Control	Implementar modelo de control que permita dar trazabilidad a las mejoras del proceso productivo de PH Belén.	1- Establecer protocolos para la limpieza de parrillas de la presa. 2- Implementación de nuevo modelo productivo. (Sistema Hidráulico)	Para esta etapa de control del proceso se utilizarán la siguiente herramienta: Indicador de calidad que permitan medir la eficiencia y eficacia.	Monitoreo del proceso productivo y análisis de las posibles mejoras.

Fuente: Elaboración propia,2021

CAPÍTULO IV
LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSAS

En este capítulo línea de base y análisis de causas se realizará un diagnóstico real de las pérdidas de generación eléctrica en PH Belén durante los años 2016 a 2020, por lo cual se procede a realizar el análisis de las operaciones involucradas en el proceso de generación, esto mediante el uso de técnicas de recolección de información, observaciones directas, entrevistas abiertas, se tomará como parte del proyecto las entrevistas realizadas tanto a la jefatura de planta como al encargado de la parte mecánica con la intención de recopilar información de la situación actual del proceso de generación, cuantificando las pérdidas en cada uno de los años en los diversos horarios tarifarios (valle, punta, nocturno). Para este análisis se utilizarán herramientas como los 5 porqué's, diagrama de causa-efecto, diagrama de Pareto, análisis FODA de la situación actual de la planta.

4.1 Análisis del proceso de generación eléctrico en PH Belén.

4.1.2 Análisis presa PH Belén.

Dentro de este punto de análisis del proceso de generación eléctrico en PH Belén se debe comenzar por el análisis de la presa, en este lugar es donde comienza el proceso productivo de PH Belén, este centro de trabajo cuenta con 4 operadores de presa, los cuales son los encargados de mantener monitoreados los niveles de agua tanto del río Virilla como del canal de conducción, la forma de laborar es en tres roles (diurno, mixto y noche) en el sitio se encuentra un operador de presa por turno, en este punto es donde se toma el agua del río y se desvía hacia el canal de conducción, acá se cuenta con una parrilla de gruesos para impedir el paso de basura hacia el canal ya que esto genera problemas mecánicos en las unidades como también pérdidas de generación y obstrucción de parrilla de finos en el tanque de PH Belén, el trabajo del personal de la presa es manipular la compuertas tanto de fondo como regulación para mantener los niveles óptimos del agua, uno de los problemas principales de la presa es el arrastre de basura el cual genera que se presenten obstrucciones de basura en la parrilla de gruesos, esto disminuye el caudal de agua que ingresa al canal de conducción lo que al poco tiempo se convierte en pérdida de nivel de agua y por ende menos recursos para generar con las unidades y esto genera pérdidas de generación por este concepto antes mencionado. Cuando se presentan estas diferencias de nivel se procede a reportar al operador de planta el cual de forma

inmediata reporta al encargado de la planta para proceder a coordinar la limpieza de la parrilla, este proceso puede tardar varias horas, depende mucho del nivel de río y cantidad de basura atascada, todas estas operaciones de limpieza se realizan de forma manual y generan un alto riesgo para el personal de la planta que realiza la labor, como por ejemplo el contacto directo con agua altamente contaminada. Otro punto para tomar en cuenta es la gran cantidad de basura que se genera y como esto conlleva un impacto ambiental significativo para el país. Cuando se presentan estas diferencias por creciente en el río el encargado de la planta debe coordinar el llamar personal de la planta y que este se desplace a sitio para comenzar a realizar la limpieza, estas operaciones se estiman que duran alrededor de cinco a seis horas. En la siguiente imagen se muestra el inicio del proceso productivo en PH Belén.

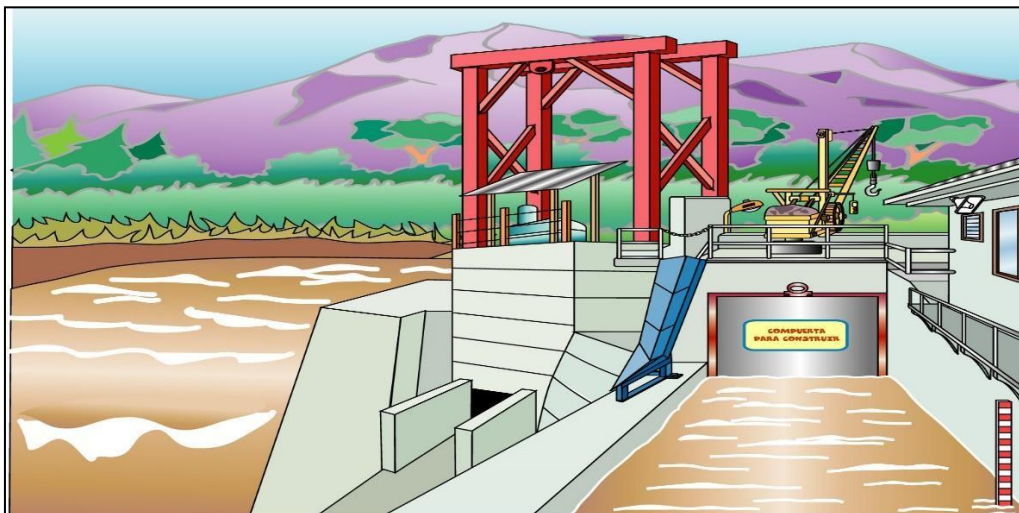


Imagen 1. Presa PH Belén.

Fuente: CNFL

En esta imagen se muestra como esta central hidroeléctrica trabaja con la presa a filo de agua lo que se traduce en agua que llega es agua que se aprovecha para la generación y cuando hay mucha agua esta se va por rebalse en la presa, en esta imagen se muestra la ubicación de la compuerta de regulación la misma es de gran importancia para el manejo óptimo del recurso ya que con esta compuerta se manipula el nivel de agua de agua de entrada al canal.



Imagen 2. Compuerta de regulación

Fuente: CNFL

A continuación, se presenta diagrama de flujo en relación con la forma de laborar en la presa:

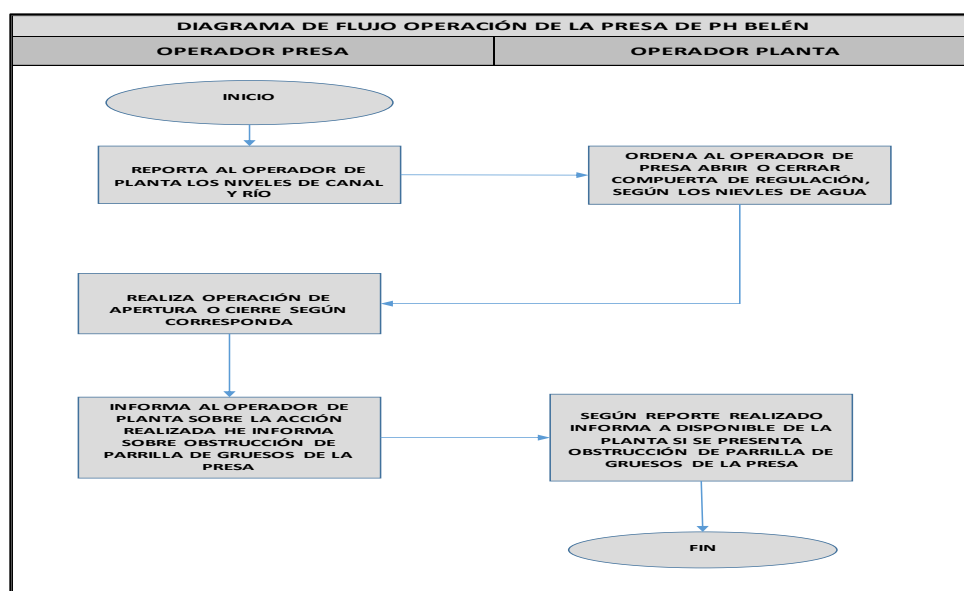


Figura 16. Diagrama de flujo presa Belén.

Fuente: Elaboración propia.2021.

Como se muestra en la figura 16, la comunicación entre el operador de presa y operador es constante ya sea mediante teléfono o radio de comunicación, la labor primordial del presero es mantener informado al operador los niveles de agua y de diferencias o atascos que se presente en la parrilla de gruesos de la presa.

En la siguiente imagen se muestra la compuerta de gruesos de la presa de PH Belén, en esta compuerta es donde se generan los mayores problemas por atascos de parrilla lo cual dificulta la generación de la planta y esto repercute en pérdidas de generación:



Imagen 3. Parrilla de gruesos PH Belén.

Fuente: CNFL

En esta imagen 3 se muestra la parrilla de gruesos en la presa cuando está completamente limpia, para realizar esta operación se debe cerrar compuerta de regulación y abrir compuerta de fondo, dicha compuerta tiene unas dimensiones de tres metros de ancho por tres metros y medio de alto, esta operación es de alto riesgo para el personal que realiza la limpieza en sitio debido al peligro que representa trabajar tan cerca de la compuerta de fondo, a continuación, se muestra la forma de limpiar la parrilla de la presa con la compuerta de fondo abierta:



Imagen 4. Limpieza de parrilla gruesos con personal de CNFL.

Fuente: CNFL

Como se observa en la imagen 4 esta operación es de alto riesgo para el personal tanto por el hecho de trabajar con la compuerta de fondo abierta como el contacto directo con agua contaminada y el peligro que representa el contacto con la basura arrastrada por el río la cual puede generar en un incidente con el personal. En la presa de PH Belén se realizan dichas labores sin tener que vaciar el embalse de la presa, esto dificulta aún más las limpiezas debido a que se realizan con agua y la parrilla de gruesos no se ve, el operador de presa y el personal de limpieza realizan esta labor a pura experiencia para poder limpiarla, esta limpieza se realiza con los ganchos los cuales son pesados y generan un riesgo para la salud del personal de PH Belén, se cuenta también con un wincher que funciona de manera semi automática el cual es manipulado por el operador de presa para poder limpiar, en la siguiente imagen se muestra la forma de realizar la limpieza con agua en el embalse:



Imagen 5. Limpieza de parrilla gruesos con agua en embalse.

Fuente: CNFL

En esta imagen se muestra la gran cantidad de basura que arrastra el río Virilla el cual dificulta la generación de la planta y el riesgo que representa para el personal de la planta realizar dicha labor.

Actualmente en la presa se cuenta con un diagrama de flujo el cual detalla cómo realizar las limpiezas según los niveles detectados por el presero en turno:

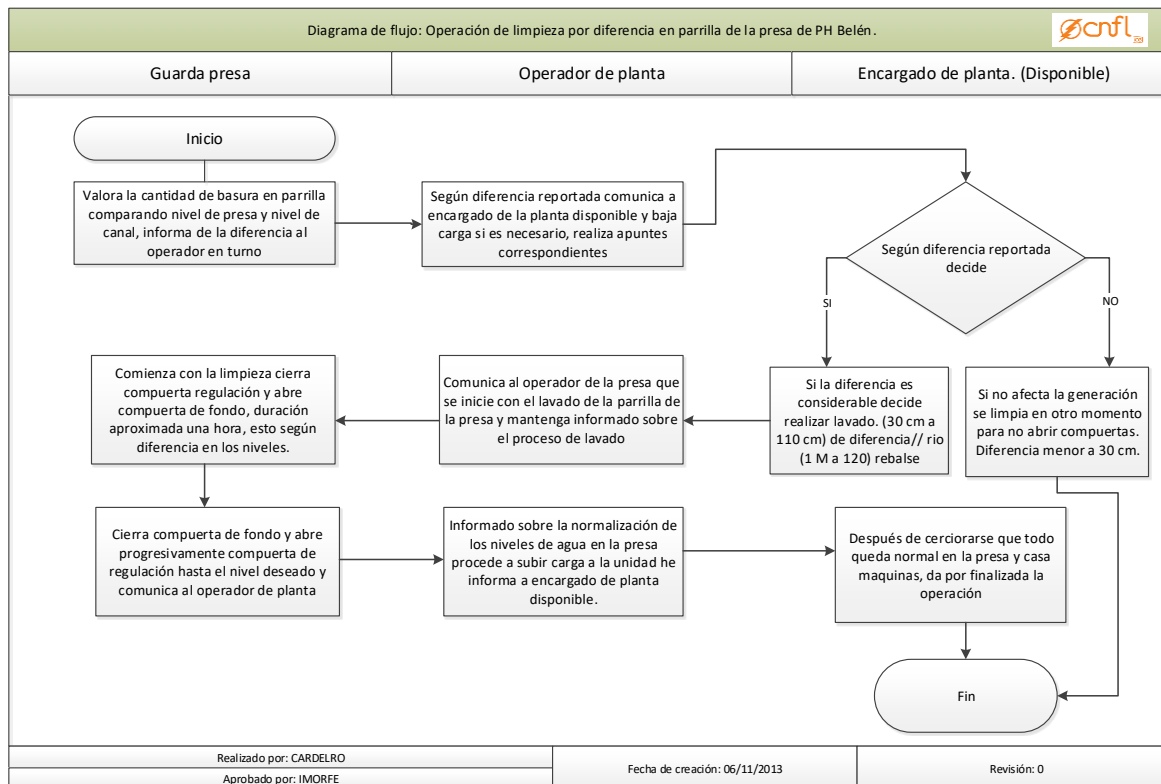


Figura 17. Operación de limpieza por diferencia en parrilla de la presa.

Fuente: CNFL

4.1.3 Análisis Tanque PH Belén.

En esta segunda etapa dentro del proceso productivo de PH Belén se encuentra el tanque, esta estructura es la que funciona como tanque de oscilación y esta previa al ingreso del agua del canal de conducción a las tuberías de presión a casa máquinas. En el tanque también se cuenta con una parrilla de finos la cual es la encargada de que no pase basura más fina hacia las máquinas de la planta y no genere una avería mecánica por este concepto. Cuando se realizan estas limpiezas de parrillas del tanque se debe salir de línea con toda la planta y vaciar el canal de conducción, esta operación está estimada a durar seis horas y se debe contar con no menos de tres funcionarios de PH Belén para realizar estas limpiezas, cuando se realizan este tipo de limpiezas y en conversación con la jefatura de planta como se muestra en el anexo 9, se indica que estas se hacen tomando en cuenta la experiencia del operador al notar una disminución en porcentaje del nivel de agua antes de la parrilla como después de la parrilla, este porcentaje se puede observar mediante dos sensores de nivel ubicados en esta estructura de la planta, en base a esta diferencia es que se planea realizar dicha limpieza con la intención de mejorar el paso de agua hacia las máquinas de PH Belén.



Imagen 6. Limpieza de parrilla finos tanque PH Belén.

Fuente: CNFL

En la imagen 6 se muestra una limpieza programada de la parrilla de finos del tanque, acá como en la presa el principal problema es la basura que viene de la presa y es transportada por el canal de conducción, en el tanque como en la presa se cuenta con 4 operadores de tanque que trabajan en diversos roles (diurno, mixto y nocturno) es importante mencionar que por turno solo se encuentra un operador de tanque, el cual es el responsable de mantener la parrilla de finos limpia y reportar al operador de la planta cualquier incidencia en este lugar. Toda la basura que acá se saca se desecha en un contenedor especial de basura el cual se reportada para su debida disposición final, en conversación con la jefatura de la planta durante una semana de invierno en la cual llegan varias crecientes este contenedor de 15 metros se puede cambiar 2 veces por semana, durante los años 2016 a 2020 se han retirado un total de 751,46 toneladas de basura, promediando por cambio 3,33 toneladas de basura.

Esto genera un impacto positivo debido a que la basura que es arrastrada por el canal proveniente de la presa se da un debido proceso y una trazabilidad adecuada depositándola en un relleno sanitario. Estas operaciones de limpieza anteriormente mencionadas son realizadas en el horario nocturno debido a que se tiene una menor demanda. En la siguiente imagen se muestra la cantidad de basura que se saca producto de la operación normal de la planta en el tanque de PH Belén.



Imagen 7. Contenedor de basura tanque PH Belén.

Fuente: CNFL

4.1.4 Análisis Casa Máquinas.

En esta parte del proceso se analiza casa máquinas de PH Belén, la cual cuenta con tres unidades generadoras, con una potencia total instalada de 10 500 Kilowatts hora, esta planta cuenta con cuatro asistentes de operador y cuatro operadores de planta distribuidos en tres roles (diurno, mixto y nocturno) en cada rol de trabajo se cuenta con un asistente y un operador los cuales son los responsables de velar por mantener una consigna de generación adecuada según niveles de agua y disponibilidades de las unidades, también mantener una comunicación constante con el despacho de generación (CDG) este último es parte importante dentro de la generación de todas las plantas de CNFL, maneja la consigna y indisponibilidades de las diversas unidades generadoras de CNFL.

Para PH Belén en el año de 1990 se realizó una modernización de la planta en la cual quedó como actualmente se encuentra con tres unidades las cuales se describen a continuación:

Planta	Fuente	Unidades	Potencia kWh	Año de inicio	Tipo turbina	Caída metros	Velocidad RPM
Belén	Río Virilla	1	1250	1931	Francis	88	900
Belén	Río Virilla	2	1250	1926	Francis	88	600
Belén	Río Virilla	3	8000	1991	Francis	107	450

Tabla 16. Características unidades PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Dentro de las plantas de la CNFL la Planta Hidroeléctrica Belén es de las antiguas, pero con un mejor porcentaje de factor de planta y generación dentro de la generación total de CNFL, aun así, se han estimado pérdidas considerables para la planta por concepto de atascos de basura en parrilla de la presa y tanque como

también problemas o fallas mecánicas asociadas a basura en el rodete de las unidades.



Imagen 8. Avería mecánica por basura en rodete unidad 3 PH Belén.

Fuente: CNFL

Ante este tipo de averías se debe detener la unidad para poder realizar una inspección más adecuada del daño y proceder a quitar la basura que está generando el daño en el rodete de la unidad como se muestra en el anexo 7, durante los últimos cinco años se han presentado un total de doce eventos en la unidad # 1, un total de 44 eventos en la unidad # 2 y un total de 79 eventos en la unidad # 3 de PH Belén. Todas estas fallas anteriormente mencionadas corresponden al apartado de averías mecánicas incluyendo las averías presentadas por basura en los rodetes de las unidades, cabe destacar que las tres unidades se ubican en casa máquinas y esta cantidad de eventos en las unidades corresponden a salidas de línea de las unidades cuando están en operación por atasco en la turbina por basura, en conversación con la jefatura de la planta este tipo de avería es muy frecuente principalmente en la época lluviosa en donde se aumentan la cantidad de aguaceros y por ende mayor nivel del río, si bien es cierto es la época en donde se genera más energía hidroeléctrica en la planta también es una época en donde se arrastra mucha basura que ocasiona estos daños. A continuación, se muestran tres tablas donde se describe el comportamiento de las unidades a partir del 01 de enero del

2016 hasta el 31 de diciembre del 2020 en PH Belén, acá se describen todas las causas oficializadas por CNFL que afectan la generación en las plantas.

Instalación: 01002 P.H. BELEN		
Sistema: 0100201 TURBO GRUPO 1 TG1	Horas de Producción: 18,726.57	
Causa	Horas Totales	Cantidad
AVERÍA ELÉCTRICA	361:41	32
AVERÍA MECÁNICA	129:36	12
MANTENIMIENTO PLANEADO	2847:14	57
RESERVA POR BAJO NIVEL	21148:44	1267
FALLA SISTEMA	56:52	138
SALIDA POR LAVADO	577:19	73
Total Sistema	25121:25	1579

Tabla 17. Causas de fallas unidad # 1 PH Belén.

Fuente: SIP Sistema Integrado plantas.

En relación con la unidad # 1 de PH Belén como lo muestra el anexo 1, se muestra un total de 12 eventos en relacionados con averías mecánicas, con un total de 129,36 horas fuera de línea de la unidad durante los últimos cinco años, lo cual representa un total de 0,51% de todas las causas que indisponen la unidad para la generación. Cuando nos referimos al tipo de salidas por lavado, vemos un total de 73 eventos por esta razón, con un total de 577,19 horas fuera de línea por este concepto, lo cual representa un total de 2,30% del total de horas indisponibles de la unidad durante los últimos cinco años.

Sistema: 0100202 TURBO GRUPO 2 TG2		
	Horas de Producción: 20,543.82	
Causa	Horas Totales	Cantidad
AVERÍA ELÉCTRICA	54:37	21
AVERÍA MECÁNICA	7174:09	44
MANTENIMIENTO PLANEADO	4153:44	66
RESERVA POR BAJO NIVEL	11386:01	422
FALLA SISTEMA	58:14	107
SALIDA POR LAVADO	477:26	56
Total Sistema	23304:10	716

Tabla 18. Causas de fallas unidad # 2 PH Belén.

Fuente: SIP Sistema Integrado plantas.

Con relación a la unidad # 2 de PH Belén como lo muestra el anexo 2, se establece un total de 44 eventos en relacionados con averías mecánicas, con un total de 7174,09 horas fuera de línea de la unidad durante los últimos cinco años, lo cual representa un total de 30,78% de todas las causas que indisponen la unidad para la generación, estas horas tan elevadas se deben a fallas en la válvula de admisión. Cuando nos referimos a las salidas por lavado, vemos un total de 56 eventos por esta razón, con un total de 477,26 horas fuera de línea por este concepto, lo cual representa un total de 2,05% del total de horas indisponibles de la unidad durante los últimos cinco años. Cabe destacar que esta unidad por lo general está más horas en línea de operación en relación con la unidad # 1 de PH Belén de ahí el aumento en averías mecánicas en relación con la unidad # 1.

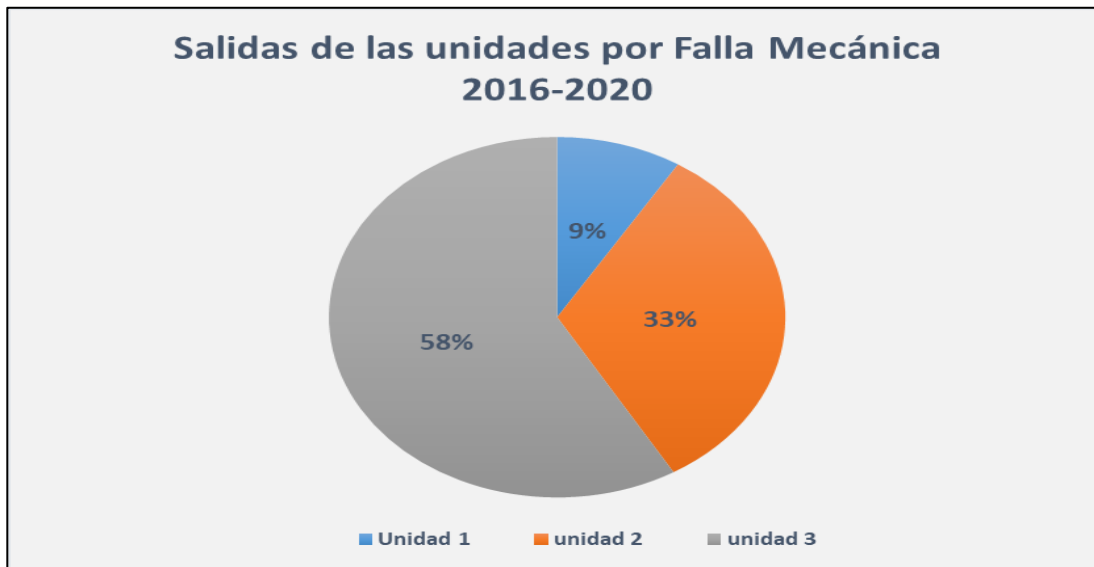
Sistema: 0100203 TURBO GRUPO 3 TG3		Horas de Producción:	38,801.17
Causa	Horas Totales	Cantidad	
AVERÍA ELÉCTRICA	137:28	57	
AVERÍA MECÁNICA	230:21	79	
MANTENIMIENTO PLANEADO	3995:51	98	
RESERVA POR BAJO NIVEL	315:33	143	
FALLA SISTEMA	85:30	188	
SALIDA POR LAVADO	282:07	36	
Total Sistema		5046:50	601

Tabla 19. Causas de fallas unidad # 3 PH Belén.

Fuente: SIP Sistema Integrado plantas.

En relación con la unidad # 3 de PH Belén según el anexo 3, se muestra un total de 79 eventos en relacionados con averías mecánicas, con un total de 230,21 horas fuera de línea de la unidad durante los últimos cinco años, lo cual representa un total de 4,56% de todas las causas que indisponen la unidad para la generación. Cuando nos referimos al tipo de salidas por lavado, vemos un total de 36 eventos por esta razón, con un total de 282,07 horas fuera de línea por este concepto, lo cual representa un total de 5,59% del total de horas indisponibles de la unidad durante los últimos cuatro años. La unidad # 3 de PH Belén por lo general es la primera opción para

meter a línea a generar debido a que es la unidad con mayor potencia instalada 8 000 Kilowatts hora y el recurso hídrico lo permite al poder manejar la unidad con más de un 50% de su generación total.



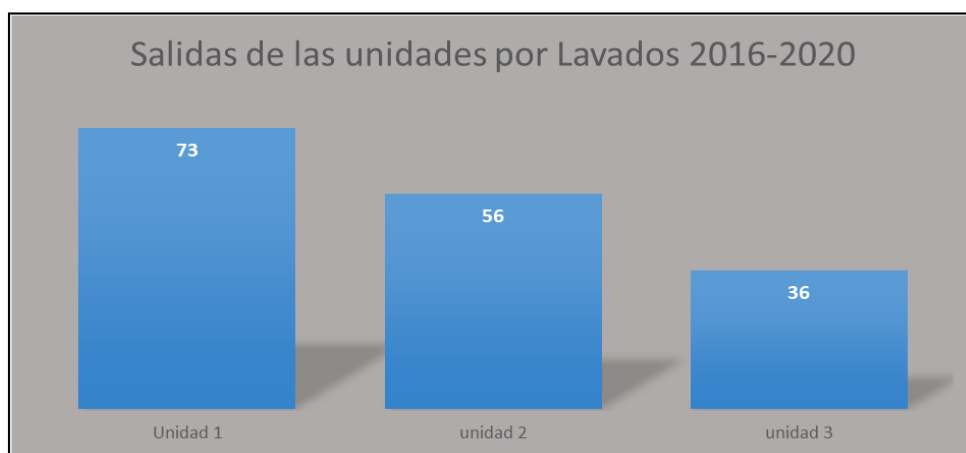
Grafica 2. Salida de las unidades PH Belén por Falla Mecánica 2016-2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En esta gráfica se hace referencia al porcentaje que representa cada unidad de PH Belén con relación a las salidas de línea por falla mecánica, incluyendo las fallas ocasionadas por basura en las unidades, como se puede observar la unidad # 3 de PH Belén muestra el mayor porcentaje con un 58% esto se debe a que dicha unidad es la que pasa más horas en línea y por ende tiene mayor probabilidad de sufrir este tipo de falla mecánica. En referencia a la unidad # 2 de PH Belén esta muestra un total del 33% de total de salidas representadas en la gráfica, esto se debe a que esta unidad por lo general también es la que está más en línea en comparación con la unidad # 1, la cual representa un total del 9% esto quiere decir que esta unidad es la que menos horas en línea tiene, en entrevista con el encargado de la planta menciona que, en periodo de verano que es donde se cuenta con menos recurso hídrico se debe decidir cuál de las dos unidades mantener en línea y por un tema de experiencia operativa de los operadores, se decide meter a línea con mayor frecuencia la unidad # 2 que es más económica en relación al consumo de metros cúbicos de agua. Para los periodos de invierno donde se cuenta

con mayor recurso hídrico es donde se aprovecha al máximo generar con las tres unidades, de ahí la importancia de mantener en la medida posible una disponibilidad operativa al 100%.

En relación con el tema de salidas por lavado de las unidades, estas incrementan en el periodo de invierno debido a que el caudal del río aumenta significativamente y se da un mayor arrastre de basura, esta problemática genera pérdidas de producción por atascos de parrilla en la presa y se tiene que coordinar una limpieza de esta.



Grafica 3. Salida de las unidades PH Belén Lavados 2016-2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En esta gráfica 3 se muestra la cantidad de eventos por lavado, que se han presentado durante los años 2016 a 2020, esta gráfica muestra que la unidad # 1 es la unidad que presenta más salidas por lavado, esto debido a que conforme baja el nivel de agua por aterro en la parrilla de la presa, esta es la primera máquina que se saca de línea, si el nivel no aguanta la unidad # 2 también se saca de línea y ya por última condición de ser necesario se sacaría de línea la unidad # 3, por esta razón anteriormente mencionada la unidad # 3 presenta la menor cantidad de salidas por este motivo de lavados. Como resumen de este gráfico se puede observar que durante los años 2016 a 2020 se han presentado un total de 165 eventos de salida reportados en el sistema SIP como lo muestra el anexo 5, lo que repercute directamente en la generación de PH Belén, ocasionando pérdidas de generación, incurrir en costos

por motivos de limpieza de la parrilla y dependiendo de la falla incurrir en costos por atención de averías mecánicas.

4.2 Análisis de las pérdidas de Generación por lavados en PH Belén, durante los años 2016 a 2020.

En los siguientes apartados se muestra un análisis de las pérdidas de generación en PH Belén durante los años 2016 a 2020, el cual se cuantifican las horas fuera de línea de las unidades por lavados, presentados en la presa y tanque de PH Belén. Según entrevista con el encargado de la planta los diversos lavados se realizan en horario nocturno, esto con la intención de minimizar las pérdidas económicas por este concepto de lavados, estas estimaciones se realizan promediando el total de tarifas nocturnas en el año en cuestión, la fórmula para sacar la pérdida de generación por años se muestra a continuación:

Pérdida generación: (Potencia de la unidad x tiempo fuera de línea x tarifa promedio nocturno)

Estos datos son estimaciones de las pérdidas de generación en base a cada uno de los años en análisis, se toma en cuenta los lavados en la presa y tanque, debido a que ambos se ven afectados por atascos de parrillas. Otro dato para tomar en cuenta a la hora de obtener las pérdidas es que el dato de tarifas eléctricas por horario se toma de ARESEP en cada uno de los años anteriormente mencionados por lo que el dato de la tarifa corresponde exactamente a cada año en análisis.

HORARIO TARIFARIO AÑOS 2016-2020														
Año	Horario	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio anual
2016	Punta	49,33	49,33	49,33	49,33	49,33	49,33	54,06	54,06	54,06	51,26	51,26	51,26	51,00
	Valle	40,41	40,41	40,41	40,41	40,41	40,41	44,29	44,29	44,29	42	42	42	41,78
	Nocturna	34,31	34,31	34,31	34,31	34,31	34,31	37,6	37,6	37,6	35,66	35,66	35,66	35,47
2017	Punta	46,66	46,66	46,66	48,64	47,6	47,6	53,37	53,37	53,37	53,11	53,11	53,11	50,27
	Valle	38,23	38,23	38,23	39,85	39	39	43,72	43,72	43,72	43,51	43,51	43,51	41,19
	Nocturna	32,46	32,46	32,46	33,83	33,11	33,11	37,12	37,12	37,12	36,94	36,94	36,94	34,97
2018	Punta	53,46	53,46	53,46	54,24	54,24	54,24	53,81	53,81	53,81	52,71	52,71	52,71	53,56
	Valle	43,8	43,8	43,8	44,44	44,44	44,44	44,09	44,09	44,09	43,19	43,19	43,19	43,88
	Nocturna	37,18	37,18	37,18	37,73	37,73	37,73	37,43	37,43	37,43	36,67	36,67	36,67	37,25
2019	Punta	53,98	53,98	53,98	55,71	55,71	55,71	57	57	57	54,14	54,14	54,14	55,21
	Valle	44,22	44,22	44,22	45,63	45,63	45,63	46,69	46,69	46,69	44,35	44,35	44,35	45,22
	Nocturna	37,54	37,54	37,54	38,75	38,75	38,75	39,64	39,64	39,64	37,66	37,66	37,66	38,40
2020	Punta	53,07	53,07	53,07	53,07	53,07	53,07	50,64	50,64	50,64	46,4	46,4	46,4	50,80
	Valle	43,47	43,47	43,47	43,47	43,47	43,47	41,48	41,48	41,48	38,01	38,01	38,01	41,61
	Nocturna	36,91	36,91	36,91	36,91	36,91	36,91	35,22	35,22	35,22	32,27	32,27	32,27	35,33

Tabla 20. Horario tarifario años 2016-2020.

Fuente: ARESEP.

En esta tabla se muestra los diferentes horarios tarifarios desde año 2016 hasta el año 2020, acá se muestra el promedio anual por año por tarifa, esto debido a que en PH Belén los lavados se realizan en horario nocturno por ser el periodo en el cual la tarifa es más barata, con esto se busca minimizar las pérdidas de generación en PH Belén.

Para realizar el análisis de las pérdidas de generación durante los años 2016 a 2020 se tomaron los datos de diversas fuentes de información como lo es F-112 reporte diario de operación (Ver anexo 8), SIOPLAN, SIP, Bitácora de operación, ARESEP, Informes de generación Centro Despacho de Generación.

Dentro del análisis por pérdidas de generación durante los años 2016 a 2020, se evidencio que durante los primeros meses de cada año no se presentaron salidas de línea por concepto de lavados, por tal razón en las diversas tablas que se muestran a continuación en los meses que aparece total de horas fuera de línea igual a cero es porque para ese mes en particular no se presentaron salidas de las unidades por este concepto. Lo anteriormente mencionado y en entrevista con encargado de la planta se debe a que durante los primeros meses del año se presentan los meses más secos del año, por esta razón se tiene menor recurso hídrico para la generación y por ende menores problemas por salida de las unidades por lavados.

Por contraparte para los meses de invierno en donde se da una mayor cantidad de eventos en relación con las salidas de las unidades por concepto de lavados, esto se debe incremento de las lluvias y el arrastre de basura en el cauce del río Virilla que llega en su momento a la presa de PH Belén, ocasionando problemas por obstrucción de las parrillas y por ende se transforma en pérdidas de generación relacionados con la problemática anteriormente mencionada. Hay que mencionar que cuando se realizan estas operaciones de limpieza se abre la compuerta de fondo y se cierra la compuerta de regulación, con la intención de quitarle presión de agua a la parrilla y toda la basura que estaba obstruyendo la parrilla se valla por la compuerta de fondo, por este motivo no se tiene identificado la cantidad de basura que se atasca en la parrilla durante las operaciones de lavado en la presa. En el tanque se tiene colocado un contenedor de la EBI y esos desechos si son contabilizados.

4.2.1 Análisis pérdidas de generación año 2016 PH Belén.

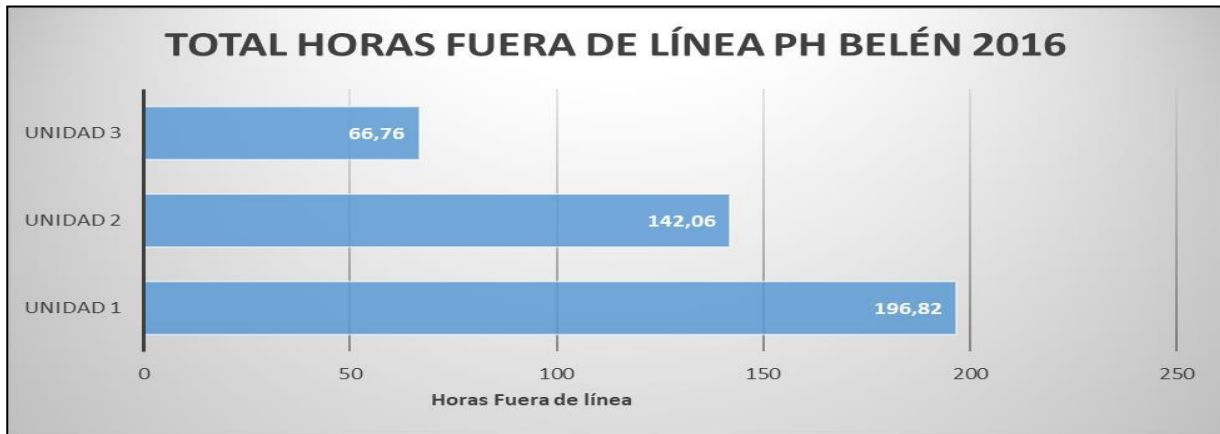
Para el año 2016 se cuantifican las horas fuera de línea las unidades generadoras, como también las pérdidas estimadas por este concepto durante este año, a continuación, se muestra la información en referencia a las horas fuera de línea por este motivo:

TOTAL, HORAS FUERA DE LÍNEA POR LAVADOS 2016			
MES	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	0
Mayo	35,98	42,02	0
Junio	52,98	53,72	4,75
Julio	5,37	4,97	3,45
Agosto	8,87	0	9,25
Septiembre	10,22	0	5,83
Octubre	51,4	19,75	30,03
Noviembre	5,5	5,88	6,08
Diciembre	26,5	15,72	7,37
Total:	196,82	142,06	66,76

Tabla 21. Total, horas fuera de línea por lavados 2016.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 21, durante el año 2016 se contempla un total de 405,64 horas fuera de línea de todas las unidades, distribuidas de la siguiente manera: Unidad uno: 196,82 horas lo cual representa un total de 2,25% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad dos: 142,06 horas lo cual representa un total de 1,62% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad tres: 66,76 horas lo cual representa un total de 0,76% de indisponibilidad de la unidad por este concepto. Como se observa la unidad # 3 es la que menos salió de línea por lavados, como se mencionaba anteriormente esta es la unidad que más genera por esta razón se trata de dejar en línea el mayor tiempo posible.



Grafica 4. Horas fuera de línea PH Belén 2016.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

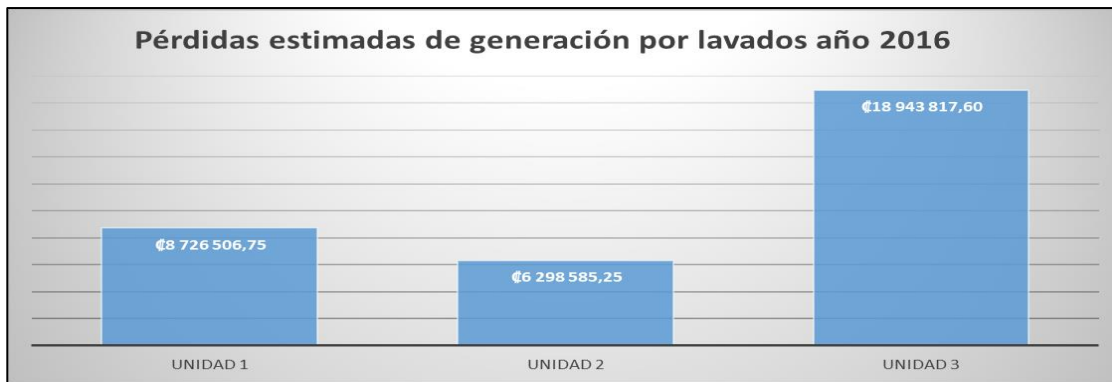
En la siguiente tabla se muestran las pérdidas estimadas de generación durante el año 2016:

Pérdida estimada de generación año 2016		
Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
₡ 8 726 506,75	₡ 6 298 585,25	₡ 18 943 817,60

Tabla 22. Pérdida estimada generación año 2016.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 22, durante el año 2016 se obtienen unas pérdidas estimadas de ₡ 33.968.909,60 por motivos de lavados en presa y tanque. Como se puede observar en la gráfica 4 (horas fuera de línea PH Belén año 2016) la unidad # 3 fue la que menos salió de línea con un total de 66,76 horas, pero a la hora de ver el impacto en las pérdidas económicas nos muestra que es la que tiene un mayor impacto con un total de ₡ 18.943.817,60, esto va en relación con la potencia de la unidad la cual genera un total de 8 000 Kilowatts hora.



Grafica 5. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2016.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el año 2016 en PH Belén se obtiene una generación real total del año de ₡ 2.543.835.384,49, estas pérdidas estimadas calculadas anteriormente representan un total de 1,34% de afectación a la generación de PH Belén.

GENERACIÓN REAL AÑO 2016 PH BELÉN	
Mes	Generación real
Enero	₡ 188 225 462,06
Febrero	₡ 176 526 260,85
Marzo	₡ 131 887 895,35
Abril	₡ 74 029 496,50
Mayo	₡ 119 445 273,20
Junio	₡ 251 050 064,57
Julio	₡ 261 963 535,24
Agosto	₡ 246 520 506,79
Septiembre	₡ 267 117 072,48
Octubre	₡ 267 562 239,21
Noviembre	₡ 272 241 808,39
Diciembre	₡ 287 265 769,86
Total	₡ 2 543 835 384,49

Tabla 23. Generación real año 2016 PH Belén.

Fuente: Centro Despacho de Generación CNFL.

4.2.2 Análisis pérdidas de generación año 2017 PH Belén.

Dentro del análisis realizado por pérdidas de generación el año 2017 es el año en el que se presentan mayores pérdidas de generación, esto debido a que este año se presentó atascos de parrilla en presa y tanque con mayor frecuencia y se realiza

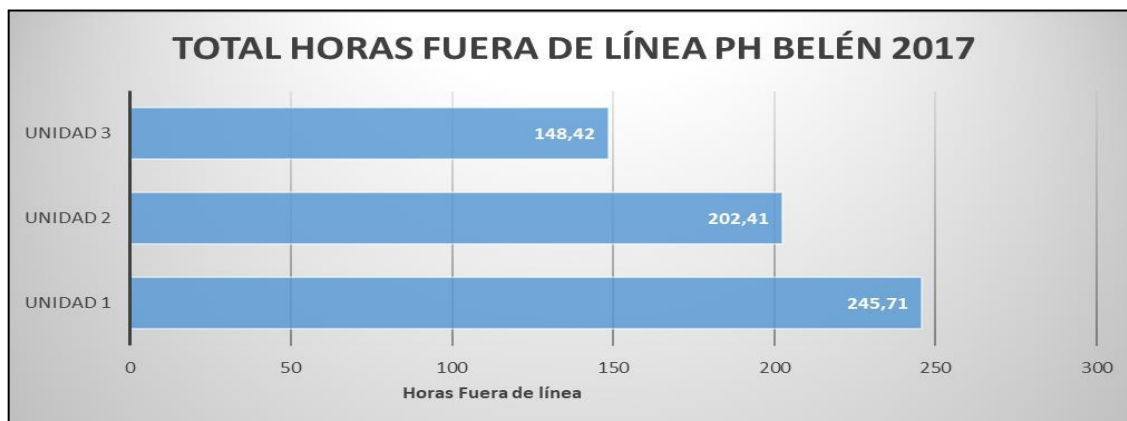
lavado de canal de conducción, en la siguiente figura se muestran las horas fuera de línea de las unidades de PH Belén durante este año:

TOTAL, HORAS FUERA DE LÍNEA POR LAVADOS 2017			
MES	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	0
Mayo	50	66,73	0
Junio	13,04	9,95	0
Julio	4,62	0	4,48
Agosto	0	5,67	6,52
Septiembre	140,05	102,05	54,03
Octubre	38	18,01	83,39
Noviembre	0	0	0
Diciembre	0	0	0
Total:	245,71	202,41	148,42

Tabla 24. Total, horas fuera de línea por lavados 2017.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 24, durante el año 2017 se contempla un total de 596,55 horas fuera de línea de todas las unidades por lavados, distribuidas de la siguiente manera: Unidad uno: 245,71 horas lo cual representa un total de 41,18% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad dos: 202,41 horas lo cual representa un total de 33,93% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad tres: 148,42 horas lo cual representa un total de 24,88% de indisponibilidad de la unidad por este concepto. Como se observa la unidad # 3 es la que menos salió de línea por lavados, según entrevista con encargado de la planta para este año se presentó un aumento mayor en las lluvias lo que genero mayor cantidad de salidas por este concepto. Según el IMN para este año se presentan eventos que afectaron gran parte de país con el aumento de las lluvias como lo fueron: onda tropical número 42, tormenta tropical Nate, depresión tropical número 16, todos estos eventos anteriormente mencionados ocasionaron grandes problemas en el valle central y por ende un aumento significativo de los niveles del río Virilla y por consecuencia un mayor arrastre de basura que ocasiono grandes problemas en la planta, como lo fueron atascos de parrilla presa y tanque y lavado de canal de conducción producto de los sedimentos arrastrados como el aumento de la basura por este motivo se tuvo que sacar de línea la totalidad de la planta para poder lavar.



Grafica 6. Horas fuera de línea PH Belén 2017.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la siguiente tabla se muestran las pérdidas estimadas de generación durante el año 2017:

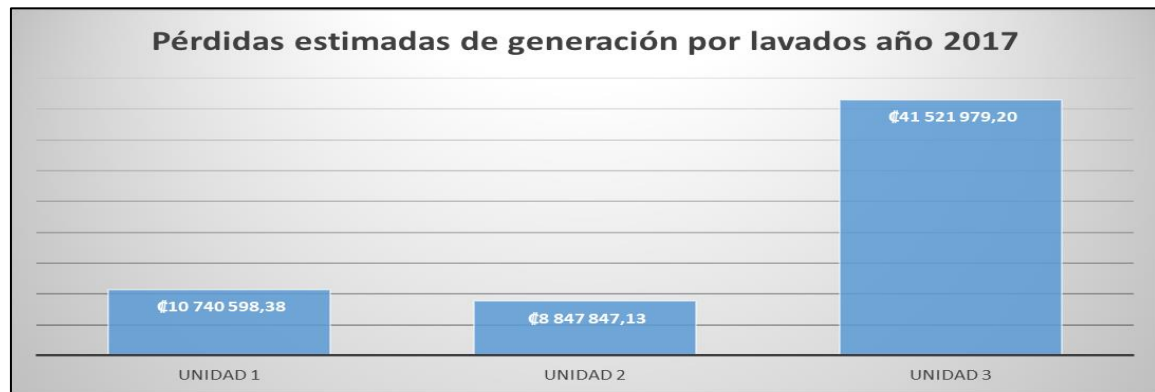
Pérdida estimada de generación año 2017		
Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
₡ 10 740 598,38	₡ 8 847 847,13	₡ 41 521 979,20

Tabla 25. Pérdida estimada generación año 2017.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 25, durante el año 2017 se obtienen unas pérdidas estimadas de ₡ 61.110.424,70 por motivos de lavados en presa, tanque y canal. Como se puede observar en la gráfica 6 (horas fuera de línea PH Belén año 2017) la unidad # 3 fue la que menos salió de línea con un total de 148,42 horas, pero a la hora de ver el impacto en las pérdidas económicas nos muestra que es la que tiene un mayor impacto con un total de ₡ 41.521.979,20, esto va en relación con la potencia de la unidad la cual genera un total de 8 000 Kilowatts.

Para este año en particular la unidad # 3 estuvo fuera de línea un total de 148,42 horas, por esta razón el aumento en pérdidas para este año fue mayor con relación a los otros años en estudio.



Grafica 7. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2017.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el año 2017 en PH Belén se obtiene una generación real total del año de ₡ 2.549.878.468,59, estas pérdidas estimadas calculadas anteriormente representan un total de 2,40% de afectación a la generación de PH Belén.

GENERACIÓN REAL AÑO 2017 PH BELÉN	
Mes	Generación real
Enero	₡ 232 730 226,31
Febrero	₡ 152 123 249,72
Marzo	₡ 69 499 862,30
Abril	₡ 61 336 013,17
Mayo	₡ 237 484 107,78
Junio	₡ 244 458 312,92
Julio	₡ 267 093 077,09
Agosto	₡ 263 765 930,08
Septiembre	₡ 239 600 891,80
Octubre	₡ 236 406 288,42
Noviembre	₡ 262 390 476,17
Diciembre	₡ 282 990 032,85
Total	₡ 2 549 878 468,59

Tabla 26. Generación real año 2017 PH Belén.

Fuente: Centro Despacho de Generación CNFL.

4.2.3 Análisis pérdidas de generación año 2018 PH Belén.

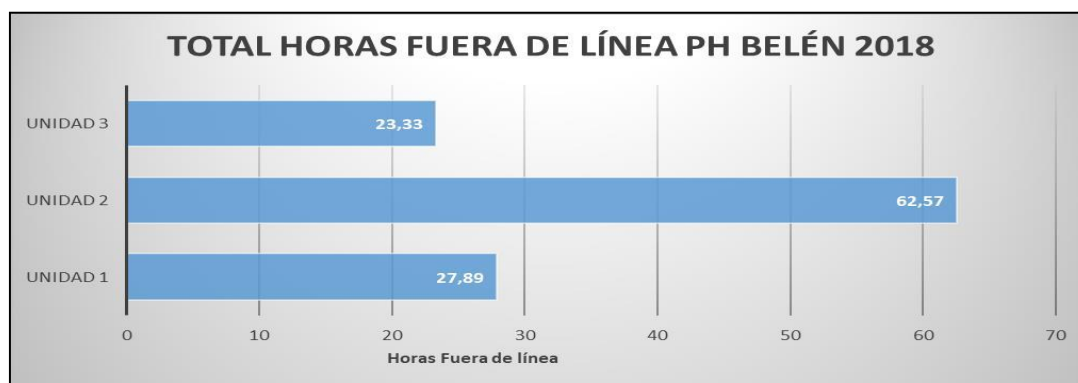
Para el análisis realizado de las pérdidas de generación en el año 2018, en la siguiente tabla se muestran las horas fuera de línea de las unidades de PH Belén durante este año:

TOTAL, HORAS FUERA DE LÍNEA POR LAVADOS 2018			
MES	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	0
Mayo	15,32	0	0
Junio	5,5	1,75	5,58
Julio	3,77	0	15,92
Agosto	0	0	0
Septiembre	3,3	16,77	1,83
Octubre	0	44,05	0
Noviembre	0	0	0
Diciembre	0	0	0
Total:	27,89	62,57	23,33

Tabla 27. Total, horas fuera de línea por lavados 2018.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 27, durante el año 2018 se contempla un total de 113,79 horas fuera de línea de todas las unidades por lavados, distribuidas de la siguiente manera: Unidad uno: 27,89 horas lo cual representa un total de 24,51% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad dos: 62,57 horas lo cual representa un total de 54,98% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad tres: 23,33 horas lo cual representa un total de 20,50% de indisponibilidad de la unidad por este concepto. Como se observa la unidad # 3 es la que menos salió de línea por lavados, siguiendo la tendencia de los años anteriores, para este año se presenta un año en el cual las afectaciones no fueron tan significativas en horas fuera de línea.



Grafica 8. Horas fuera de línea PH Belén 2018.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la siguiente tabla se muestran las pérdidas estimadas de generación durante el año 2018:

Pérdida estimada de generación año 2018		
Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
₡ 1 298 628,13	₡ 2 913 415,63	₡ 6 952 340,00

Tabla 28. Pérdida estimada generación año 2018.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 28, durante el año 2018 se obtienen unas pérdidas estimadas de ₡ 11.164.383,75 por motivos de lavados en presa y tanque. Como se puede observar en la gráfica 8 (horas fuera de línea PH Belén año 2018) la unidad 3 fue la que menos salió de línea con un total de 23,33 horas, pero a la hora de ver el impacto en las pérdidas económicas nos muestra que es la que tiene un mayor impacto con un total de ₡ 6.952.340,00.



Gráfica 9. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2018.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el año 2018 en PH Belén se obtiene una generación real total del año de ₡ 2.847.918.904,14, estas pérdidas estimadas calculadas anteriormente representan un total de 0,39% de afectación a la generación de PH Belén, como se observa durante el año 2018 la generación real subió en comparación a los años anteriores, esto se debe a que las condiciones hídricas lo permitieron y se presentaron menos salidas por lavados.

GENERACIÓN REAL AÑO 2018 PH BELÉN	
Mes	Generación real
Enero	€ 269 779 144,58
Febrero	€ 129 399 232,76
Marzo	€ 199 170 282,40
Abril	€ 182 363 951,42
Mayo	€ 213 729 343,96
Junio	€ 279 951 015,65
Julio	€ 282 379 781,42
Agosto	€ 277 412 609,90
Septiembre	€ 260 197 417,08
Octubre	€ 272 994 047,14
Noviembre	€ 263 809 011,30
Diciembre	€ 216 733 066,52
Total	€ 2 847 918 904,14

Tabla 29. Generación real año 2018 PH Belén.

Fuente: Centro Despacho de Generación CNFL.

4.2.4 Análisis pérdidas de generación año 2019 PH Belén.

Para el análisis realizado de las pérdidas de generación en el año 2019, en la siguiente tabla se muestran las horas fuera de línea de las unidades de PH Belén durante este año:

TOTAL, HORAS FUERA DE LÍNEA POR LAVADOS 2019			
MES	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	3,13	0	5,57
Mayo	7,28	0	4,03
Junio	4,32	0	0,15
Julio	0	0	0
Agosto	1,7	0	0
Septiembre	28,83	12,5	12,22
Octubre	0	2,43	0
Noviembre	0,78	0	0
Diciembre	0	0	0
Total:	46,04	14,93	21,97

Tabla 30. Total, horas fuera de línea por lavados 2019.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 30, durante el año 2019 se contempla un total de 82,94 horas fuera de línea de todas las unidades por lavados, distribuidas de la siguiente manera: Unidad uno: 46,04 horas lo cual representa un total de 55,51% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad dos: 14,93 horas lo cual representa un total de 18% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad tres: 21,97 horas lo cual representa un total de 26,48% de indisponibilidad de la unidad por este concepto. Como se observa la unidad # 3 es la que menos salió de línea por lavados.



Grafica 10. Horas fuera de línea PH Belén 2019.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

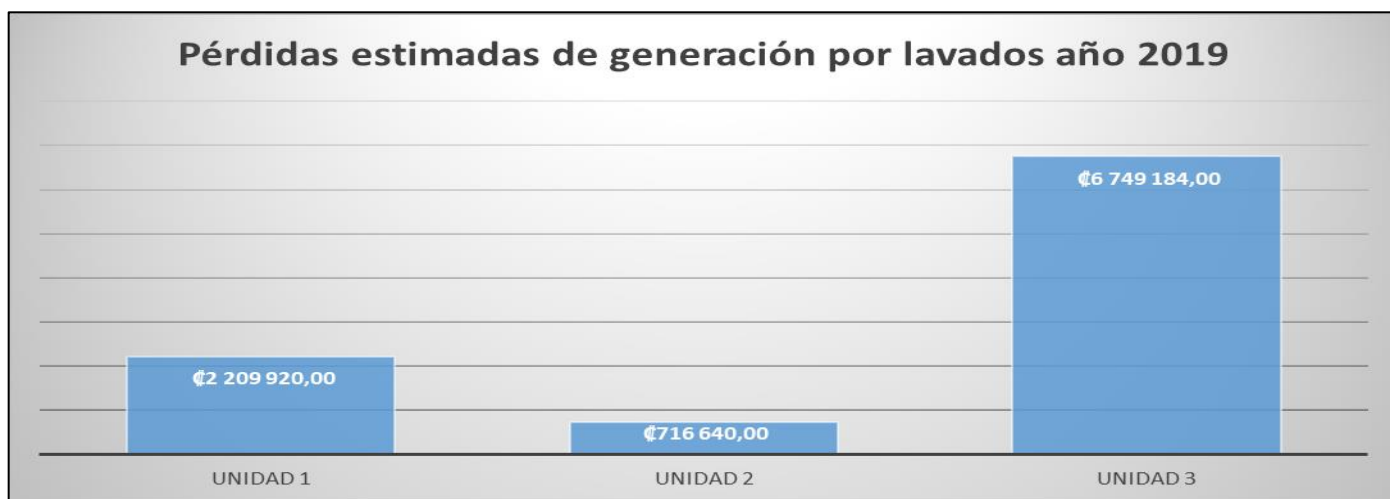
En la siguiente tabla se muestran las pérdidas estimadas de generación durante el año 2019:

Pérdida estimada de generación año 2019		
Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
₡ 2 209 920,00	₡ 716 640,00	₡ 6 749 184,00

Tabla 31. Pérdida estimada generación año 2019.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 31, durante el año 2019 se obtienen unas pérdidas estimadas de ₡ 9.675.744,00, por motivos de lavados en presa como en tanque. Como se puede observar en la gráfica 10 (horas fuera de línea PH Belén año 2019) la unidad # 3 fue la que menos salió de línea con un total de 21,97 horas, pero a la hora de ver el impacto en las pérdidas económicas nos muestra que es la que tiene un mayor impacto con un total de ₡ 6.749.184,00.



Grafica 11. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2019.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el año 2019 en PH Belén se obtiene una generación real total del año de ₡ 2.645.468.266,00, estas pérdidas estimadas calculadas anteriormente representan un total de 0,36% de afectación a la generación de PH Belén.

GENERACIÓN REAL AÑO 2019 PH BELÉN	
Mes	Generación real
Enero	₡ 182 752 411,80
Febrero	₡ 114 757 663,10
Marzo	₡ 142 826 442,69
Abril	₡ 142 701 362,65
Mayo	₡ 235 660 883,88
Junio	₡ 262 599 624,59
Julio	₡ 256 502 971,33
Agosto	₡ 245 940 892,79
Septiembre	₡ 247 147 979,71
Octubre	₡ 289 892 007,25
Noviembre	₡ 271 132 613,20
Diciembre	₡ 253 553 413,01
Total	₡ 2 645 468 266,00

Tabla 32. Generación real año 2019 PH Belén.

Fuente: Centro Despacho de Generación CNFL.

4.2.5 Análisis pérdidas de generación año 2020 PH Belén.

Para el análisis realizado de las pérdidas de generación en el año 2020, en la siguiente tabla se muestran las horas fuera de línea de las unidades de PH Belén durante este año:

TOTAL, HORAS FUERA DE LÍNEA POR LAVADOS 2020			
MES	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	1,07
Mayo	22,27	25,5	1,48
Junio	0	0	0
Julio	2,08	2,85	0
Agosto	8,1	1,73	2,02
Septiembre	19,63	22,95	10,87
Octubre	3,65	2,17	0
Noviembre	0	0	6,15
Diciembre	0	0	0
Total:	55,73	55,2	21,59

Tabla 33. Total, horas fuera de línea por lavados 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 33, durante el año 2020 se contempla un total de 132,52 horas fuera de línea de todas las unidades por lavados, distribuidas de la siguiente manera: Unidad uno: 55,73 horas lo cual representa un total de 42,05% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad dos: 55,2 horas lo cual representa un total de 41,65% de indisponibilidad de la unidad al año por este concepto. Unidad tres: 21,59 horas lo cual representa un total de 16,29% de indisponibilidad de la unidad por este concepto. Como se observa la unidad # 3 es la que menos salió de línea por lavados.



Grafica 12. Horas fuera de línea PH Belén 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

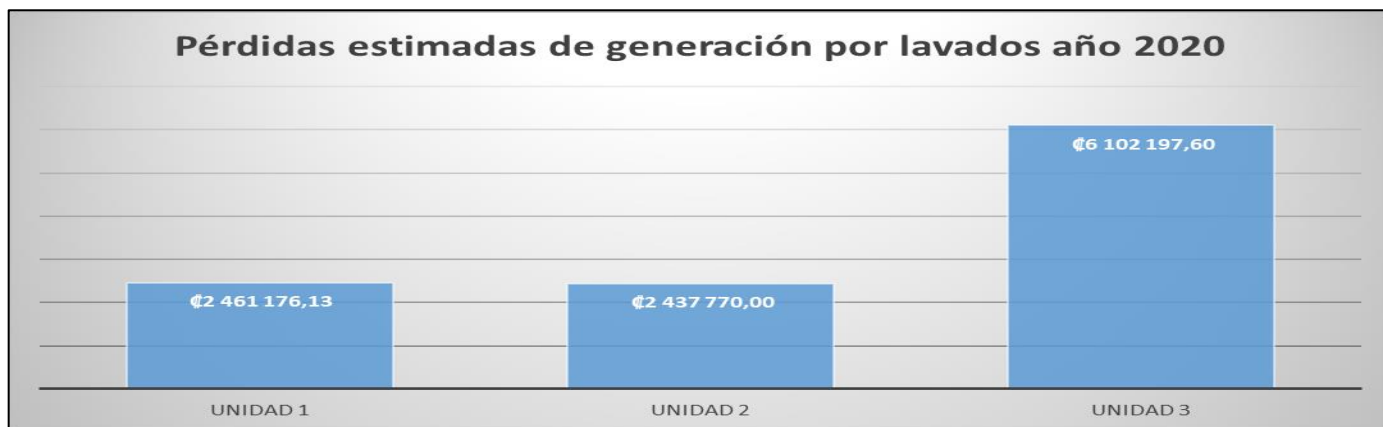
En la siguiente tabla se muestran las pérdidas estimadas de generación durante el año 2020:

Pérdida estimada de generación año 2020		
Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
₡ 2 461 176,13	₡ 2 437 770,00	₡ 6 102 197,60

Tabla 34. Pérdida estimada generación año 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 34, durante el año 2020 se obtienen unas pérdidas estimadas de ₡ 11.001.143,73, por motivos de lavados en presa y tanque. Como se puede observar en la gráfica 12 (horas fuera de línea PH Belén año 2020) la unidad 3 fue la que menos salió de línea con un total de 21,59 horas, pero a la hora de ver el impacto en las pérdidas económicas nos muestra que es la que tiene un mayor impacto con un total de ₡ 6.102.197,60.



Gráfica 13. Pérdidas estimadas de generación por lavados año 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el año 2020 en PH Belén se obtiene una generación real total del año de ₡ 2.507.082.704,33, estas pérdidas estimadas calculadas anteriormente representan un total de 0,44% de afectación a la generación de PH Belén.

GENERACIÓN REAL AÑO 2020 PH BELÉN	
Mes	Generación real
Enero	₡ 201 575 037,60
Febrero	₡ 152 991 733,17
Marzo	₡ 75 344 593,83
Abril	₡ 124 442 747,46
Mayo	₡ 188 918 779,30
Junio	₡ 274 611 880,73
Julio	₡ 257 566 124,14
Agosto	₡ 256 090 226,63
Septiembre	₡ 259 032 386,80
Octubre	₡ 238 337 267,70
Noviembre	₡ 234 772 785,94
Diciembre	₡ 243 399 141,02
Total	₡ 2 507 082 704,33

Tabla 35. Generación real año 2020 PH Belén.

Fuente: Centro Despacho de Generación CNFL.

4.2.5.1 Resumen pérdidas de generación durante los años 2016 a 2020 PH Belén por lavados.

A continuación, se muestra la siguiente tabla donde muestra las pérdidas de generación resumida de los distintos años en estudio:

Resumen pérdidas de generación años 2016 a 2020 PH Belén por lavados					
	2016	2017	2018	2019	2020
Unidad 1	₡ 8 726 506,75	₡ 10 740 598,38	₡ 1 298 628,13	₡ 2 209 920,00	₡ 2 461 176,13
Unidad 2	₡ 6 298 585,25	₡ 8 847 847,13	₡ 2 913 415,63	₡ 716 640,00	₡ 2 437 770,00
Unidad 3	₡ 18 943 817,60	₡ 41 521 979,20	₡ 6 952 340,00	₡ 6 749 184,00	₡ 6 102 197,60
Total, de pérdida por año:	₡ 33 968 909,60	₡ 61 110 424,70	₡ 11 164 383,75	₡ 9 675 744,00	₡ 11 001 143,73

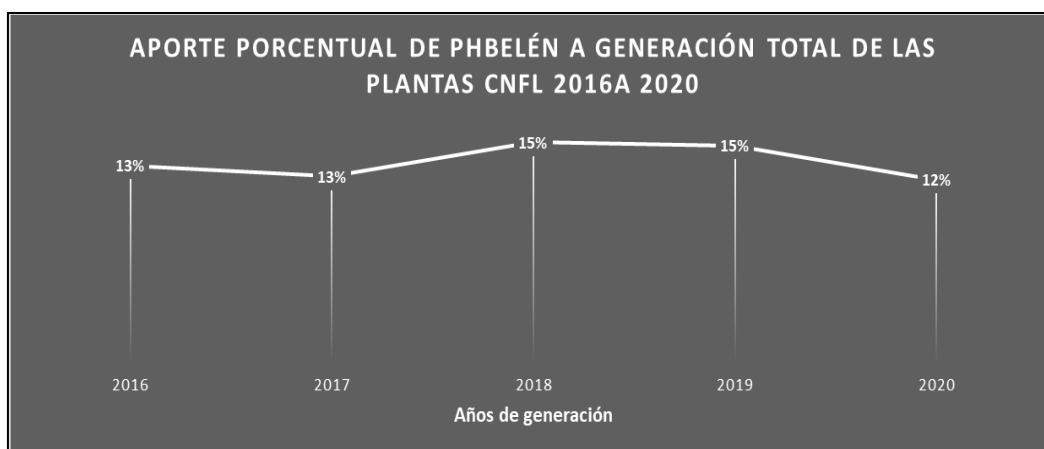
Tabla 36. Resumen pérdidas de generación años 2016 a 2020 PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En relación con las pérdidas económicas percibidas en CNFL por lavados en Planta Hidroeléctrica Belén, se estiman en ₡ 126 920 605,78, lo cuales un número considerable en relación con las pérdidas por lavados, cabe mencionar que para el año 2017 es donde se muestra una mayor pérdida de generación, esto

debido que para este año se tuvo un mayor nivel de aguas lo cual genera mayor cantidad de problemas de este tipo, también para este año y según conversación con encargado de la planta para ese año se estuvo fuera de línea alrededor de seis días por limpieza de parrilla presa, canal de conducción y limpieza de parrilla del tanque.

En relación con el aporte real de PH Belén durante los años 2016 a 2020 a la matriz eléctrica de CNFL se muestra en la siguiente gráfica:



Grafica 14. Aporte PH Belén a generación total real años 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La situación que se presentó durante los años en estudio indica que PH Belén tiene un aporte considerable en la generación total de CNFL aportando en promedio durante estos un año un total de 13,6%.

Todas estas tablas y gráficas que se presentaron anteriormente en relación con las horas fuera de línea y pérdidas de generación forman parte de la situación actual de la planta y del cómo se está trabajando actualmente y del cómo se realizan las diversas maniobras de limpieza en la presa y tanque, también se realizó una minería de datos para poder establecer la situación actual de la planta. En conversación con la jefatura de planta se indica que esta central es una de las plantas más rentables en la CNFL, debido a que no es una planta que tiene cargas económicas del proyecto, sumándole a esto que es una de las que tiene el mejor factor de planta entre todas las de CNFL, también cabe destacar que PH Belén genera de forma

continua, lo que quiere decir que se estima que siempre tiene recurso hídrico para generar con sus unidades, esto genera un impacto altamente positivo debido a que la planta no sale de línea por reserva bajo nivel con sus tres unidades, ni entra a generar solo en horario tarifario de punta.

4.3 Análisis de las causas potenciales de pérdidas de generación en PH Belén por lavados durante los años 2016 a 2020.

En este apartado del proyecto se procederá a realizar un análisis de las posibles causas asociadas a estas pérdidas de generación analizadas en los apartados anteriores, para este análisis se tomaran en cuenta diversas herramientas de Ingeniería que nos permitan dar un diagnóstico más preciso y correcto de la situación actual de la Planta Hidroeléctrica Belén, actualmente la planta presenta pérdidas de generación por lavados de parrilla y no se cuenta con un estudio que permita visualizar la situación actual ni cómo proceder a darle una priorización para la atención del mismo.

En la tabla 35 (Resumen pérdidas de generación años 2016 a 2020 PH Belén) se puede observar que las pérdidas en estos años 2016 a 2020 ascienden a un total de ₡ 126 920 605,78, estas pérdidas se cuantificaron realizando un análisis minucioso de las diversas fuentes de información para llegar a este monto de pérdida, como por ejemplo consultas en el SIP, bitácora de operación, F- 112, SIOPLAN, SIGLEMPA, Despacho Centro Generación, todos estos sistemas de información contienen cierta información pero no muestran las pérdidas generadas por esta causa “Lavados”. Ya teniendo esta información cuantificada en la planta se procede a realizar el análisis de las causas que las generan.

4.3.1 Análisis FODA Planta Hidroeléctrica Belén.

Para el análisis FODA de PH belén se toma en cuenta la situación actual de la planta, como la forma de laborar y generar a la actualidad:

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Alto Factor de planta. • Genera de forma continua, 24/7. • Bajo costo de operación. • Generación limpia. • Personal con experiencia. • Personal de mantenimiento. • Automatización C.M. • Ubicación estratégica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de nuevas tecnologías al sistema de generación. • Apertura eléctrica. • Automatización de los procesos. • Incremento en las lluvias.
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • No cuenta con embalse. • No cuenta con algún sistema de pronósticos de agua. • Río Virilla (contaminado) • Desgaste de unidades. • Arrastre de basura. • Personal poco capacitado. • Operaciones manuales en presa y tanque. • Equipo Obsoleto en equipos clave como compuertas. • Pérdidas por lavados. • Acumulación de sedimentos en el canal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Veranos intensos, poca agua. • Inviernos muy fuertes, crecientes. • Fenómenos naturales que afectan generación. • Contaminación del río Virilla. • Competencia. • Leyes del país. • Pandemias que afecten al personal de la planta y la operación de esta. • Apertura Eléctrica.

Tabla 37. Análisis FODA PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

En el análisis FODA realizado en la Tabla 37, nos muestra las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas específicamente para PH Belén, para este ejercicio se contempló el criterio de la jefatura de la planta, el cual es el que más conoce del tema y manejo de la planta.

Fortalezas: PH Belén es una planta que genera 24/7 esto quiere decir que no tiene que salir de operación para recuperar nivel y generar únicamente en horario punta, si no que genera de forma continua en los diversos horarios tarifarios, otra ventaja que tiene esta planta es que es una generación limpia, al generar con recurso hídrico no incurre en gastos de materia prima como lo es generar con hidrocarburos, en relación al personal de la planta el mismo cuenta con gran experiencia en el manejo de la planta como en el manejo de los equipos disponibles para las operaciones de la generación, otra ventaja que tiene la casa máquinas de PH Belén es que varias de sus operaciones como lo son entrada y salidas de las unidades se han ido automatizando a lo largo del tiempo lo cual deja al personal más libre para realizar labores de limpieza y mantenimiento preventivo de los equipos.

Otro punto a favor que tiene esta planta es su ubicación al estar al margen del río Virilla y utilizar como materia prima el agua proveniente de este afluente se convierte en una fortaleza porque siempre cuenta con agua disponible para la generación.

Oportunidades: Dentro de las oportunidades se pueden mencionar la aplicación de nuevas tecnologías al proceso productivo de la planta, como por ejemplo turbinas más eficientes, generadores, sistemas de control que permitan al personal de la planta optimizar la generación, del mismo modo se puede dar un cambio sistemático a la automatización de los procesos de la planta, ejemplo de esto es la automatización de las compuertas de la presa y mantener la presa desatendida pudiendo controlar desde casa máquinas la operación de la presa. Otra de las oportunidades que se deslumbran a mediano plazo es la apertura eléctrica en la cual la CNFL debe tener procesos más simples que le permitan tomar ventaja en un posible escenario de apertura eléctrica en el país. Otra oportunidad específicamente para PH Belén es el contar con mayor nivel de agua en el río producto del incremento de las lluvias, con esto poder aumentar la generación de la central hidroeléctrica.

Debilidades: Si bien es cierto PH Belén es una planta con un buen factor de planta y con un nivel aceptable de disponibilidad operativa, siempre se observan debilidades dentro del sistema productivo de la planta, muchas de estas debilidades van asociadas a equipos para la generación obsoletos que ya cumplieron su vida útil en la planta, como, por ejemplo: compuertas, motores, wincher, métodos de control, operaciones de limpieza manuales, esto también asociado a que el personal si bien es cierto cuenta con mucha experiencia ganada a través de los años, el mismo no cuenta con una capacitación adecuada en relación a la atención de las averías que se puedan presentar en la planta, esto genera tiempos muertos de generación al tener que esperar que vengan cuadrillas eléctricas o mecánicas ajenas a la planta para poder atender un daño y esto a su vez genera un costo que es cargado a la planta.

Cuando se refiere propiamente a la generación se notan ciertas debilidades como por ejemplo, no contar con un embalse, actualmente la planta genera a filo agua con un canal abierto, esto genera el problema en que no se puede programar de mejor manera la utilización del recurso en este caso el agua, si no que más bien el agua que llega a la presa se debe aprovechar para la generación, esto independientemente del horario tarifario en el que se encuentre, contrario a esto si la planta tuviera un embalse se puede programar las horas de embalsar agua y los momentos oportunos para subir la carga a las unidades y minimizar los pagos de energía al Instituto Costarricense de Electricidad, también se debe mencionar el pago extra que se da cuando se da la máxima demanda a nivel de CNFL, esta máxima demanda se da una vez al mes y es el punto en el que las plantas generan con una potencia más baja al mes y la demanda por parte de los clientes es alta.

Otro tema que tomar en cuenta cuando nos referimos a las debilidades detectadas tiene que ver claramente con el arrastre de basura proveniente del río Virilla, esto genera atascos en parrillas y por ende pérdidas de generación, toda esta basura que se arrastra llega hasta las unidades generadoras las cuales sufren un desgaste extra por este concepto incurriendo en fallas mecánicas producto de basura atrapada en los rodetes de las unidades. Cuando se presentan crecientes y no se

puede limpiar se debe bajar carga y por experiencia según comenta encargado de la planta estas operaciones de limpieza se estiman que duran entre cuatro a seis horas, este tiempo se debe bajar carga y hasta llegar al punto de sacar las unidades de línea, lo cual genera pérdidas de generación.

Amenazas: Las amenazas detectadas van en relación con fenómenos naturales que afecten la generación, como por ejemplos, años muy secos o al contrario años con exceso de lluvia, este comportamiento del río queda evidenciado en la F-112 Reporte diario y operación (Ver anexo 8) en el cual los operadores anotan los niveles de río cada hora, este es el insumo con que cuenta la planta para el análisis del comportamiento del río. Según información suministrada por parte del Centro Despacho Generación CNFL el comportamiento durante de los años 2016 a 2020 fue de la siguiente manera: durante el año 2016 fue un año característico del fenómeno del niño provocando una estación lluviosa irregular donde el mayor aporte para la generación fue en el mes de junio del 2016. Para los años 2017 y 2018 se dio una afectación del fenómeno de la niña, esto aportó mayores precipitaciones y presencia en el año 2017 de la tormenta Nate, a partir del mes de octubre se dio un incremento en las lluvias hasta fin de año. Para el año 2019 se da la presencia del fenómeno del niño generando inviernos irregulares y para finalizar con el año 2020 no se da una afectación directa ni del fenómeno del niño y del fenómeno de la niña, como se mencionaba anteriormente en PH Belén se genera a filoagua entonces cualquier efecto natural afecta de forma directa la generación de la planta. Otro aspecto para considerar como amenaza es la contaminación en el cauce del río, este río tiene la particularidad que atraviesa gran parte del GAM y aquí es donde se tiran la mayoría de los desechos al cauce del río, esto ya es un tema cultural del país y que se sale de las manos de CNFL, pero sin lugar a duda es una amenaza que asecha la generación de la planta por la gran cantidad de basura que se genera.

Otro factor a considerar es el tema de las pandemias, el cual puede llegar afectar al personal de la planta y la generación de la misma, según entrevista con el encargado de la planta en PH Belén se dieron ciertos casos asociados a Covid-19 que pusieron en riesgo al personal de la planta y por ende la generación, debido a que muchos de sus procesos son muy manuales las operaciones deben ser realizadas en sitio y con personal limitado lo cual al presentarse estos casos se debían aislar y hacer ciertas maniobras para poder cubrir al personal con cuarentena. Para la CNFL es una amenaza el tema de la apertura de los mercados

eléctricos, el cual entrarían a competir en un mercado abierto y hasta un poco desconocido para las empresas del país del sector eléctrico, esta apertura puede ocasionar pérdidas de clientes tanto residenciales como comerciales e industriales, generando pérdidas millonarias por concepto de tarifas. En este análisis FODA realizado en PH Belén se logra obtener un panorama más claro de la situación exacta de la planta, analizando sus fortalezas y oportunidades para de este modo hacerle frente a las debilidades y amenazas en el proceso productivo de la planta. En la actualidad una de las principales ventajas o fortalezas

es que PH Belén genera de forma continua, esto impacta de manera positiva el porcentaje de generación de las plantas de CNFL y se reducen los pagos por este concepto al ICE, pero como contra parte de amenazas y debilidades se pueden mencionar como las más importantes el trabajar con agua altamente contaminada como lo es la del río Virilla y el arrastre de basura en el mismo que afecta la generación, como se mencionó anteriormente otra amenaza es la apertura eléctrica la cual es toda una incertidumbre para la organización y si las plantas no están optimizando sus procesos productivos puede generar grandes problemas a la hora de competir con otras empresas del mismo sector eléctrico.

4.3.2 Análisis Causa- efecto:

Se procedió a efectuar un análisis de las causas para abarcar los factores que afectan la generación de PH Belén por atascos de parrilla en la presa, para este análisis se realizaron observaciones, entrevistas con personal clave de la planta como lo son los operadores de planta, operadores de tanque, operadores de presa, misceláneo de planta, como también con la jefatura de esta. Para este efecto se elaboró un diagrama de causa-efecto (Ishikawa) con la intención de determinar las causas probables que originan el problema, estas observaciones se centran únicamente en las 6 variables de estudio que se presenta esta herramienta las cuales se describen a continuación:

- Mano de obra
- Métodos actuales
- Medición
- Materiales
- Medio ambiente
- Maquinaria

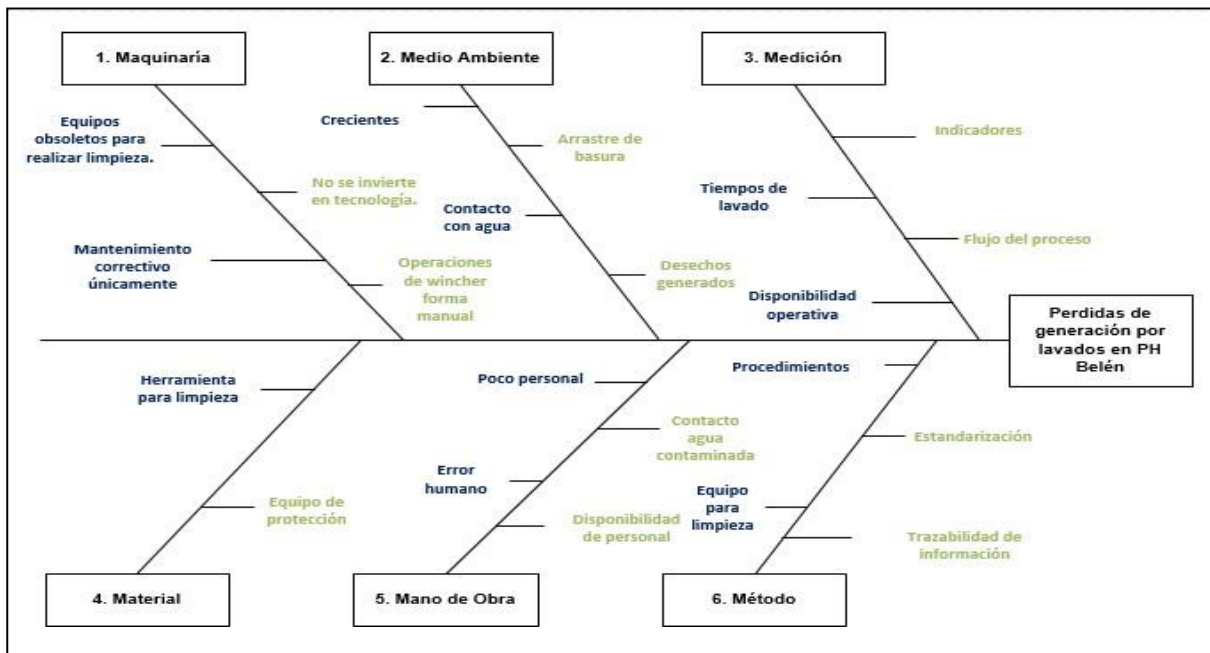


Figura 18. Diagrama Causa- Efecto pérdidas de generación Lavados.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.3.2.1 Maquinaria:

Para el apartado maquinaria en PH Belén relacionado con las limpiezas por lavados se toman en cuenta ciertos factores que se afectan la realización de estas y generan pérdidas para la generación, en entrevista con el encargado de la planta se establecen en conjunto una serie de factores que afectan las limpiezas en la presa de PH Belén:

Equipos Obsoletos para realizar limpieza: PH Belén es una de las plantas más antiguas en CNFL por esta razón algunos de sus equipos ya cumplieron su vida útil y no se cuentan con repuestos a mano para realizar los diversos mantenimientos correctivos, si no que en su defecto se deben realizar ajustes a los equipos ya instalados los cuales ya no cumplen de forma óptima para su función, ejemplo de esto es el sistema hidráulico de las compuertas de regulación y fondo en la presa, esto genera atrasos debido a que los equipos cuando se reparan dejan deshabilitado el equipo hasta su reparación y en su debido momento no hay forma de operar los equipos hasta que se reparen.

No se invierte en tecnología: En PH Belén no se cuenta con un plan de reemplazo de equipos obsoletos, el cual haga de la operación de la presa mucho más eficiente, no se invierte en la automatización de las operaciones y por el momento todas las operaciones de la presa se realizan de forma manual y se debe tener un operador por turno de forma obligatoria.

Mantenimiento correctivo: La Planta Hidroeléctrica Belén no cuenta con personal propiamente de mantenimiento si no que más bien se debe realizar una solicitud de mantenimiento mediante el sistema API PRO como se muestra en el anexo 7, de este modo los tiempos de espera para intervenir un equipo queda sujeto a otro departamento y al ser un personal muy reducido se debe esperar ya que ellos ven todas las plantas de CNFL, ante esto por lo general se realiza mantenimiento correctivo, lo cual genera fallas en los equipos por falta de mantenimiento preventivo, ejemplo de esto son las compuertas, las cuales se conforman por partes mecánicas y eléctricas para su funcionamiento.

Operación del Wincher de forma manual: Este wincher ubicado en la presa es de suma importancia a la hora de realizar las labores de limpieza debido a que con esta maquinaria se baja al personal cuando realiza la limpieza de la parrilla y también se saca la basura que se acumula en el andamio cuando se limpia, esta operación se realiza de forma manual y mínimo debe haber dos funcionarios para realizar la limpieza y otro para la manipulación del wincher de otra manera y por política de Salud Ocupacional de la empresa esta labor no se puede realizar. Otro problema radica en que la operación realizada con el wincher es muy lenta lo cual genera pérdidas de tiempo de limpieza, sumándole a esta la necesidad de personal para realizar los lavados, también se debe sumar que es un equipo muy viejo el cual continuamente se debe dar mantenimiento.



Imagen 8. Wincher Presa PH Belén.

Fuente: CNFL

4.3.2.2 Medio Ambiente:

Este punto dentro del análisis causa-efecto es de suma importancia debido a que esta variable es la que ocasiona los mayores problemas para la generación de la planta, esta variable no se puede controlar de forma concreta por la CNFL, como se mencionaba en capítulos anteriores, PH Belén es una planta que genera a filo de agua por esta razón lo que ocurra aguas arriba de la presa afecta directamente la generación de la planta.

Crecidas: La planta Hidroeléctrica Belén se ve altamente afectada por las crecientes que se producen en el cauce del río Virilla, generando niveles de agua muy elevados que comprometen la operación normal de la planta y genera un riesgo para los equipos instalados, como también genera un alto riesgo para el personal de la presa en sitio. Estos niveles tan elevados de agua en la presa producto de las crecientes no siempre son beneficiosos para la generación, debido a que se deben tomar medidas de prevención como cerrar compuertas para resguardar las instalaciones, para esto la CNFL cuenta con un protocolo de atención de avenidas.



Imagen 9. Inundación Presa PH Belén.

Fuente: CNFL

Arrastre de basura:

Este punto es de suma importancia y genera la mayor cantidad de salidas de operación de las unidades de línea, esto producto a la gran cantidad de basura que arrastra el río Virilla, esta condición es una amenaza que no puede controlar la CNFL, si bien es cierto se invierte en campañas de concientización en escuelas y colegios por parte de la CNFL es un tema de nunca acabar y de cultura del país. Este problema genera daños en los equipos y en las unidades de la planta, también es la responsable del atasco de parrilla de la presa y de las pérdidas de generación que se dan por esta razón.

Esta condición se da principalmente en los meses de invierno en el que el nivel del río sube producto de las aguas llovidas y de todas las aguas desviadas al cauce del río y esto a su vez arrastra todos los desechos acumulados en sus márgenes, si bien es cierto para las plantas de la CNFL en la temporada de invierno es donde se da la mayor generación hidroeléctrica por tener mayor recurso para la generación, también es la época donde se presentan más problemas de esta índole y un mayor riesgo para la generación producto de las crecidas que se generan, como se

mostraba en la tabla 35 (Resumen pérdidas de generación años 2016 a 2020 PH Belén) durante los años 2016 a 2020 se han generado un total de ₡126 920 605,78 en pérdidas por este concepto.



Imagen 10. Arrastre de basura en parilla de presa PH Belén.

Fuente: CNFL

Contacto con agua contaminada:

Otro de los aspectos a analizar es el contacto directo que tiene el personal de la planta que realiza las limpiezas con el agua contaminada proveniente del río Virilla, esta labor de limpieza es de gran riesgo para el personal de la planta debido a que se debe tener un contacto directo con esta agua para poder realizar las labores de limpieza, si bien es cierto el personal cuenta con equipo de protección como lo es: guantes, delantales, caretas, entre otros, el contacto siempre se da. En entrevista con el encargado de la planta se evidencia que el personal no le gusta realizar esta labor por el riesgo que conlleva el realizar la limpieza y tener que tocar estas aguas contaminadas.



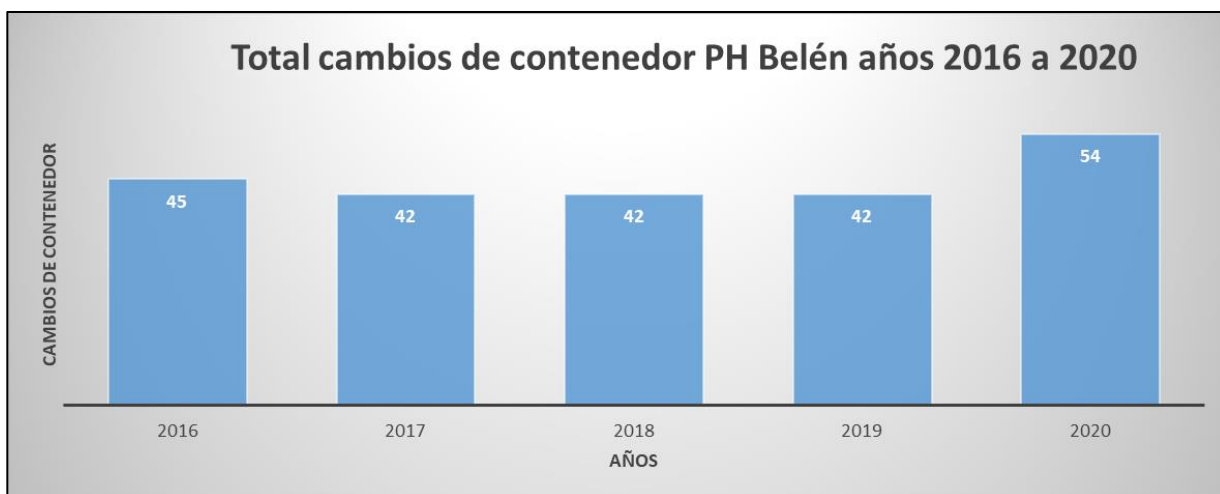
Imagen 11. Contacto directo con agua contaminada por parte del personal.

Fuente: CNFL

Desechos generados:

Producto de las diversas limpiezas realizadas en la presa y tanque de PH Belén a lo largo del año, se generan grandes cantidades de basura las cuales son arrastradas en el cauce del río y generan los problemas anteriormente mencionados para PH Belén, toda esta basura se debe disponer de forma correcta y dársele una trazabilidad a la misma, si bien es cierto la CNFL no genera estos desechos si debe tratarlos y disponerlos de manera adecuada, para PH Belén esto genera un costo adicional a la producción debido a la cantidad de contenedores que se sacan al año por parte de la empresa EBI.

A continuación, se presenta la gráfica con la cantidad de cambios de contenedor por año en PH Belén durante los años 2016 a 2020:



Grafica 15. Total, cambios de contenedor PH Belén años 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se observa en la gráfica 15, en la Planta Hidroeléctrica Belén se han producido un total de 225 cambios de contenedores, promediando un total de 45 cambios por año, lo cual genera un costo asociado al proceso de generación de PH Belén durante estos años, aunque la empresa incurre en este tipo de gastos producto de esta característica del río Virilla, esto se puede observar como un impacto positivo debido a que toda esta basura que se saca del río se le da su debida trazabilidad y disposición final en un relleno sanitario con los permisos correspondientes para dicho fin y la misma no llega al mar producto del arrastre de la misma en el mismo cauce del río.



Grafica 16. Total, de toneladas de basura generadas PH Belén 2016 a 2020.

Fuente: Proceso de recursos naturales y manejo de cuenca CNFL.

Como se observa en la gráfica anterior en la Planta Hidroeléctrica Belén durante los años 2016 a 2020 se han generado un total de 751,46 toneladas de desechos provenientes del proceso productivo en la planta, todos estos desechos son arrastrados en el canal de conducción y llegan a la parrilla de finos del tanque, en esta parte del proceso mediante la limpieza de la parrilla estos desechos son colocados en el contenedor de 15 metros para su posterior disposición final, como se puede observar durante los años 2017 se generan un total de 157,83 toneladas de basura, esto producto que para este año se tuvieron mayor intensidad de lluvias y fenómenos naturales que afectaron como por ejemplo onda tropical número 42, tormenta tropical Nate, depresión tropical número 16. Para el año 2020 se da un incremento en la cantidad de cambios de contenedor con un total de 54 cambios para un total de 177,44 toneladas generadas durante este año en cuestión, este aumento se debe a trabajos de mantenimiento en el canal de conducción, se estima que cada cambio de contenedor se retira un aproximado de 3,33 toneladas de basura.

4.3.2.3 Medición:

Horas fuera de línea por lavados:

En relación con los tiempos de lavado en PH Belén producto de los atascos en parrilla de la presa y tanque, se estiman que tienen una duración aproximada de cinco horas en la presa de PH Belén y de seis horas cuando se realizan en el tanque de PH Belén. Todas estas horas fuera de línea de las unidades representan una pérdida de generación para la planta debido a estos tiempos muertos por limpiezas de parrillas. Durante el año 2017 se observa un incremento en las horas fuera de línea por lavados esto debido a que este año se dieron incrementos significativos en las lluvias, como se mencionó anteriormente durante este año se dieron fenómenos naturales que afectaron significativamente la cantidad de basura generada como la cantidad de horas fuera de línea por concepto de lavados en la presa de PH Belén.

Total, de horas fuera de línea por lavados PH Belén 2016 a 2020			
Años	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
2016	196,82	142,06	66,76
2017	245,71	202,5	148,42
2018	27,89	62,57	23,33
2019	46,04	14,93	21,97
2020	60,73	55,2	21,59

Tabla 38. Total, horas fuera de línea por lavados PH Belén 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se muestra en la tabla 38, el total de horas fuera de línea por tiempos de lavados es de 1336,52 horas promediando un total de horas fuera de línea durante estos años; para la unidad 1 de 43,19% para la unidad 2 de 35,71% y finalmente para la unidad 3 de 21,10%.

Todas estas horas representan tiempos muertos de producción, en los cuales si bien es cierto hay agua para generar producto del nivel del río la mayoría de esta agua se va por rebalse debido a que la parrilla de acceso de agua al canal de conducción de PH Belén se encuentra con problemas de atascos.

Indicadores:

Para este apartado de medición no se puede dejar de lado el indicador de disponibilidad operativa con la que cuenta PH Belén, dicho indicador muestra la disponibilidad de las unidades ante las diversas causas oficializadas por la CNFL que pueden afectar la generación de PH Belén, entre las cuales se encuentran: avería eléctrica, avería mecánica, mantenimiento planeado, reserva bajo nivel, falla en el sistema, salida por lavados, para el análisis de este indicador se muestra un ejemplo del mes de setiembre del año 2020, en el cual se ven reflejados los valores que pueden afectar el indicador de disponibilidad operativa de PH Belén:

Horas Fuera de Línea según causas Septiembre del 2020								
Horas del mes: 720		Tipo de paro					Total	Horas Disponibles por Máquina
Planta	Horas en Reserva	Falla de Sistema	Avería Mecánica	Avería Eléctrica	Lavados	Manto. Planeado		
Belén	281,53	9,54	79,43	0,32	53,45	14,13	=D7+E7+F7+H7	2 056,58
Unidad 1	234,60	2,95	76,75		19,63	5,28		635,02
Unidad 2	46,93	3,22			22,95	0,63		716,15
Unidad 3		3,37	2,68	0,32	10,87	8,22		705,41
Porcentaje de Disponibilidad Operativa								
Belén	86,97	0,44	3,68	0,01	2,47	0,65		95,21
Unidad 1	67,42	0,41	10,66	-	2,73	0,73		88,20
Unidad 2	93,48	0,45	-	-	3,19	0,09		99,47
Unidad 3	100,00	0,47	0,37	0,04	1,51	1,14		97,97

Tabla 39 Horas fuera de línea según causas.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se muestra en la hoja de cálculo para el indicador de disponibilidad operativa de PH Belén, las únicas causas que se contabilizan para dicho indicador son: falla en el sistema, avería mecánica, avería eléctrica y mantenimientos planeados, en relación con las acusas referentes a lavados y horas reserva bajo nivel no se están contemplando como parte de la afectación que tiene PH Belén a la generación de la planta.

En entrevista con el encargado de la planta se indica que las causas referentes a reserva bajo nivel, la empresa no las puede controlar, debido a que esa una de las características del río Virilla (variación de nivel del río) y ante eso no se puede hacer nada, esta afectación se da en su mayoría en los periodos de verano. Cuando nos referimos a la causa de salidas por lavados, se indica que la empresa ha visto este factor como una característica del río difícil de controlar (basura) y por esta razón no se toma como parte del indicador de disponibilidad operativa, si bien es cierto esta condición se da con más frecuencia en los periodos de invierno y si se hacen acciones para realizar las limpiezas de parrilla de forma manual y minimizar las pérdidas por este concepto, hasta la actualidad no se están cuantificando dichas pérdidas y por ende no se conoce con certeza el valor económico de estas pérdidas, aunque si se realizan acciones para minimizar los tiempos fuera de línea por este

concepto, los mismos no son los adecuados y se presentan tiempos muy elevados para realizar estas limpiezas de forma manual y teniendo que llamar a personal para realizar estas limpiezas.

Ante este panorama este indicador no está contemplando todas las acciones que afectan la disponibilidad operativa de la planta, como por ejemplo el tema de lavados, estas horas fuera de operación no son cuantificadas y a la hora de calcular el indicador el mismo no es preciso.

Disponibilidad Operativa:

En el caso de la disponibilidad operativa como se mencionaba en el apartado anterior, la CNFL toma las causas que afectan la generación y por ende este indicador de calidad refleja la afectación por estas causas, esta disponibilidad operativa se calcula de la siguiente forma:

Fórmula del indicador: $(\text{Total Horas Disponibles} / \text{Total Horas Acumuladas por Unidades en Operación}) * 100$

Para este cálculo la dirección de generación establece las metas de disponibilidad operativa por año, las cuales pueden tener valores muy altos de alcanzar o, por el contrario, valores muy bajos que sean muy simples de alcanzar y las metas del indicador no estén ajustadas a la realidad.

4.3.2.4 Material:

Herramientas para realizar las limpiezas:

Para este apartado de material se toma en cuenta las herramientas disponibles para realizar las limpiezas de la parrilla, cabe destacar que todas las limpiezas se realizan de forma manual y cuenta con tiempos elevados para proceder a realizar las limpiezas, acá se denota un problema en relación a la limpieza de parrilla de gruesos de la presa, esto debido a que esta operación se realiza con ganchos de 2 metros, 4 metros y 6 metros de largo, como esta operación es altamente riesgosa debido a que se realiza con la compuerta de fondo abierta, la presión del agua es considerable para realizarla de forma manual y por lo general al personal que realiza la limpieza los ganchos se los lleva el agua, esto debido a la presión que ejerce el agua sobre la parrilla y la compuerta de descarga de fondo, ante esto en ocasiones no se cuenta con los diversos ganchos disponibles para realizar estas limpiezas y se debe dejar cierta parte sin limpiar debido al faltante de equipo para realizar estas

operaciones, ante esta situación la jefatura de la planta debe confeccionar a nivel interno de la planta una (F-10) solicitándole al taller Anonos la fabricación de dichos ganchos, esta fabricación se estima que puede durar en promedio 2 semanas, esto desde que se recibe la F-10 por parte de la planta, hasta la entrega de los ganchos por parte del taller.



Imagen 12. Gancho para realizar limpieza de parrilla de la presa.

Fuente: CNFL

Equipo de protección:

El equipo de protección es de suma importancia para realizar estas labores, en visita de campo se observa que el equipo que utilizan es arnés de seguridad, cinturón, línea de vida, guantes, delantal, botas, en los equipos como arnés y líneas de vida se observa que los mismos se encuentran en mal estado y vencidos, esto puede

ocasionar un riesgo al personal debido a que se presente algún incidente durante las limpiezas.

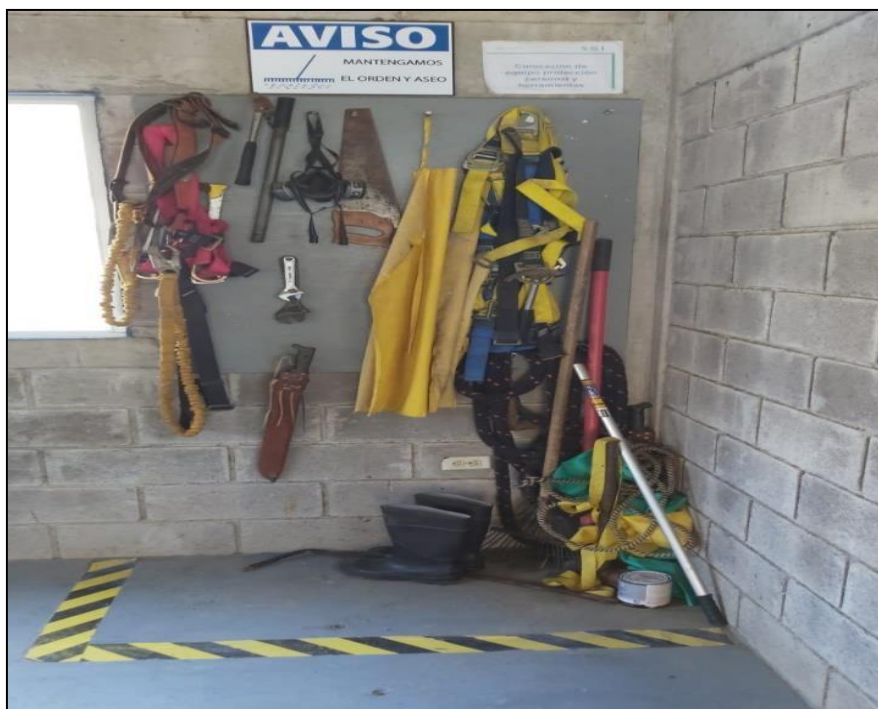


Imagen 13. Equipo protección para limpieza de parrilla presa Belén.

Fuente: CNFL

4.3.2.5 Mano de obra: Poco personal:

En la planta hidroeléctrica belén se cuenta con un total de 20 funcionarios, distribuidos de la siguiente manera, cuatro operadores, cuatro ayudantes de operador, cuatro operadores de tanque, cuatro operadores de presa, un misceláneo de planta, un asistente administrativo, un asistente operativo y un encargado de planta. Ante esta situación cuando se requiere realizar labores de limpieza en la planta no se cuenta con el personal suficiente para esta labor debido a que el personal anteriormente mencionado trabaja en rol (diurno, mixto y noche) y solo se tiene disponible al misceláneo de plantas para esta labor y por procedimiento de seguridad estas operaciones de limpieza en la presa y tanque se deben de realizar con un mínimo

de tres funcionarios, ante esta situación el encargado de la planta debe solucionar dicho problema movimiento el personal de rol y viendo como cubre los otros roles de la planta, esto dificulta las labores de limpieza porque no se cuenta con personal capacitado para estas labores si no que es personal de otras áreas que asumen estas limpiezas sin tener la experiencia necesaria.

Disponibilidad del personal:

Estas operaciones de lavado de parrillas por lo general se realizan en el periodo nocturno, que es cuando en la mayoría de ocasiones llega la creciente a la presa, en entrevista con el encargado de la planta, se comenta que el personal de la planta no se le paga ningún rubro por disponibilidad operativa el cual los comprometa a siempre estar disponibles en el momento que se requiera para realizar las operaciones, esto dificulta las labores debido a que no están en la obligación de contestar las llamadas en caso de ser llamados, algunas limpiezas se pueden programar y se avisa con anticipación al personal designado para la labor, pero en otras ocasiones son llamados de emergencia y en algunas oportunidades no se ha podido realizar las limpiezas de forma correcta por falta de disponibilidad del personal.

Error humano:

Este factor es de suma importancia debido a que una mala manipulación de las compuertas de regulación de agua al canal o de la compuerta de fondo puede llegar a ocasionar grandes problemas, como por ejemplo la inundación de la edificación de la presa o el desbarrumbe del canal de conducción. Siempre que en cualquier proceso exista la manipulación humana se corre con el riesgo de algún error que pueda generar en problemas para el proceso productivo, en PH Belén en el año 2017 se produjo un incidente con la compuerta de regulación, la cual no se cerró a tiempo y entro más agua de lo debido y produjo un derrumbe en el canal y se tuvo que sacar de línea toda la planta.

4.3.2.6 Método: Procedimiento:

Para realizar estas labores de limpieza de la parrilla de gruesos de la presa no se cuenta con algún procedimiento que estandarice las operaciones de limpieza en la presa, ante esto estas operaciones se realizan de forma diferente según los funcionarios que realicen las labores de limpieza, ante la limitante de personal se vuelve riesgoso de sobre manera esta operación debido a que no existe procedimiento sobre este tipo de limpieza si no que se realiza a experiencia del presero en turno. Actualmente la forma de trabajar si llega alguna creciente y ocasione algún atasco en la parrilla es la siguiente:

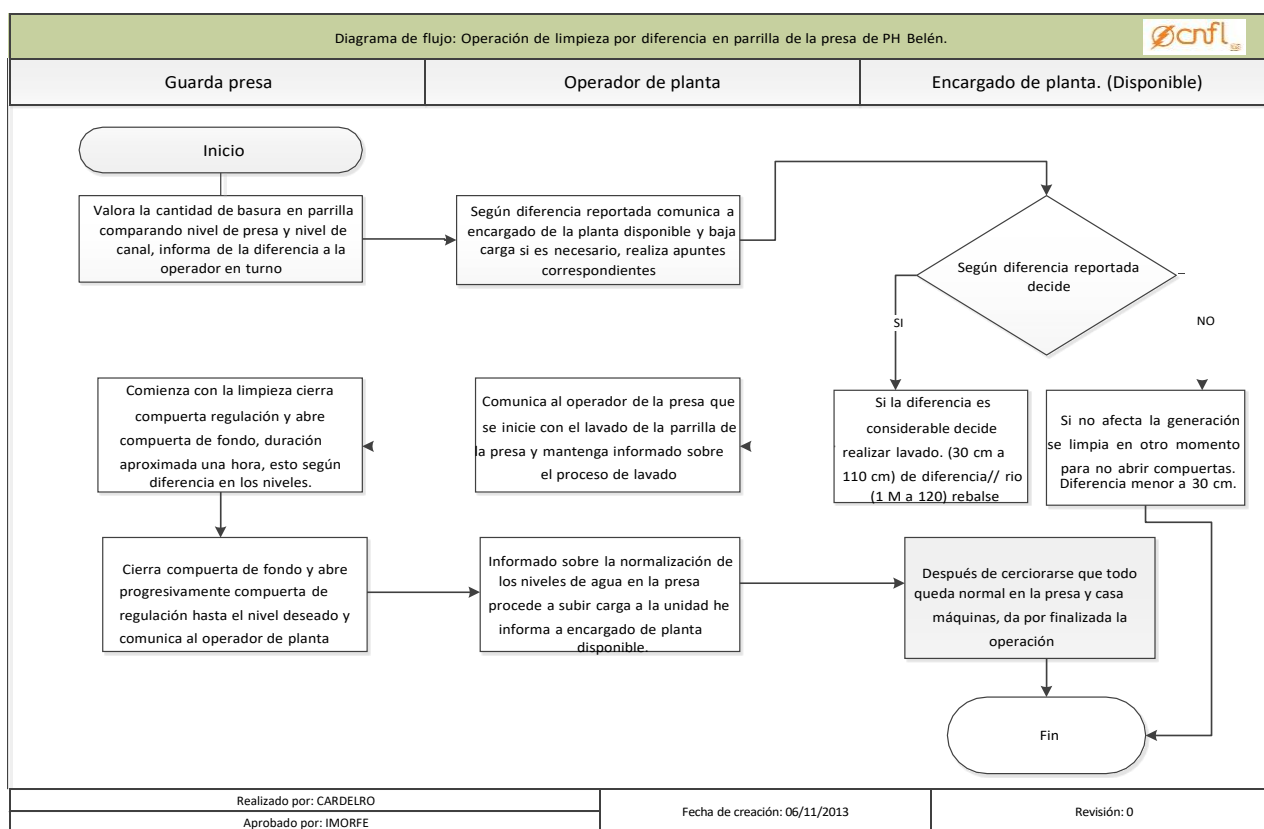


Figura 19. Operación de limpieza por diferencia en parrilla de la presa.

Fuente: PH Belén.

Limpieza de forma manual:

Todas estas operaciones de limpieza de parrillas en la presa y tanque de PH Belén se realizan de forma manual por parte del personal de la plata, al realizarse de esta forma se está sujeto al error humano por factores como desconocimiento de las labores, cansancio, estrés, sumándole a esto los tiempos de duración de estas labores, esto genera un riesgo tanto para el personal como potencian las pérdidas de generación por este concepto.



Imagen 14. Limpieza manual parrilla gruesos PH Belén.

Fuente: CNFL

4.3.3 Análisis diagrama Pareto por averías en las unidades de PH Belén.

Para realizar este diagrama de Pareto por cada unidad de PH Belén se toma en cuenta las averías que se producen cuando las unidades están en funcionamiento y tienen que salir de línea por alguna avería como tal, para este análisis se toma en cuenta las averías eléctricas, averías mecánicas y fallas en el sistema, estas últimas corresponden a eventos presentados en la red eléctrica que pueden ocasionar sacar de línea la planta de generación.

Toda la información para realizar el diagrama de Pareto se toma del SIP, anexo 5 (Sistema Integrado Plantas) y se analizará durante los años 2016 a 2020 las averías presentadas por cada unidad en particular, también se debe tomar en cuenta que para este análisis no se contemplan las horas reserva bajo nivel, esto debido a que es un faltante propiamente de recurso para la generación, tampoco se toman en cuenta los mantenimientos planeados, debido a que son trabajos que ya se tienen planeados con anticipación y no indisponen la unidad como si lo hace una avería de forma inmediata.

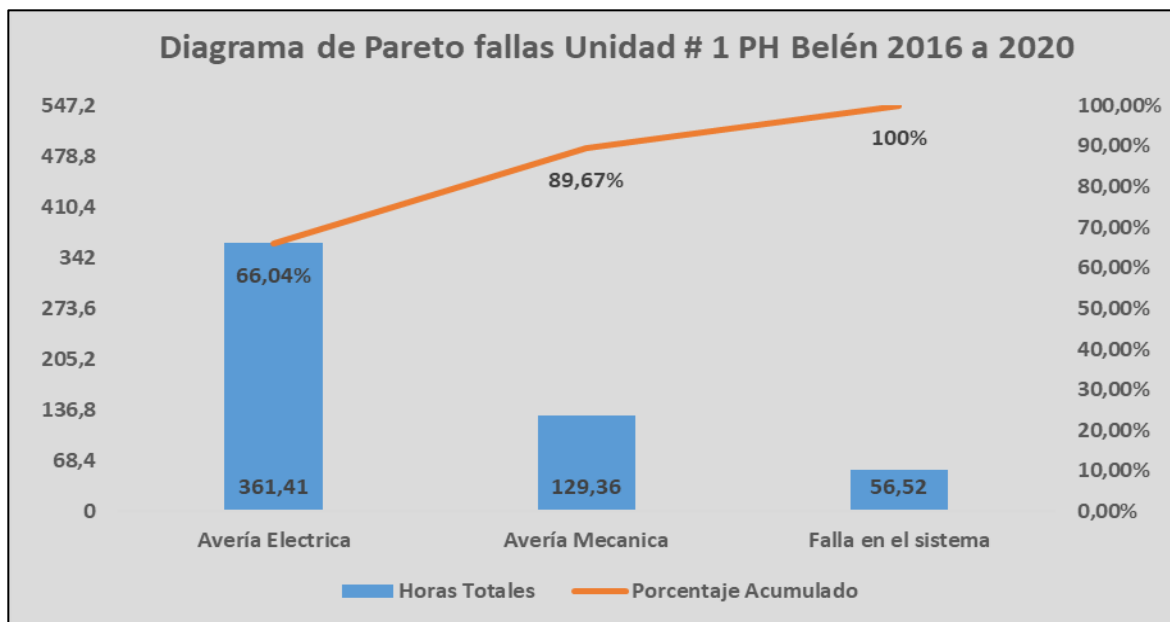
4.3.3.1 Diagrama de Pareto Unidad # 1 PH Belén:

Cabe destacar que la unidad # 1 de PH Belén es la que en proporción del recurso hídrico para la generación es la que menos tiempo está en operación, esta decisión es por experiencia operativa del personal, en la cual se menciona que consume más litros cúbicos de agua que la unidad # 2 de PH Belén.

Diagrama Pareto unidad 1 PH Belén 2016 a 2020			
Causa	Horas Totales	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Avería Eléctrica	361,41	66,04%	66,04%
Avería Mecánica	129,36	23,64%	89,67%
Falla en el sistema	56,52	10,33%	100%
Total	547,29	100%	

Tabla 40. Diagrama de Pareto unidad # 1 PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021



Grafica 17. Diagrama de Pareto unidad # 1 PH Belén, años 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la tabla 40, durante los años 2016 a 2020 la mayor afectación a la unidad # 1 corresponden a averías eléctricas, esta es la unidad más moderna y se dan mayores afectaciones en (sensores, PLC, interruptores), dichas averías presentadas corresponden a un 66,04% con un total de 361,41 horas fuera de línea durante estos años. Con las averías mecánicas corresponden a un 23,64% del total de averías atendidas durante estos años con un total de 129,36 horas fuera de línea. Con el tema de averías por falla en el sistema es la que representa en menor impacto con un total de 10,33% de afectación, reportando un total de 56,52 horas fuera de línea por estos detalles que se presentaron en la red eléctrica.

4.3.3.2 Diagrama de Pareto Unidad # 2 PH Belén:

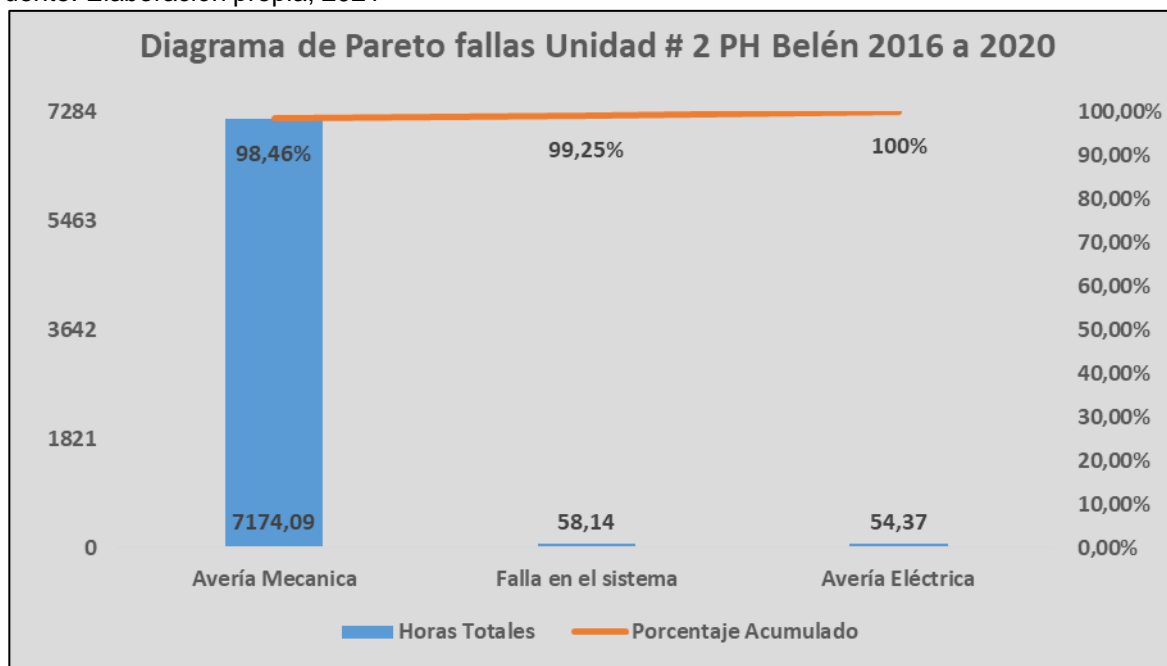
Para el análisis de la unidad # 2 de PH Belén se evidencia que es la unidad que más afectación por avería mecánica ha presentado durante estos años en cuestión, esto se debe a que dicha unidad es más propensa a sufrir daños en la válvula mariposa, que es la que abre o cierra para permitir el paso de agua desde la tubería de presión hacia la cámara espiral de la unidad. Según el encargado de la planta esto se debe porque dicha unidad al entrar basura se queda pegada en la galleta de la

válvula y al cerrarla la misma hace un esfuerzo mayor y el eje de la galleta sede y esto genera una avería mecánica en la válvula, sumado a esto también se presentan salidas de servicio por alabes corridos en la unidad producto a la basura atascada en el rodete de la unidad, como también calentamiento en los cojinetes de la unidad, esta es la unidad más antigua de la planta.

Diagrama Pareto unidad 2 PH Belén 2016 a 2020			
Causa	Horas Totales	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Avería Mecánica	7174,09	98,46%	98,46%
Falla en el sistema	58,14	0,80%	99,25%
Avería Eléctrica	54,37	0,75%	100%
Total	7286,6	100%	

Tabla 41. Diagrama de Pareto unidad # 2 PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021



Grafica 18. Diagrama de Pareto unidad # 2 PH Belén, años 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la gráfica 18, la mayor afectación que se presenta en la unidad # 2 corresponde a avería mecánica con un porcentaje de 98,46% para un total de 7174,09 horas fuera de línea durante los años 2016 a 2020, promediando un total de 1434,81 horas fuera de línea por año. Estas fallas mecánicas se deben a problemas relacionadas con la válvula de admisión.

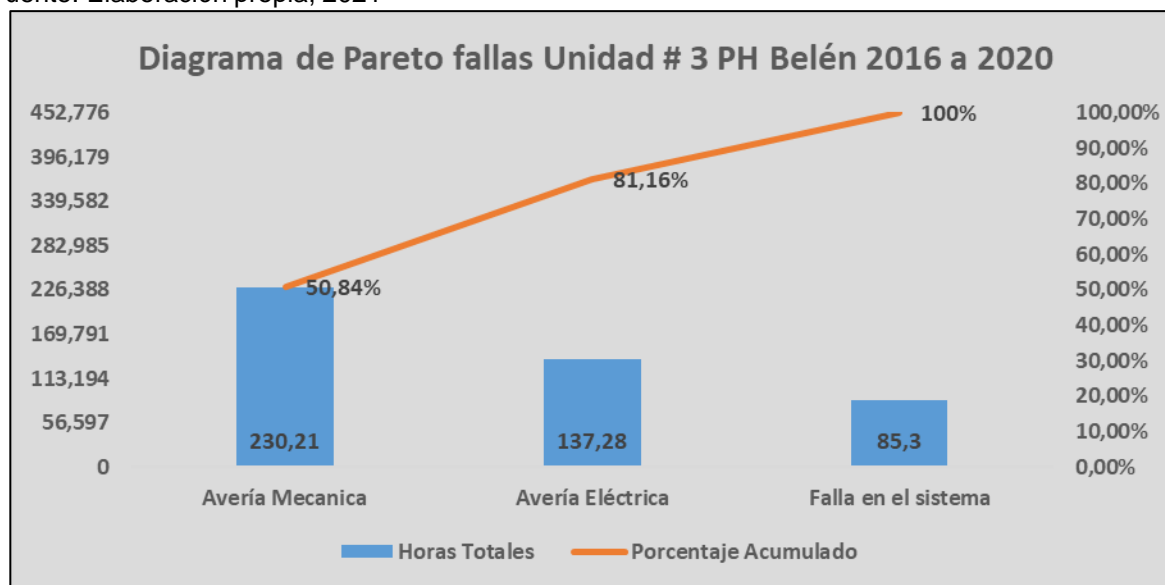
4.3.3.3 Diagrama de Pareto Unidad # 3 PH Belén:

En el caso de la unidad # 3 de PH Belén como se mencionaba en capítulos anteriores, es la unidad que está más horas en línea en PH Belén en comparación a las otras dos unidades, esta condición se debe a que por lo general cuenta con recurso hídrico para la generación y es la que tiene una mayor capacidad de generación con ocho megas, esta unidad por concepto de lavados en la que menos horas sale de línea (se saca por última opción) pero al contrario de las otras unidades es la que tiene el mayor impacto en pérdidas de generación por sacarla de línea.

Diagrama Pareto unidad 3 PH Belén 2016 a 2020			
Causa	Horas Totales	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Avería Mecánica	230,21	50,84%	50,84%
Avería Eléctrica	137,28	30,32%	81,16%
Falla en el sistema	85,3	18,84%	100%
Total	452,79	100%	

Tabla 42. Diagrama de Pareto unidad # 3 PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

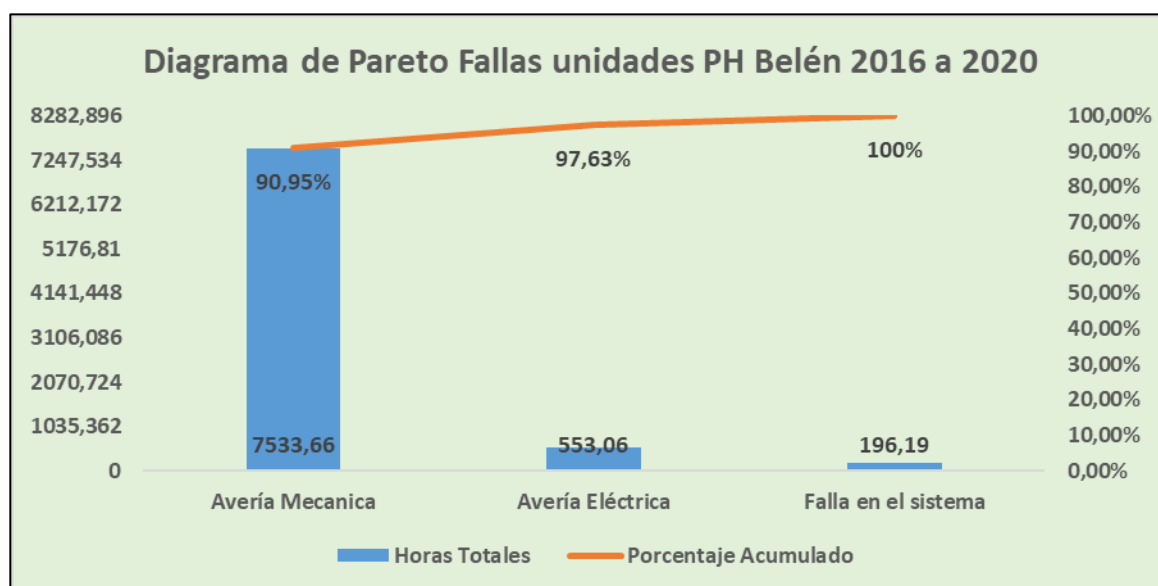


Grafica 19. Diagrama de Pareto unidad # 3 PH Belén, años 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El diagrama de Pareto para la unidad # 3, muestra que las averías mecánicas representan un total del 50,84% de la indisponibilidad de la unidad con 230,21 horas fuera de línea durante los años 2016 a 2020, posterior a esto nos muestra que las averías eléctricas representan un total de 30,32% con un total de 137,28 horas fuera de línea por este concepto y por ultimo las averías por falla en el sistema representan un total de 18,84% de las salidas de la unidad durante los años mencionados anteriormente.

Por último, se muestra la siguiente grafica que evidencia el comportamiento general de la planta PH Belén en relación con las averías presentadas:



Grafica 20. Diagrama de Pareto averías PH Belén 2016 a 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la gráfica 20, se evidencia que la mayor afectación para la Planta Hidroeléctrica Belén está relacionada directamente con averías mecánicas, la cual representa un 90,95% de todas las averías presentadas durante los años 2016 a 2020, todas estas averías tienen una afectación al indicador de disponibilidad operativa de PH Belén y por ende en el indicador de generación real de la planta. En resumen, la unidad # 3 de PH Belén es la que representa un mayor porcentaje de la generación de la planta con un total del 76,20% posterior a esto la unidad # 2 y la unidad # 1 con un total del 11,90% de la generación de PH Belén.

4.3.4 Análisis del problema salidas por lavado: Herramienta de los 5, ¿por qué?

Para realizar el análisis con esta herramienta en relación con la pérdida de generación por atasco de parrillas en la presa, la misma se realiza en conjunto con encargado de la planta, esto con la intención de determinar las causas que están afectando el proceso de generación de la planta.

- 1- ¿Porque se están presentando estos problemas por atasco de parrilla de gruesos de la presa?

Porque está en una característica propia del río Virilla, el cual al pasar su cauce por el GAM esto genera el arrastre de gran cantidad de basura en el río, toda esta basura llega al margen de la presa de PH Belén y está por ser una planta a filo de agua que toma directamente el agua del río hacia el canal de conducción gran parte de la basura se estanca en la parrilla de gruesos de la presa.

- 2- ¿Porque no se contabilizan en los indicadores de la planta las pérdidas de generación por este concepto?

Porque esta arista en relación con la basura arrastrada por el río se ha visto como una condición normal del río sobre todo en época lluviosa, ante eso se hacen acciones para minimizar las horas fuera de línea, pero no se contabilizan como tal.

- 3- ¿Porque no se cuenta con un indicador que refleje las pérdidas por este concepto?

Porque la dirección generación no ha definido esta causa como algo que se pueda intervenir para PH Belén y minimizar las pérdidas por este concepto.

- 4- ¿Por qué no se invierte en infraestructura para mejorar el modelo de limpieza de parrillas que se tiene actualmente?

Porque no se han cuantificado las pérdidas de generación relacionadas con atascos de parrillas en la presa y tanque de PH Belén.

- 5- ¿Porque no se han cuantificado las pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa?

Porque no se le ha designado esta función como un factor que afecte la disponibilidad operativa de la planta.

Con base en las anteriores preguntas, se llegó a la conclusión que una de las causas del problema es que en la Planta Hidroeléctrica Belén por años no se han contemplado estas pérdidas, debido a que se han visto como una condición normal del río (arrastre de basura), si bien es cierto se hacen acciones para limpiar las parrillas por estos atascos, no se tienen contempladas acciones que mejoren los tiempos de limpieza y que minimicen las pérdidas de generación, del mismo modo no se cuantifican estas causas y por ende es difícil poder invertir en mejorar este detalle en PH Belén si no se tiene claro cuáles son las pérdidas ocasionadas.

CAPÍTULO V

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

En este capítulo se plantea para PH Belén una serie de acciones para minimizar los tiempos de limpieza de la parrilla de gruesos de la presa por atasco de basura en la misma, generando de este modo un efecto favorable para la generación maximizando la generación de PH Belén y del mismo modo minimizar los tiempos de averías por fallas mecánicas de las unidades como se detalló en el capítulo anterior debido a atascos de basura en los alabes y rodete de las unidades.

Ante esta situación se plantean una serie de acciones con la intención de implementar un modelo de limpieza de la parrilla de la presa más eficiente, mejorando la disponibilidad operativa de la planta como la generación de esta, cuantificando las pérdidas de generación producto de los lavados, generando indicador que nos permita evidenciar las mejoras relacionadas con las limpiezas de la presa.

5.1 Metodología Análisis Modo Efecto- Falla (AMEF)

El uso de la aplicación de esta herramienta se basará en el proceso de generación de la Planta Hidroeléctrica Belén, abarcará los problemas relacionados con la limpieza de parrilla de gruesos de la presa por atascos de basura, como también los problemas mencionados en el capítulo anterior en relación a las fallas por averías mecánicas producto del arrastre de basura que se genera en el canal de conducción de la planta que por último llega a las turbinas de las unidades presentando el problema de atasco de basura en alabes, válvula de admisión y rodete.

Para este análisis se ponderará el NPR de cero a diez, donde cero no existe riesgo hasta diez que representa un riesgo extremadamente alto

ATRIBUTO DE PRIORIDAD	NIVEL NPR	CODIGO	Nivel	Valor cualitativo de ocurrencia de la falla
			10	Extremadamente alta
Riesgo de falla ALTO	500-1000	[Color Rojo]	9	Muy alta
			8	Alta
			7	Recurrente
Riesgo de falla MEDIO	125-499	[Color Naranja]	6	Moderada
			5	Ocasional
			4	Esporádica
Riesgo de falla BAJO	1-124	[Color Amarillo]	3	Baja
			2	Muy baja
No existe riesgo de falla	0	[Color Verde]	1	Remota

Figura 20, Criterios análisis AMEF

Fuente: Elaboración propia, 2021.

AMEF de proceso Generación hidroeléctrica PH Belén															
Objetivo de análisis: Pérdidas de generación producto de atascos de basura en parrilla de gruesos, presa de PH Belén															
Responsable: Jefatura PH Belén															
Elaborado por: Carlos Andrés Delgado Rojas										Revisado por: Roberto Carvajal Sandí					
Lugar: Planta Hidroeléctrica Belén															
Fecha: 15/04/2021															
											RESULTADOS DE LA ACCIÓN				
ITEM	OPERACIÓN	CAUSA FALLA POTENCIAL	EFFECTO POTENCIAL DE LA FALLA	CONTROL ACTUAL	OCURRENCIA (0-10)	SEVERIDAD (0-10)	DETECCIÓN (0-10)	NPR (SxOxD)	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE	ACCIONES IMPLEMENTADAS	OCURRENCIA (0-10)	SEVERIDAD (0-10)	DETECCIÓN (0-10)	NPR (SxOxD)
1	Comunicación presa-casamáquinas (crecientes)	Falla en comunicación entre presero y operador de planta	Daños a infraestructura de la presa, canal, tanque, CM	Teléfono IP, radio base de comunicación	5	7	3	105	Colocar radio portátil al personal de la presa, otralínea que no sea IP para cada puesto de trabajo	Jefatura de planta					
2	Manipulación de compuertas para lavar (fondo y regulación)	Falla fluido eléctrico en lapresa	No poder manipular compuertas	Planta emergencia	4	10	2	80	Programación de arranque de la planta de emergencia(modos prueba) Apertura de forma manual compuertas	Mantenimiento eléctrico					
4	Personal para realizar limpiezas	Buscar personal fuera de horas laborales para realizar limpieza de parrilla	Tiempos de limpieza prolongados, pérdidas de generación	No existe	9	6	6	324	Implementar sistema hidráulico de limpieza para minimizar los tiempos de lavado y pérdidas de generación	Jefatura de planta					
5	Limpieza manual de la parrilla	Atasco de parrilla por basura	Tiempos de limpieza prolongados, pérdidas de generación	Ganchos manuales para realizar limpieza	9	9	6	486	Implementar sistema hidráulico de limpieza para minimizar los tiempos de lavado y pérdidas de generación	Jefatura de planta					
6	Limpieza de parrilla con crecientes en el río	Atasco de parrilla	Tiempos prolongados esperando que baje el nivel del río para poder limpiar	Monitoreo del nivel de río apertura de compuerta de fondo y cierre de compuerta de regulación, limpieza de forma manual	9	9	9	729	Implementar sistema hidráulico de limpieza para minimizar los tiempos de lavado y pérdidas de generación	Jefatura de planta					
7	Mantenimiento correctivo en unidades de generación	Producto del arrastre de basura que llega a las turbinas de las unidades de generación	Posibles fallas por alabes corridos, daño en válvula de admisión, basura en rodete, calentamiento de la unidad y pérdidas de generación por avería mecánica	Monitoreo por parte del personal de la planta y reportes de avería cuando se presentan algún daño	7	10	8	560	Minimizar tiempos de respuesta para atención de averías	Mantenimiento mecánico					
8	Limpieza de parrilla de finos, tanque PH Belén	Basura que pasa la parrilla de la presa y se va por el canal de conducción hasta llegar al tanque	Sacar de línea la planta para realizar lavado, hay que vaciar el canal	Monitoreo del porcentaje de nivel del tanque	10	7	9	630	Implementar sistema hidráulico de limpieza para minimizar los tiempos de lavado y pérdidas de generación en la presa y la basura que pase sea menor	Jefatura de planta					

Figura 21. Análisis modo efecto- falla PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la figura 21, análisis modo efecto- falla PH Belén, se realiza el estudio de todas las posibles causas que generan el problema de atascos de parrilla de la presa de PH Belén y sus consecuencias a lo largo del proceso productivo de la planta, en la cual se evidencia un total de tres operaciones que repercuten en los mayores problemas para generar las mismas dentro de la metodología AMEF se demarcan en color rojo

- Crecientes en el río y atascos de parrilla.
- Basura arrastrada por canal de conducción y llega a parrilla de finos tanque.
- Basura que llega a las unidades de generación.

Estos tres factores anteriormente mencionados en conclusión son los que representan los mayores problemas para la generación de la planta y generan la mayoría de las averías mecánicas en las unidades. En relación con la basura producto de las crecientes en el río se evidencia que las mismas repercuten de forma directa en la generación, disminuyendo los niveles de agua en el canal de conducción, sumado a esto los tiempos excesivos para proceder con la limpieza de la parrilla, teniendo que llamar personal en horas fuera de horario normal para proceder a limpiar la parrilla.

Otro factor a considerar es que la basura que pasa por la parrilla de gruesos de la presa es arrastrada a lo largo del canal de conducción que llega a la parrilla de finos ubicada en el tanque de oscilación de la planta, esto genera atascos en esta parrilla y comienza a tomar caudizo la parrilla (diferencia de nivel antes y después de la parrilla) debido a esta condición y cuando el caudizo ya es considerable, esto según criterio experto del personal se procede a realizar una limpieza de esta parrilla y para esto se debe programar una limpieza, sacando de línea la planta y vaciando el canal de conducción para poder limpiar, esta operación se estima que dura aproximadamente ocho horas.

Por último, cuando esta basura pasa el filtro de la parrilla de finos del tanque esta entra en las tuberías de presión que van directamente a la turbina de generación de cada unidad, esto representa un problema debido a que esta basura se atasca en las alabes móviles de la unidad, válvula de admisión y rodete de la unidad, como consecuencia de lo anteriormente descrito la unidad presenta alteración en las temperaturas y fallas mecánicas producto de este detalle descrito.

5.2 Oportunidades de mejora vrs propuestas

A continuación, se muestra la oportunidad de mejora que se analizó en el desarrollo del capítulo anterior y que se llega a la conclusión que es la que genera mayor problema, ante esto se realizara una propuesta de mejora con la intención de minimizar los impactos negativos descritos para el proceso productivo de PH Belén:

Oportunidad de mejora

- Limpieza de parrilla gruesos en presa de PH Belén, producto de crecidas en el río Virilla.

Propuesta de mejora

- Implementar estudio de tiempos de cómo se realizan las limpiezas de parrilla hasta la actualidad versus estudio de tiempos de limpieza de parrilla con sistema hidráulico instalado en otra planta de la CNFL (PH EL Encanto)
- Minimizar los tiempos de lavado implementando sistema de limpieza hidráulico en parrilla de gruesos de la presa de PH Belén.
- Estudio económico sobre instalación de sistema hidráulico de limpieza de la parrilla de gruesos de la presa.
- Implementar indicador de calidad que permita evidenciar la minimización de los tiempos de lavado.
- Capacitación al personal de la planta para la atención de averías mecánicas menores, para no indisponer las unidades por tiempos fuera de línea producto de estas averías.

5.2.1 Diseño de la propuesta

Efectuado el diagnóstico de la situación actual del proceso de generación hidroeléctrica de PH Belén, se plantea una propuesta de mejora que dé solución a las causas principales que implican las pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa. Como se ha mencionado en el proyecto PH Belén no cuenta con un sistema que optimice la forma de limpiar la presa producto de la basura arrastrada por el río y que se atasca en la parrilla de gruesos, hasta la actualidad está limpieza se realiza de forma manual y esperando que los niveles del río se presten para poder realizar las limpiezas, estas operaciones tienen tiempos muy prolongados que generan pérdidas de generación, tampoco se cuantifican estas pérdidas y se toman en cuenta para el cálculo del indicador de disponibilidad operativa.

Actualmente la planta no cuenta con un estudio de tiempo donde se evidencien la duración de estos lavados y no se puede comparar estos valores con alguna planta de CNFL que cuente con algún sistema hidráulico de limpieza de parrillas en la toma, esto con la idea de clarificar la disminución de los tiempos de lavado en PH Belén si se atiende a colocar un sistema hidráulico de limpieza.

5.2.2 Análisis de actividades y recolección de muestras

Para el estudio de la situación actual de la limpieza de la parrilla de la presa se procede a la identificación de los puntos que integran dicho proceso, este análisis se procede a hacer con la observación del flujo normal del proceso, desde el momento en que el río comienza a subir el nivel y se presentan diferencia en los niveles de la presa (río- canal) los cuales comienzan a afectar la generación al punto de bajar potencia a las unidades o inclusive sacar de línea las unidades por atorro en la parrilla, esto incluye los tiempos de llamado al personal y que el mismo se desplace hasta la presa, esperar a que los niveles de río permitan bajar al personal a la parrilla a realizar la labor de limpieza.

5.3 Recolección y tamaño de la muestra limpieza manual de la presa

Para determinar el tamaño de la muestra se consideró, primeramente, las actividades intervienen en el proceso, es de suma importancia comprender el funcionamiento del proceso de limpieza de la presa de PH Belén, como se determinó anteriormente según las observaciones se tomará el total del ciclo de

trabajo, aclarando que solo se estudiará el proceso de limpieza de la parrilla de la presa, por otra parte, la planta no cuenta con una estandarización del proceso, para estas estimaciones se utilizará el método estadístico en el siguiente orden:

1. Se toma un total de 5 observaciones de manera inicial.
2. Se calcula el promedio y la desviación estándar.
3. Se define el nivel de confianza y la precisión en la investigación.
4. Se calcula el tamaño de la muestra.
5. Se establece el número de muestras a realizar.

En el presente proyecto según el método estadístico descrito anteriormente se procede con la definición del tamaño de la muestra mediante la siguiente formula:

$$n = \left(\frac{Z * S}{h * X} \right)^2$$

h = Nivel de exactitud deseado en porcentaje del elemento de trabajo

Z = Número de desviación estándar requeridas por el nivel de confiabilidad

S = Desviación estándar de la muestra

X = Media de la muestra inicial

Nivel de confianza del 95% (95% = 1,96 Tabla de distribución normal para valores de Z). Margen de error del $\pm 5\%$

Ya determinados los parámetros para la ejecución del tamaño de la muestra referente a atascos de parrilla de gruesos en PH Belén durante los años 2016 a 2020, se toman 5 muestras preliminares para el respectivo cálculo según la formula descrita anteriormente para la presente investigación de la muestra, cabe mencionar que para realizar el siguiente estudio el nivel de confianza utilizado es de un 95%, con un 5% de error maestral, a continuación, se muestran los datos necesarios para obtener el resultado del tamaño de la muestra:

Muestreo preliminar para determinar tamaño de la muestra					
Muestreo	Mes	Actividad	Hora llegada	Hora Salida	Duración (Horas)
Muestra 1	Mayo	Lavado por crecida	09:00 a. m.	04:00 a. m.	6,00
Muestra 2	Mayo	Lavado por crecida	08:00 p. m.	02:45 a. m.	6,45
Muestra 3	Julio	Lavado por crecida	09:00 p. m.	04:00 a. m.	7,00
Muestra 4	Setiembre	Lavado por crecida	08:00 p. m.	03:10 a. m.	7,10
Muestra 5	Setiembre	Lavado por crecida	09:00 p. m.	03:00 a. m.	6,00

Tabla 43. Muestreo preliminar tamaño de muestra limpieza manual.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Estos datos presentados se toman del registro “Tiempo extraordinario en planta, embalse y presa de PH Belén” en este registro se contemplan las horas extras del personal de la planta durante los diversos años en la planta en los cuales se ha requerido de personal en tiempo extra ordinario, estos tiempos extras que se presentan en las muestras preliminares corresponden exclusivamente a limpiezas de parrilla de gruesos de la presa, como se observa la mayoría de lavados se realizan en la noche y madrugada, esto debido a las lluvias en horas de la tardes y van llegando a la represa en horas de la noche, también se debe contemplar que para realizar los lavados se debe tomar en cuenta el nivel de río, de esto depende que se pueda proceder a limpiar, por eso se presentan tiempos tan elevados de limpieza.

$$n = \left(\frac{1,96 * 0,527257053}{0,05 * 6,51} \right)^2 = 10$$

Media	6,51
Desviación estándar	0,527257053
Nivel de confianza	1,96
Margen error	0,05

Figura 22. Cálculo tamaño de la muestra.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la figura anterior, mediante el método estadístico se determina que la cantidad de muestras necesarias para realizar el presente estudio es de 10, para la cual se procederá con la ejecución del muestreo de los datos faltantes con la intención de completar el total requerido para la investigación. Es de importancia mencionar que los datos que se tomaron para el muestreo preliminar y los faltantes para completar el tamaño de la muestra son tomados del mismo reporte “Tiempo extraordinario en planta, embalse y presa de PH Belén” durante el año 2020, por ser tiempos tan prolongados se procedió a tomarlos de los datos existentes de la planta hidroeléctrica en relación con las horas extras por limpieza de parrilla de la presa.

A continuación, se muestra la siguiente tabla con las die muestras:

Pérdidas de Generación PH Belén según estudio de muestras								
Muestreo	Mes	Actividad	Hora llegada	Hora Salida	Duración (Horas)	Pérdida energía (KWh)	Horario tarifario	Total, pérdida
Muestra 1	Mayo	Lavado por crecida	09:00 p. m.	04:00 a. m.	6,00	2500	44,48	₡ 667 200,00
Muestra 2	Mayo	Lavado por crecida	08:00 p. m.	02:45 a. m.	6,45	2500	36,91	₡ 595 173,75
Muestra 3	Julio	Lavado por crecida	09:00 p. m.	04:00 a. m.	7,00	2500	35,22	₡ 616 350,00
Muestra 4	Setiembre	Lavado por crecida	08:00 p. m.	03:10 a. m.	7,10	4000	35,22	₡ 1 000 248,00
Muestra 5	Setiembre	Lavado por crecida	09:00 p. m.	03:00 a. m.	6,00	3000	35,22	₡ 633 960,00
Muestra 6	Agosto	Lavado por crecida	08:00 p. m.	01:00 a. m.	5,00	3000	35,22	₡ 528 300,00
Muestra 7	Octubre	Lavado por crecida	09:00 p. m.	03:30 a. m.	6,30	2500	32,27	₡ 508 252,50
Muestra 8	Setiembre	Lavado por crecida	10:00 p. m.	03:00 a. m.	5,00	3000	35,22	₡ 528 300,00
Muestra 9	Noviembre	Lavado por crecida	10:00 p. m.	04:15 a. m.	6,15	3000	32,27	₡ 595 381,50
Muestra 10	Noviembre	Lavado por crecida	10:00 p. m.	04:00 a. m.	6,00	2500	32,27	₡ 484 050,00
Totales					61,00	28500		₡ 6 157 215,75

Tabla 44. Pérdidas de Generación PH Belén según muestras.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se observa en la tabla 44, los meses de invierno es donde se presentan la mayoría de lavados en la presa, también a considerar que los lavados por lo general se realizan en horario nocturno, por esta razón se toma la tarifa correspondiente del periodo nocturno, estas diez muestras tomadas de los datos existentes en la planta nos reflejan un total de 61 horas fuera de línea con una pérdida estimada de 28500 KWh, los cuales transformados a pérdidas económicas nos da un total de ₡6 157 215,75, todos estos datos analizados corresponden al

año 2020, si comparamos estas 10 muestras contra las pérdidas totales del año 2020, según figura 29 (Pérdida estimada generación año 2020), que nos dan un total de ¢ 11.221.956,23, lo cual representa un total del 56% de las pérdidas del año 2020.

5.4 Recolección y tamaño muestra, limpieza sistema hidráulico PH Encanto.

Para realizar la comparación de la forma como se está limpiando actualmente la parrilla de gruesos de la presa se procedió a realizar un estudio de los tiempos de la limpieza de la parrilla de la toma de PH Encanto, esta es otra planta hidroeléctrica de la CNFL, en el año 2018 se instaló un sistema de limpieza de la toma esto con la intención de minimizar las pérdidas de generación por este concepto, ante esta situación se pretende sacar una muestra preliminar utilizando la misma fórmula que se utilizó para calcular la muestra en PH Belén.

1. Se toma un total de 5 observaciones de manera inicial.
2. Se calcula el promedio y la desviación estándar.
3. Se define el nivel de confianza y la precisión en la investigación.
4. Se calcula el tamaño de la muestra.
5. Se establece el número de muestras a realizar.

$$n = \left(\frac{Z * S}{h * X} \right)^2$$

h = Nivel de exactitud deseado en porcentaje del elemento de trabajo

Z = Número de desviación estándar requeridas por el nivel de confiabilidad

S = Desviación estándar de la muestra

X = Media de la muestra inicial

Nivel de confianza del 95% (95% = 1,96 Tabla de distribución normal para valores de Z)

Margen de error del $\pm 5\%$

Para este cálculo se utilizará el mismo nivel de confiabilidad de 95%, con un error maestral del 5%, a continuación, se muestra los datos necesarios para determinar el tamaño de la muestra:

Muestreo preliminar para determinar tamaño de la muestra		
Muestreo	Actividad	Duración (Horas)
Muestra 1	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,35
Muestra 2	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,43
Muestra 3	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,40
Muestra 4	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,38
Muestra 5	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,33

Tabla 45. Muestreo preliminar limpieza parrilla con sistema hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se observa en la tabla 45, estos tiempos de limpieza para la obtención del tamaño de la muestra, se extraen de los datos de la limpieza de la parrilla de PH Encanto, en la cual se instaló un sistema hidráulico para la limpieza de la parrilla de la toma, para este caso se toman cinco muestras preliminares para para obtener el tamaño de la muestra.

$$n = \left(\frac{1,96 * 0,039623226}{0,05 * 1,96} \right)^2 = 17$$

Media	0,38
Desviación estándar	0,039623226
Nivel de confianza	1,96
Margen error	0,05

Figura 23. Cálculo tamaño de la muestra sistema hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en la figura anterior, mediante el método estadístico se determina que la cantidad de muestras necesarias para realizar el presente estudio es de 17, para la cual se procederá con la ejecución del muestreo de los datos faltantes con la intención de completar el total requerido para la investigación.

Estudio de tiempos limpieza de parrilla PH Encanto sistema hidráulico			
Muestreo	Mes	Actividad	Duración (Horas)
Muestra 1	Mayo	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,35
Muestra 2	Mayo	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,43
Muestra 3	Mayo	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,40
Muestra 4	Julio	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,38
Muestra 5	Julio	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,33
Muestra 6	Agosto	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,37
Muestra 7	Agosto	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,38
Muestra 8	Setiembre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,33
Muestra 9	Setiembre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,40
Muestra 10	Setiembre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,45
Muestra 11	Octubre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,38
Muestra 12	Octubre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,40
Muestra 13	Octubre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,41
Muestra 14	Octubre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,35
Muestra 15	Noviembre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,4
Muestra 16	Noviembre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,41
Muestra 17	Noviembre	Limpieza de parrilla sistema hidráulico	0,38
Total			6,55

Tabla 46. Muestreo limpieza parrilla con sistema hidráulico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Según el estudio de tiempos realizado al sistema de limpieza de la parrilla de la presa de PH Encanto se observa que la duración de las 17 muestras es de 6,55 horas, promediando un total de 0,39 horas en cada limpieza, se debe tomar en cuenta que para esta limpieza se toma en cuenta el momento en el que el presero en turno nota ya la existencia de basura en la parrilla, proceder a informar a la planta de la maniobra de limpieza a realizar, operación con el sistema hidráulico para realizar la limpieza, como por ultimo realizar el acomodo de la basura que extrae el sistema de limpieza, todos estos tiempos promediados en minutos nos da un total de 23,11 minutos por cada operación de limpieza.

5.5 Comparación entre sistema de limpieza hidráulico contra sistema de limpieza manual.

A continuación, se muestra la siguiente tabla en la que se realiza la comparación de las pérdidas de generación tanto en horas como económicas entre los dos sistemas de limpieza, el actual como se realiza en PH Belén de forma manual contra la propuesta de limpieza con la implementación de un sistema hidráulico que minimice tanto las pérdidas de horas muertas en producción como las pérdidas económicas producto del atasco de la parrilla de la presa de PH Belén.

Dicha tabla se elabora con los tiempos obtenidos en los muestreos correspondientes del estudio de tiempos tanto en PH Belén como con la propuesta de limpieza con sistema hidráulico de PH Encanto.

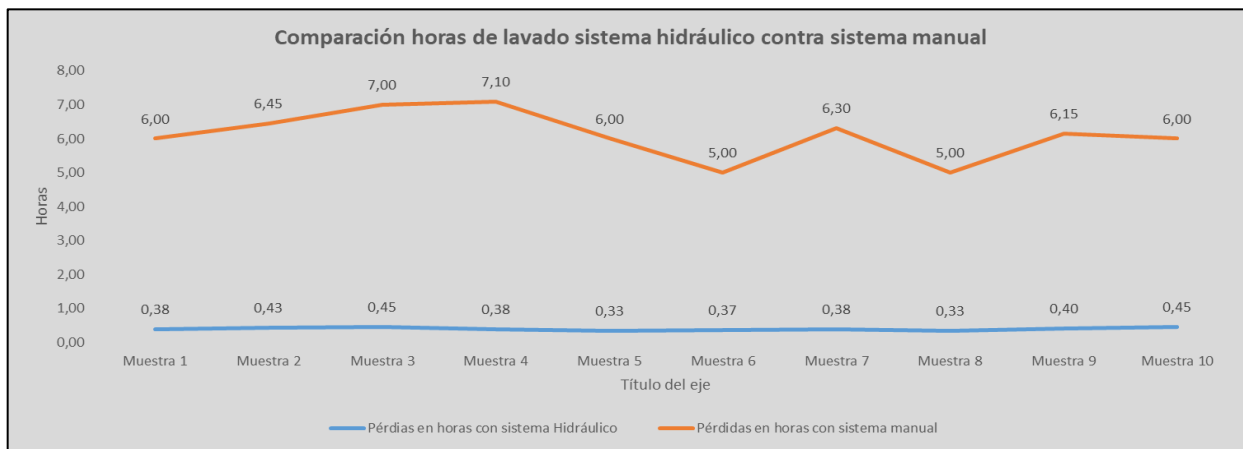
Comparación de pérdidas con sistema de limpieza hidráulico contra sistema de limpieza de forma manual								
Muestreo	Mes	Actividad	Pérdidas en horas con sistema Hidráulico	Pérdidas en horas con sistema manual	Pérdida energía (KWh)	Horario tarifario	Pérdida generación con sistema hidráulico (colones)	Pérdida de generación con sistema manual (colones)
Muestra 1	Mayo	Lavado por crecida	0,38	6,00	2500	44,48	₡ 42 256,00	₡ 667 200,00
Muestra 2	Mayo	Lavado por crecida	0,43	6,45	2500	36,91	₡ 39 955,08	₡ 595 173,75
Muestra 3	Julio	Lavado por crecida	0,45	7,00	2500	35,22	₡ 39 622,50	₡ 616 350,00
Muestra 4	Setiembre	Lavado por crecida	0,38	7,10	4000	35,22	₡ 53 534,40	₡ 1 000 248,00
Muestra 5	Setiembre	Lavado por crecida	0,33	6,00	3000	35,22	₡ 34 867,80	₡ 633 960,00
Muestra 6	Agosto	Lavado por crecida	0,37	5,00	3000	35,22	₡ 38 671,56	₡ 528 300,00
Muestra 7	Octubre	Lavado por crecida	0,38	6,30	2500	32,27	₡ 30 656,50	₡ 508 252,50
Muestra 8	Setiembre	Lavado por crecida	0,33	5,00	3000	35,22	₡ 34 867,80	₡ 528 300,00
Muestra 9	Noviembre	Lavado por crecida	0,40	6,15	3000	32,27	₡ 38 724,00	₡ 595 381,50
Muestra 10	Noviembre	Lavado por crecida	0,45	6,00	2500	32,27	₡ 36 303,75	₡ 484 050,00
Totales			3,90	61,00	28500		₡ 389 459,39	₡ 6 157 215,75

Tabla 47. Comparación entre sistema manual y sistema hidráulico (horas, colones).

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para la realización de esta tabla se toman los meses en los que se contabilizó las pérdidas de generación en PH Belén que contabilizó el estudio de tiempos y se compara contra los tiempos efectuados con el sistema de limpieza hidráulico, como lo muestra la tabla el total de horas por lavado con el sistema manual es de 61 horas, mientras que con el sistema de limpieza hidráulico se estima un total de 3,90 horas por este concepto de lavados, esto quiere decir que se obtiene una mejoría en los tiempos de lavados de 57,1 horas, minimizando en de este modo las pérdidas por

lavados. A continuación, se muestra la siguiente gráfica donde se compara el total de horas por lavado.



Gráfica 21. Comparación tiempos de lavado sistema hidráulico contra sistema manual.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Otro punto importante de esta comparación va en relación con las pérdidas económicas por la realización de estos lavados, actualmente estos lavados se realizan de forma manual los cuales tienen tiempos estimados muy altos para cada limpieza a realizar, se estiman que tienen una duración promedio de 6,10 horas, lo cual se traduce en pérdidas económicas para la institución, en este ejercicio nos da una pérdida estimada de ₡ 6 157 215,75, si comparamos estos lavados con los tiempos establecidos con el sistema de limpieza hidráulico las pérdidas de generación se minimizan a ₡ 392 942,55, esto implicaría una ganancia en la producción de ₡ 5 764 273,2, otro punto de suma importancia es que con la implementación de este sistema hidráulico se estima una minimización en las salidas de línea de las unidades por lavados en la presa como también se minimizaría la cantidad de basura que llega a la parrilla de finos del tanque y por ende la basura que llega a las unidades que generan averías mecánicas. Del mismo modo con esta implementación se minimiza el riesgo al que

el personal de la planta se expone a la hora de realizar estos lavados al tener que estar en contacto directo con las aguas contaminadas del río Virilla, como también el riesgo de realizar estas labores con la compuerta de fondo abierta.

A continuación, se adjunta la gráfica donde se muestra la minimización de las pérdidas económicas por lavados.



Grafica 22. Minimización pérdidas económicas PH Belén.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Esta gráfica nos muestra la diferencia económica entre realizar la limpieza como hasta la actualidad se realiza de forma manual contra la realización de la limpieza con la implementación de un sistema de limpieza hidráulico, estas pérdidas económicas se pueden agravar de forma considerable dependiendo de los niveles de agua producto de los fuertes inviernos.

5.6 Sistema de limpieza hidráulico propuesto para PH Belén.

Para la propuesta de la elaboración y colocación del sistema de limpia rejillas de PH Belén se toma como referencia el sistema de limpieza colocado en la toma de PH Encanto, estas represas tienen una similitud en relación a la parrilla de gruesos que no permite el paso de basura al canal de conducción de dichas plantas, con esta colocación en PH Encanto se ha optimizado la generación y se minimizan los tiempos lavado, por esta razón se toma como base para la propuesta de colocación

de un sistema similar en PH Belén, que permita minimizar tiempos de lavado y no tener que sacar máquinas de línea por concepto de lavados y minimizando del mismo modo las averías mecánicas presentadas en las unidades, todas estas mejoras con miras en ser de PH Belén una planta más eficiente y mejorando sus indicadores de disponibilidad operativa como el indicador de generación.

Otro punto importante es el generar un impacto positivo al medio ambiente, debido a que toda la basura que se extraiga con el sistema hidráulico de limpieza será transportada a un sitio adecuado para su disposición final, logrando obtener una adecuada trazabilidad de los desechos.

Con la colocación de este sistema se minimiza el riesgo existente hasta la actualidad del personal con contacto directo con las aguas contaminadas del río y la basura arrastrada en su cauce, sin lugar a duda es un beneficio para la empresa como para la integridad del personal de la planta.

Esta implementación tuvo un costo estimado de ₡13 209 666,51, el cual incluye la implementación del sistema de limpieza, por parte de la empresa SR REMING S.A.

Todos estos datos serán utilizados como insumo para realizar el análisis económico de la propuesta de la implementación del sistema de limpieza del limpia rejillas de PH Belén.

A continuación, se muestra imágenes del sistema de limpieza hidráulico propuesto para la presa de PH Belén.

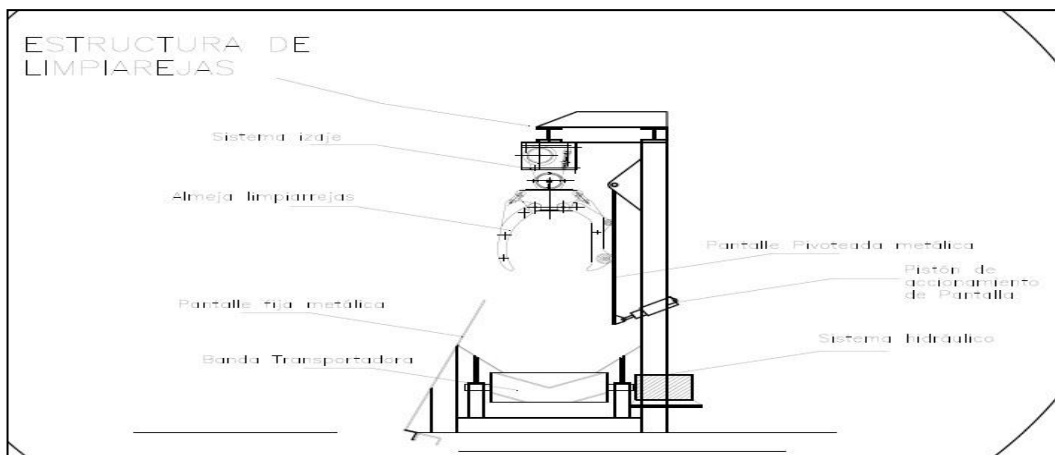


Figura 24. Sistema de limpieza hidráulico PH Encanto

Fuente: Planos PH Encanto.

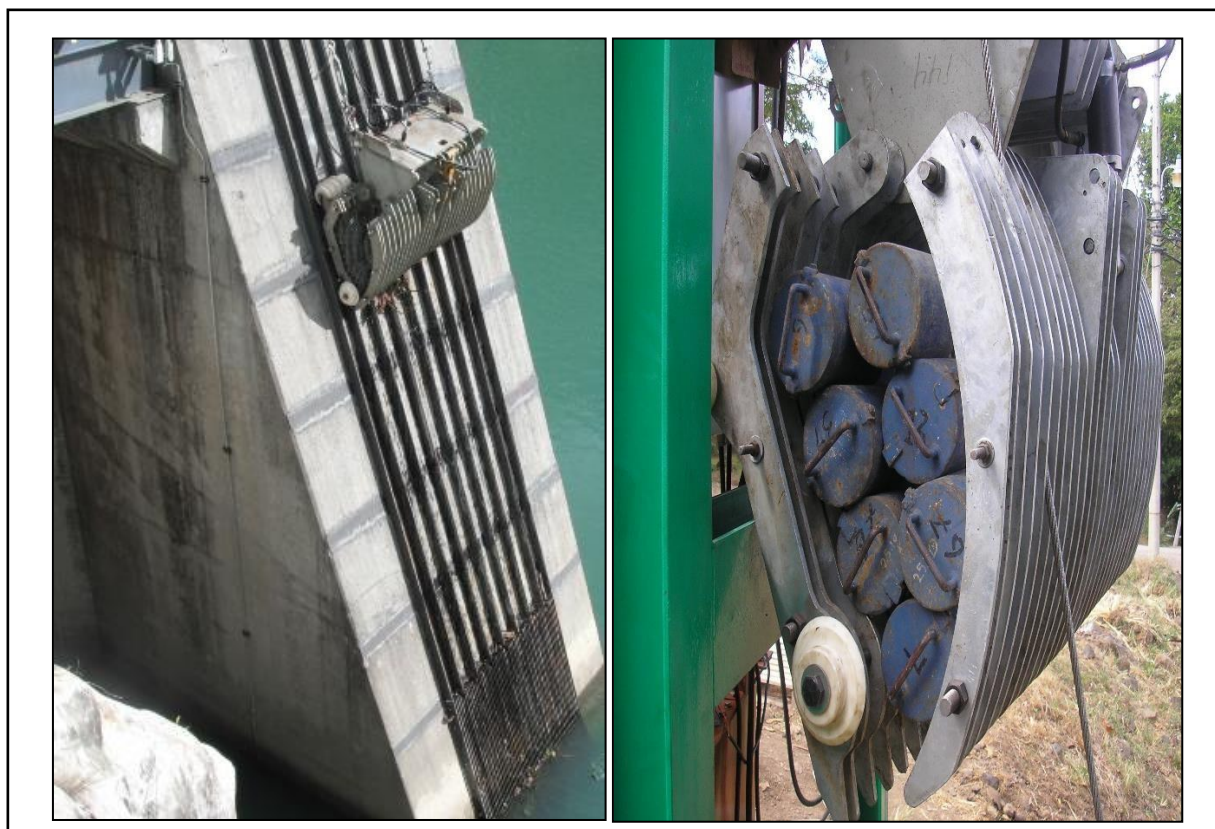


Imagen 15. Estructura parrilla de gruesos PH Encanto.

Fuente: CNFL

Otro factor importante es que con la implementación de este sistema de limpieza solo se ocupará de un operario por turno para realizar la función y como se hace en la actualidad que se requieren de mínimo dos personas para realizar las limpiezas.



Imagen 16. Limpieza toma PH Encanto.

Fuente: CNFL

Con esta mejora se minimizan los tiempos de espera en los cuales se incurren actualmente al tener que llamar a personal de emergencia a realizar estas labores de limpieza, con esta mejora solo se necesitará al operario en turno para que realice esta función tan importante en el proceso de generación de PH Belén y como efecto dominó se minimizan las pérdidas de generación producto de atascos de la parrilla de gruesos de la presa, otro ventaja es que estas limpiezas se pueden realizar de forma constante y se evita el riesgo de cansancio del personal al realizar el trabajo.

5.7 Análisis económico de propuesta de sistema hidráulico de limpieza para PH Belén.

5.7.1 Costos asociados al uso del sistema de limpieza.

Para el análisis económico del proyecto y determinar la viabilidad de este sobre la elaboración e implementación del sistema de limpieza hidráulico de la presa de PH Belén se elabora una serie de tablas donde especifica los costos incurridos en esta implementación, como también los costos en relación con el operario como a la capacitación del personal de la presa para la utilización del sistema.

Consumo eléctrico estimado del sistema de limpieza hidráulico					
MES	Consumo KW	Cantidad aproximada de veces utilizado por mes (3)	Tiempo promedio de lavado (horas)	Horario tarifario	Consumo eléctrico mensual del sistema hidráulico de limpieza
Enero	10	93	0,39	₡ 44,48	₡ 16 132,90
Febrero	10	84	0,39	₡ 36,91	₡ 12 091,72
Marzo	10	93	0,39	₡ 35,22	₡ 12 774,29
Abril	10	90	0,39	₡ 35,22	₡ 12 362,22
Mayo	10	93	0,39	₡ 35,22	₡ 12 774,29
Junio	10	90	0,39	₡ 35,22	₡ 12 362,22
Julio	10	93	0,39	₡ 32,27	₡ 11 704,33
Agosto	10	93	0,39	₡ 35,22	₡ 12 774,29
Septiembre	10	90	0,39	₡ 32,27	₡ 11 326,77
Octubre	10	93	0,39	₡ 32,27	₡ 11 704,33
Noviembre	10	90	0,39	₡ 32,27	₡ 11 326,77
Diciembre	10	93	0,39	₡ 32,27	₡ 11 704,33
Total, consumo anual					₡ 149 038,46

Tabla 48. Consumo eléctrico sistema hidráulico

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Este cálculo del consumo eléctrico del sistema de obtiene de la siguiente manera:

Consumo KW por estimación al mes de uso (minutos) por tiempo promedio por horario tarifario de este modo nos da un consumo anual de ₡ 149 038,46.

Otro costo asociado tiene que ver con el uso del sistema de limpieza por parte del operador en turno en la presa, dicho costo estimado asciende a ₡ 730 321,20 al año, cabe mencionar que para sacar el costo del operario se toma comobase el salario establecido por la CNFL en su página web, escala salarial.

Costo de operación del sistema hidráulico de limpieza por el operario					
Mes	Cantidad de veces utilizado por mes	Tiempo promedio de lavado (horas)	Salario base, escala salarial CNFL Presero	Costo del operador al utilizar sistema hidráulico	Costo total por mes de la utilización del sistema
Enero	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
Febrero	84	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 56 024,64
Marzo	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
Abril	90	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 60 026,40
Mayo	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
Junio	90	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 60 026,40
Julio	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
Agosto	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
Septiembre	90	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 60 026,40
Octubre	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
Noviembre	90	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 60 026,40
Diciembre	93	0,39	₡ 410 437,00	₡ 666,96	₡ 62 027,28
					₡ 730 321,20

Tabla 49. Costo de operación del sistema por el operario

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Costo de la capacitación del personal de la presa		
Salario profesional 1 al mes	Salario diario	Costo de la capacitación en una semana
₡ 648 838,00	₡ 21 627,93	₡ 64 883,80

Tabla 50. Costo capacitación del personal presa.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para la elaboración de este costo asociado de toma el salario base para un profesional 1 de la escala salarial de la CNFL, el cual es de ₡ 648 838 al mes, para esta capacitación se estima un total de 3 días para capacitar a todo el personal de la presa, de tal modo que el costo en relación con dicha capacitación asciende a ₡ 64 883,80.

5.7.2 Análisis de ganancia promedio años 2017 y 2020.

Para el análisis económico del proyecto se contempla el año 2017, el cual fue el año en el que se dieron las mayores pérdidas económicas por atascos de parrilla en la presa y se toma también para el análisis el último año 2020 el cual es un año donde se obtuvieron menores pérdidas, como se menciona en capítulos anteriores las pérdidas que se obtienen por atascos de parrilla en la presa de PH Belén pueden variar dependiendo del tipo de año en relación a mucha lluvia o poco lluvia, de esto depende que las pérdidas económicas sean mayores o menores en proporción a la cantidad de agua en el cauce del río.

Ganancia promedio año 2017 y 2020 con sistema de limpieza hidráulico	
Enero	₺ -
Febrero	₺ -
Marzo	₺ -
Abril	₺ 96 097,60
Mayo	₺ 3 266 037,48
Junio	₺ 349 044,31
Julio	₺ 612 820,68
Agosto	₺ 1 195 298,83
Septiembre	₺ 12 885 886,30
Octubre	₺ 12 034 790,54
Noviembre	₺ 703 773,60
Diciembre	₺ -
TOTALES	₺ 31 143 749,33

Tabla 51. Ganancia promedio años 2017 y 2020.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En este caso se obtiene sacando el promedio de ambos años en relación con las ganancias esperadas con la implementación del sistema de limpieza hidráulico de la presa de PH Belén, estos montos son los tomados en cuenta para el análisis económico y analizar el retorno de la inversión del proyecto, como ver si el mismo resulta viable para la empresa. Cabe mencionar que en los meses de enero a marzo no se tienen pérdidas por concepto de lavados, por eso los valores son igual a cero.

FLUJO DE EFECTIVO MENSUAL													
Rubro	0	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Beneficios Brutos													
Reducción de pérdida en Generación	€ -	€ -	€ -	€ 96 097,60	€ 3 266 037,48	€ 349 044,31	€ 612 820,68	€ 1 195 298,83	€ 12 885 886,30	€ 12 034 790,54	€ 703 773,60	€ -	
Total	€ -	€ -	€ -	€ 96 097,60	€ 3 266 037,48	€ 349 044,31	€ 612 820,68	€ 1 195 298,83	€ 12 885 886,30	€ 12 034 790,54	€ 703 773,60	€ -	
Costos de Producción													
Costo de consumo eléctrico	€ -	€ 12 091,72	€ 12 774,29	€ 12 362,22	€ 12 774,29	€ 12 362,22	€ 11 704,33	€ 12 774,29	€ 11 326,77	€ 11 704,33	€ 11 326,77	€ 11 704,33	
Total	€ -	€ 12 091,72	€ 12 774,29	€ 12 362,22	€ 12 774,29	€ 12 362,22	€ 11 704,33	€ 12 774,29	€ 11 326,77	€ 11 704,33	€ 11 326,77	€ 11 704,33	
Gastos Operativos													
Mano de Obra	€ -	€ 56 024,64	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	
Total	€ -	€ 56 024,64	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	€ 60 026,40	€ 62 027,28	
Inversión:													
Capacitación a colaboradores	€ 64 883,80	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Compra de la maquina	€ 13 209 666,51	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
Total	€ 13 274 550,31	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	
INGRESOS NETOS	€ -	€ 68 116,36	€ 74 801,57	€ 23 708,98	€ 3 191 235,90	€ 276 655,69	€ 539 089,07	€ 1 120 497,25	€ 12 814 533,13	€ 11 961 058,93	€ 632 420,43	€ 73 731,61	
TOTAL	€ 13 274 550,31	€ 68 116,36	€ 74 801,57	€ 23 708,98	€ 3 191 235,90	€ 276 655,69	€ 539 089,07	€ 1 120 497,25	€ 12 814 533,13	€ 11 961 058,93	€ 632 420,43	€ 73 731,61	
PRI	€ 13 274 550,31	€ 68 116,36	€ 74 801,57	€ 23 708,98	€ 3 191 235,90	€ 276 655,69	€ 539 089,07	€ 1 120 497,25	€ 12 814 533,13	€ 11 961 058,93	€ 632 420,43	€ 73 731,61	
TMAR	0,86%	mensual											
VAN	€ 15 067 784,77	colones											
TIR	11,16%	mensual											
VAN	€ 15 067 784,77												
VA	€ 11 962 103,35	€ 1,26											
PRI	5,7 meses												
Flujo de Ingresos	0	0	0	96 098	3 266 037	349 044	612 821	1 195 299	12 885 886	12 034 791	703 774	0	
Flujo de Egresos	0,0	-68 116,4	-74 801,6	-72 388,6	-74 801,6	-72 388,6	-73 731,6	-74 801,6	-71 353,2	-73 731,6	-71 353,2	-73 731,6	
Flujo Inversión	-13 274 550,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
VAN Ingresos	€ 29 103 386,28												
VAN Egresos	€ 761 051,20												
VAN Inversión	€ 13 274 550,31												
ROI	2,14												

Para ilustrar la relación entre el costo del capital y la TMAR, este proyecto de un nuevo sistema de limpieza de la parrilla de la presa, para maximizar la generación se financiará por completo con la emisión de dinero propio de la organización que aportará el 100% del financiamiento de la deuda), la cual fija al presente año para cubrir proyectos una tasa de 10,37%. Por tanto, el costo del capital de deuda es 10,37%. Esto incrementa la tasa atractiva quedando finalmente una TMAR de a 10,37% para aprobación del proyecto.

Tabla 52. Análisis económico de la propuesta de implementación.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se estima que para la implementación de dicho sistema de limpieza en la presa de PH Belén se tarda aproximadamente un mes, esto según criterio experto del encargado de la parte electromecánica de CNFL y según el análisis realizado de las pérdidas de generación durante los años 2016 a 2020 se evidencia que durante los meses de enero, febrero y marzo no se han presentado pérdidas por este concepto, ante esto se propone iniciar la implementación del sistema de limpieza en el mes de enero.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos el análisis económico para la implementación de este proyecto.

Análisis económico PH Belén		
VAN	¢15 067 784,77	colones
TIR	11,16%	mensual
VAN	¢15 067 784,77	7,00
VA	¢11 962 103,35	-¢ 1,26
PRI	5,7	meses
VAN Ingresos	¢29 103 386,28	
VAN Egresos	¢ 761 051,20	
VAN Inversión	¢13 274 550,31	
ROI	2,14	colones

Tabla 53. Resultado del análisis económico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En relación al análisis descrito anteriormente se puede observar que para este proyecto por cada colon invertido se obtiene una ganancia de 2,14 colones, con una TIR 11,16% la cual está por encima de la TMAR que para los proyectos de CNFL está fijada en 10,37% y se muestra un retorno de la inversión realizada para la implementación del sistema de limpieza en 5,7 meses, también importante mencionar que con un año en el cual halla más lluvias el retorno de la inversión sería menor y se podría maximizar la generación de la planta.

5.8 Diseño del indicador de desempeño.

Para el control en relación con la minimización de las pérdidas de generación por lavados en la presa de PH Belén se establece un indicador que, de trazabilidad a los tiempos de lavados en la presa con la instalación del sistema hidráulico de limpieza, para esto se utiliza el tiempo estándar de lavado según las muestras obtenidas en el apartado anterior. Cabe mencionar que este indicador es de carácter mensual, para esto se establecieron las metas proyectadas en relación con los tiempos de lavado, esto según el histórico y la cantidad de lavados durante los años 2016 a 2020, esto se compara contra la cantidad de lavados en un mes y se valorará si está por encima o por debajo del tiempo meta para ese mes en cuestión.

Este indicador está formado por tres partes las cuales se describen a continuación: Ficha del indicador, es cual establece toda la información de este, este incluye nombre del indicador, descripción del indicador, unidad de medida, fórmula del indicador y acá es donde vienen establecidas las metas proyectadas para los meses.

Otra parte que contempla es el análisis del indicador, en esta sección se describe los datos del indicador, las gráficas de control para los valores aportados para el cálculo de este, la cual incluye una gráfica en relación con los valores meta y reales puntuales del mes y otra gráfica donde incluye los valores reales y meta acumulados a lo largo del año. También esta sección incluye una parte de observaciones mensuales, este espacio es de suma importancia debido a que en esta área se detalla todo lo ocurrido durante el mes y la justificación correspondiente si se pasa el tiempo promedio establecido en el indicador para el mes en particular. Por último, lo integra la parte de cálculo del indicador, acá incluye todos los cálculos necesarios para obtener un valor mensual real y poder compararlo contra la meta del mes en particular. Acá se describe como se establecieron los valores meta y es donde se ingresa el valor real de los tiempos de lavado en la presa de PH Belén. Este indicador se alimenta de varias fuentes como lo son, las bitácoras de operación de la planta, el SIP, estos elementos son de consulta para obtener los tiempos de lavado.

COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, S.A.		PH BELÉN																																					
1. Año		2022																																					
2. Nombre del indicador						3. Unidad de medida																																	
Control tiempos de lavado en presa de PH Belén						horas																																	
4. Descripción del indicador						5. Frecuencia																																	
Minimizar las pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa de PH Belén						Mensual																																	
6. Fórmula del indicador																																							
Tiempo promedio proyectado contra tiempo real de lavado																																							
7. Fuentes de información para el indicador																																							
Nombre de la variable de la fórmula del indicador						Fuente de información																																	
Tiempo promedio de lavado vs tiempo real de lavado						SIP																																	
Bitácora de operación presa						Bitácora de operación																																	
U-L						U-L																																	
8. Programación																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Meta</th> <th>Enero</th> <th>Febrero</th> <th>Marzo</th> <th>Abril</th> <th>Mayo</th> <th>Junio</th> <th>Julio</th> <th>Agosto</th> <th>Setiembre</th> <th>Octubre</th> <th>Noviembre</th> <th>Diciembre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mensual</td> <td>0,39</td> <td>0,39</td> <td>0,39</td> <td>0,39</td> <td>2,11</td> <td>2,42</td> <td>1,01</td> <td>0,78</td> <td>4,21</td> <td>2,42</td> <td>0,86</td> <td>0,70</td> </tr> </tbody> </table>														Meta	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Mensual	0,39	0,39	0,39	0,39	2,11	2,42	1,01	0,78	4,21	2,42	0,86	0,70
Meta	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre																											
Mensual	0,39	0,39	0,39	0,39	2,11	2,42	1,01	0,78	4,21	2,42	0,86	0,70																											
9. Objetivo estratégico				10. Objetivo de contribución				11. Meta de desempeño																															
Asegurar la sostenibilidad financiera de la empresa.				Maximizar la generación de PH Belén				Minimizar los tiempos de lavado																															
12. Nombre del proceso																																							
Administra y generar la energía eléctrica																																							
13. Dependencia						14. Responsable																																	
Planta Hidroeléctrica Belén						Jefatura PH Belén																																	
15. Gestor del indicador/meta						15. Extensión telefónica																																	

Figura 25. Ficha de indicador

Fuente: Elaboración propia, 2021.



Figura 26. Análisis de indicador

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se muestra en las figuras anteriores este indicador se crea con la intención de darle una debida trazabilidad a la implementación del sistema hidráulico de limpieza, analizando los tiempos de lavado realizados a partir de su implementación, con esto se busca de forma rebote impactar de forma positiva el indicador de generación con él cuenta la central hidroeléctrica minimizando las horas fuera de línea por atascos en la presa, como también minimizar la cantidad de basura que ingresa al canal al poder limpiar de forma constante la parrilla de la presa de este modo impactar de forma positiva el indicador de disponibilidad operativa de la planta al no incurrir en tantas averías mecánicas producto de la basura arrastrada por el río y que ingresa al canal y llega a las unidades.

5.9 Diagrama Gantt de la propuesta del proyecto PH Belén.

Para la propuesta del proyecto se implementa un diagrama Gantt el cual muestra los pasos más importantes dentro de la implementación del desarrollo del proyecto de reducción de pérdidas generación por atascos de parrilla en la presa de PH Belén. Para este caso y como se mostró en el apartado anterior donde se evidencio que durante los primeros meses del año (enero, febrero y marzo) no se contabilizan pérdidas por este concepto, ante esto la propuesta de la implementación del sistema de limpieza hidráulico para la presa de PH Belén se tiene contemplada que inicie a principio de año, otro dato importante es que por tema de la pandemia del covid-19 se queda sujeto a la normativa del ministerio de salud y los protocolos internos por parte de CNFL en relación a la propuesta de capacitación al personal de la planta en relación a la atención de averías menores, esto con la intención de minimizar los tiempos de atención cuando se presenten fallas de esta naturaleza.

Ante esta situación anteriormente mencionada se detalla el diagrama Gantt para la propuesta de la implementación del sistema de limpieza hidráulico de la presa y la capacitación del personal de PH Belén en relación con la atención de fallas menores mecánicas que se puedan presentar.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES											
<p>Proyecto: Propuesta de implementación sistema hidráulico limpieza de parrilla presa PH Belén</p> <p>Fecha de inicio: 1/12/2021</p> <p>Días planeados de trabajo: 90</p> <p>Fecha de fin: 1/3/2022</p>											
N°	Descripción de la actividad	Duración de la etapa (días)	Tarea dependiente	Tipo de Dependencia	Días de dependencia	Comienzo	Fin	Responsable	Estatus	Fecha de finalización	Días que efectivamente llevó la etapa
1	Agendar espacio para presentación del proyecto de pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa de PH Belén a encargado de la planta.	1	No Aplica	No Aplica	+0	01/12/21	01/12/21	Carlos Delgado Rojas	No comenzado	01/12/21	
2	Presentación del proyecto de implementación del sistema hidráulico en presa de PH Belén	5	1	FC	+0	06/12/21	10/12/21	Carlos Delgado Rojas	No comenzado	10/12/21	
3	Efectuar visita de campo a presa de PH Belén para el análisis de la propuesta	1	0	FC	+0	13/12/21	13/12/21	Carlos Delgado Rojas	No comenzado	13/12/21	
4	Sesión de trabajo con encargado de la planta y encargado de la mecánica de CNFL, para propuesta de capacitación al personal de PH Belén para la atención de fallas mecánicas menores	1	0	FC	+0	16/12/21	16/12/21	Carlos Delgado Rojas	No comenzado	16/12/21	
5	Inicio del proceso de capacitación del personal de PH Belén, atención de fallas menores mecánicas (corrección de alabes, medición de temperaturas, ajusta de flujómetros)	30	0	CC	+0	03/01/22	31/01/22	Carlos Delgado Rojas	No comenzado	31/01/22	
6	UL								No comenzado		

Figura 28. Diagrama Gantt cronograma de actividades

Fuente: Elaboración propia, 2021.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

Con el desarrollo del presente proyecto en relación a las pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa de PH Belén durante los años 2016 a 2020, se concluye que la planta hidroeléctrica Belén no ha cuantificado las pérdidas de generación por este concepto, ante esto tampoco se ha desarrollado un análisis que permita minimizar los tiempos de lavados por atascos en la parrilla y por ende ninguna propuesta de mejora que permita realizar los lavados de forma más eficiente, a continuación se muestran una serie de conclusiones que se derivan del análisis realizado para el proceso productivo de PH Belén:

- Se establece un análisis de las salidas de generación de las unidades durante los años 2016 a 2020, en el cual se cuantificaron un total de 165 salidas por concepto de lavados en la presa, afectando directamente la generación de la planta.
- Dentro del proyecto se realiza un estudio de las pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa durante los años 2016 a 2020, en el cual se muestra una pérdida total de ¢ 126 920 605.78.
- Se logra determinar que la participación de PH Belén dentro de la matriz de generación de todas las plantas de CNFL corresponde a un promedio durante los años 2016 a 2020 del 13,6%.
- Mediante la utilización de las herramientas FODA, ¿5 Por qué?, Diagrama causa- efecto, análisis diagrama Pareto, análisis modo efecto- fallas, se realiza un análisis de la situación actual de PH Belén, en la cual se determina que los principales problemas con los lavados corresponden a: crecientes en el río y atascos de parrilla, basura arrastrada en el canal de conducción que llega a la parrilla de finos del tanque de oscilación y por último la basura que llega a introducirse en las unidades generadoras, lo cual se reflejan en fallas mecánicas por este concepto y pérdidas de generación.
- Con el análisis del diagrama Pareto se logra determinar que en PH Belén producto a la basura arrastrada hasta las unidades generadoras las fallas

mecánicas representan el valor más alto con un 90,95% de las fallas, seguidamente de las fallas eléctricas que representan un 6,68% y por último las fallas en el sistema que representan un total de 2,37%.

- Se realiza un estudio de tiempos en relación con la forma de limpieza actual de la presa de PH Belén por lavados producto de las crecidas y atascos de la parrilla, el cual nos da un tiempo de 61 horas. Se realiza un estudio de tiempos con sistema de limpieza hidráulico colocado en PH Encanto, propiedad de CNFL, el cual se estima un tiempo de limpieza de 3,90 horas, comparando los dos sistemas de limpieza contabiliza una diferencia de 57,1 horas.
- Con el estudio de estas muestras con los sistemas de limpieza manual y de forma hidráulica se cuantifica unas pérdidas de ₡ 6 157 215,75 de forma manual, en relación con las pérdidas con el sistema de limpieza hidráulico se estiman en ₡ 392 942,55, con una diferencia de ₡ 5 764 273,2.
- Para la implementación de la propuesta se realiza un análisis económico para validar el costo- beneficio de la colocación de un sistema de limpieza hidráulico en la presa de PH Belén, el cual nos da una TIR de 11,16% con un periodo del retorno de la inversión de 5,7 meses esto genera un total de 2,14 colones por cada colon invertido.
- Se elabora un indicador de desempeño con relación a la duración de los tiempos de lavado, estableciendo un tiempo promedio de lavado que permita minimizar los tiempos de lavado y maximizar la generación de PH Belén.
- Se determinaron las actividades para la implementación de las mejoras propuestas, estas se representaron mediante un diagrama Gantt que indica los tiempos previstos para el cumplimiento de las actividades establecidas, cabe resaltar que ante la emergencia nacional producto del Covid-19 estas actividades quedan sujetas a las regulaciones establecidas por el Gobierno de la República y los protocolos internos establecidos por la CNFL.

6.2 Recomendaciones.

Para este apartado en relación a las pérdidas de generación por atascos de parrilla en la presa se recomienda realizar un seguimiento a los tiempos de lavado en la presa de PH Belén, esto debido a que en la actualidad esta labor no se realiza y no se cuantifican las pérdidas por este concepto, ante esto es importante realizar un seguimiento con la intención de minimizar los tiempos de lavado que en la actualidad tienen una duración promedio de 6,10 horas contemplando desde que el nivel del río comienza a presentar diferencia y atascos de parrilla, la gestión por parte del encargado de planta para buscar personal para realizar la limpieza, el desplazamiento a sitio, esperar que los niveles del río sean los óptimos para poder realizar esta labor, todos estos tiempos representan pérdidas de generación de ahí la importancia de la implementación de un sistema hidráulico que permita minimizar al máximo estos tiempos, repercutiendo de forma positiva en la generación de la planta. También con esta implementación se estima reducir las fallas por averías mecánicas producto de la basura que llega a las máquinas, actualmente estas fallas durante los años 2016 a 2020 han representado un total del 90,95%, estas fallas afectan los indicadores de disponibilidad operativa como también el indicador de generación.

Otra recomendación se establece en relación a minimizar los tiempos de atención por fallas mecánicas, actualmente cuando se presentan estas fallas conlleva un tiempo prolongado para la atención, debido a que se debe contactar a personal mecánico disponible para realizar la atención, ante esto se recomienda capacitar al personal de la planta que se encuentra en casa máquinas para poder atender estas fallas menores mecánicas, las cuales incluyen: corrección de alabes, ajuste de flujómetros, ajuste de sistema de lubricación y enfriamiento, estas fallas que se consideran menores pueden ser atendidas de manera más pronta por el mismo personal de la planta, minimizando los tiempos de atención y maximizando la generación y la disponibilidad operativa de la planta.

Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de <https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/quienes-somos.pdf>.
- (s.f.). Obtenido de <https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/quienes-somos.pdf>.
- (s.f.).
- Besterfield, D. H. (2009). Control de Calidad. México: PEARSON.
- Besterfield, D. H. (2009). Control de la Calidad. En D. H. Besterfield, Control de la Calidad (pág. 495). México: PEARSON.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (s.f.). Administración de la calidad total. En R. Carro Paz, & D. González Gómez, Administración de la calidad total (pág. 25). Universidad Nacional Mar del Plata.
- Cartin, A. R., Tello, V. A., & Andrés, M. (2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria. Scielo Colombia, 134.
- Cuatrecasas, L. (2010). Gestión Integral de la Calidad. En L. Cuatrecasas, Gestión Integral de la Calidad (pág. 70). Barcelona: PROFIT.
- Dominguez, J. A., Alvarez, M. J., & Jose, G. S. (1995). Dirección de operaciones aspectos estratégicos en la producción y servicios. Madrid: Mc GRAW-HILL.
- Herrera, J. E. (2011). Gestión Estratégica Organizacional. En J. E. Herrera, Gestión Estratégica Organizacional (pág. 19). Tercera Edición.
- Herrera, J. E. (s.f.). Gestión estratégica Organizacional. En J. E. Herrera, Gestión estratégica Organizacional (pág. 14). Tercera Edición.
- <https://intranet.cnfl.go.cr/index.php/comunidad-cnfl/documentos-vigentes-de-la-CNFL>. (s.f.).
- <https://intranet.cnfl.go.cr/index.php/comunidad-cnfl/documentos-vigentes-de-la-CNFL>. (s.f.). Obtenido de <https://intranet.cnfl.go.cr/index.php/comunidad-CNFL/documentos-vigentes-de-la-CNFL>.
- <https://www.aiteco.com/diagrama-de-flujo/>. (s.f.).
- <https://www.cnfl.go.cr/documentos/transparencia/quienes-somos.pdf>. (s.f.).
- Juran, J. M. (2007). Método Juran, Análisis y planeación de la calidad. México: McGraw-Hill.
- Kanawaty, G. (1995). Introducción al Estudio del Trabajo. Ginebra: Cuarta Edición.
- Kanawaty, G. (1996). Introducción al Estudio de Trabajo. Ginebra: Oficina internacional del trabajo.

- Kanawaty, G. (1996). Introducción al Estudio del Trabajo. En G. Kanawaty, Introducción al Estudio del Trabajo (pág. 84). Cuarta Edición.
- La norma ISO 22301. (s.f.). En Como Asegurar la Continuidad del negocio. ISOTools EXCELENCE.
- Méndez Delgado, F. (2011). Los procesos industriales y el medio ambiente: un nuevo paradigma. En F. Méndez Delgado, Los procesos industriales y el medio ambiente: un nuevo paradigma (pág. 19). Bogotá: Universidad de Ibagué.
- Pastor, R. T. (2011). Planificación y programación de operaciones. Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 12.
- Pulido, H. G. (2005). Calidad Total y Productividad. México: McGRAW-HILL.
- PULIDO, H. G. (2005). Calidad Total y Productividad. México: Mc Graw Hill.
- Pulido, H. G. (s.f.). Calidad Total y Productividad. En H. G. Pulido, Calidad Total y Productividad. México: Mc Graw Hill Tercera Edición.
- Rodríguez Franco, J., Pierdant Rodríguez, A. I., & Rodríguez Jiménez, E. C. (2016). Estadística para Administración. En Estadística para Administración (pág. 63). México: Grupo Editorial Patria.

ANEXOS

Anexo 1, Unidad generadora # 1 Planta Hidroeléctrica belén



Fuente: CNFL

Unidad # 1 de PH Belén, la misma tiene una potencia instalada de 1250 KWh, esta unidad es semi automatizada y puede ser operada desde el Centro Despacho de Generación, la misma trabaja a 900 RPM, su fuente principal es el río Virilla, su año de inicio de funcionamiento fue en el año de 1931, su turbina es tipo Francis y cuenta con una caída de 88 metros, esta unidad representa el 11,90% de la capacidad total instalada en PH Belén.

Anexo 2, Unidad generadora # 2 Planta Hidroeléctrica belén



Fuente: CNFL

Unidad # 2 de PH Belén, la misma tiene una potencia instalada de 1250 KWh, esta unidad es completamente manual y debe ser operada por el ayudante de operador y el operador de la planta, la misma trabaja a 600 RPM, su fuente principal es el río Virilla, su año de inicio de funcionamiento fue en el año de 1926, su turbina es tipo Francis y cuenta con una caída de 88 metros, esta unidad representa el 11,90% de la capacidad total instalada en PH Belén.

Anexo 3, Unidad generadora # 3 Planta Hidroeléctrica belén



Fuente: CNFL

Unidad # 3 de PH Belén, la misma tiene una potencia instalada de 8000 KWh, esta unidad es automatizada y puede ser operada desde el Centro Despacho de Generación, la misma trabaja a 450 RPM, su fuente principal es el río Virilla, su año de inicio de funcionamiento fue en el año de 1991, su turbina es tipo Francis y cuenta con una caída de 107 metros, esta unidad representa el 71,19% de la capacidad total instalada en PH Belén.

Anexo 4, basura atascada en rodetes de las unidades



Fuente: CNFL

Esta imagen corresponde a una salida de servicio de la unidad # 3 de PH Belén, en la misma se muestra la cantidad de basura acumulada en los alabes de la turbina, ante esta situación la unidad tiene que salir de línea quitar la tapa de la turbina y proceder a realizar la extracción de la basura.

Anexo 5, Sistema Plantas Generación

☰ Sistema Integrado de Plantas
👤 cdelgado ✖️ 🚪 Salir

- 📄 Inicio
- 📄 Registro de Eventos
- 📄 Consultas >
- 📄 Reportes SIGEMPLA >

Detalle de Evento: [Guardar Modificación](#) [Regresar](#)

* Para crear un evento nuevo, únicamente debe llenar los campos: Fecha Hora Salida, Subevento y Observación Evento. Seguidamente debe presionar el botón 'Guardar Evento'.
 * Si el Subevento es: Mantenimiento Planeado o Avería Eléctrica o Mecánica, es obligatorio registrar la causa en el campo Observación.
 * Los campos transparentes se llenan automáticamente. * Si modifica un evento, debe presionar el botón 'Guardar Modificación'.

Número Evento 734291	Fecha Hora Salida 28-05-2020 00:41	Subevento SL - SALIDA POR LAVADO	Estado Válido
Código Instalación 01002 - P.H. BELEN	Observación Evento salió de línea la # 3 por aterro en la parrilla de la presa.		
Usuario Adiciona wcastillo	Fecha Adición 28-05-2020 00:57:44	Usuario Última Modificación wcastillo	Fecha Última Modificación 28-05-2020 01:07:21

Detalle de Resultado:

* Después de guardar el evento, debe registrar la unidad que sale de operación, en el botón 'Actualizar Sistema'.
 * Cuando el evento finalice, debe registrar la fecha y hora de entrada en operación, en el botón 'Actualizar Fecha Entrada'.

Actualizar Sistema
Actualizar Fecha Entrada

N° Orden ↑	Variable	Valor	Tipo Valor	Descripción	Usuario	Fecha
1	NUMERO DE SISTEMA	0100203	Alfanumerico	TURBO GRUPO 3 TG3	wcastillo	28-05-2020 00
2	FECHA Y HORA DE ENTRADA EN OPERACIÓN	28-05-2020 02:10	Fecha	-	wcastillo	01-06-2020 15

1 - 2

Fuente: CNFL

Acá en el Sistema Plantas Generación (SIP) se registran los eventos que se presentan en PH Belén que saquen de operación las unidades de generación, en este caso es un ejemplo de una salida de servicio por Lavado del día 28/05/2020, en este caso salió de línea la unidad # 3 por “aterro en parrilla de la presa”.

Anexo 6, Hoja de trabajo para toma de tiempos

TOMA DE TIEMPOS PLANTA HIDROELÉCTRICA BELÉN							
Dependencia	Lugar de trabajo	Muestras	Operación realizada	Hora Inicio	Hora Fin	Duración total	Observaciones
P l a n t a H i d r o e l é c t r i c a B e l é n	P r e s a B e l é n	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
		7					
		8					
		9					
		10					
		11					
		12					
		13					
		14					
		15					
		16					
		17					
		18					
		19					
		20					
		21					
		22					
		23					
		24					
		25					

Fuente: Elaboración propia, 2021

Esta hoja de trabajo de tiempos se establece para determinar los tiempos de limpieza de la parrilla de la presa de PH Belén.

Anexo 7, Reporte de avería mecánica en API PRO

Principal			
Clave de planta:	PHBE	Moneda:	☺
		Sitio:	PHBE
Clave de notificación:	NOT-002777	<input checked="" type="checkbox"/> Hecho	Fecha-hora orden: 30/07/2020 16:22
		<input type="checkbox"/> Afecta Generación o Distribución	Valor afectado:: 0,00
Estado de notificación:	AHT - asignado a historia trabajo		
Clave tipo notificación:	MEC	↔	FALLA MECANICA
Nombre de notificación:	FALLA MECANICA		
Clave posición:	PHBE-03-SM	↔	SISTEMA MOTRIZ
Clave OM:	PHBE-03-SM-TUH-03-AM01	↔	ALABES MOVILES
Prioridad:	URG	↔	URGENTE
Responsable:	33645	↔	ESQUIVEL MERINO ALEJANDRO ENRIQUE
Info extra notificación:			
Texto de notificación:	¿Cómo se detecto?: Al bajar la potencia a 5 M se escucha un ruido muy fuerte en la turbina se activa la alarma de vibración y se le de línea la Unidad. ¿Qué es la falla? Al tratar de entrar en línea la Unidad no sincroniza por las RPM muy altas .se hace revisión visual y se detectan Alabes comidos #8 #15 y #16 y a uno de los Alabes se la desprende un seguro		
Qué fue hecho:	Se le informa a la Jefatura disponible .		
Uso de Mantenimiento:			
Fecha-Hora Evento:	30/07/2020 19:12	Fecha Fin evento:	29/07/2020 02:42
Duración del evento:	0,00	Informado por:	wcastillo
Civ Orden Trabaj:	GEN-006122	Estado de la orden de trabajo:	

Fuente: API PRO

En el sistema API PRO se realizan los reportes de fallas de las unidades de la CNFL, en este caso es un ejemplo de un reporte de una avería mecánica producto de alabes corridos, esto debido a basura incrustada en los alabes móviles de la unidad número 3 de PH Belén, ante esta situación se debe esperar que el encargado de la parte mecánica reciba el reporte por medio del sistema y posterior a esto desplace una cuadrilla mecánica a solventar el daño.

Anexo 8, F-112 Reporte diario de operación

HORA	Operador	Nivel de		Apertura compuerta cm	Banco de baterías voltios	TOTAL ,MW
		Tanque %	Presa cm			
0	W. Bolaños	80	160	350	128	9,0
1	W. Bolaños	80	145	350	128	8,0
2	W. Bolaños	80	130	350	128	8,0
3	W. Bolaños	90	-150	0	128	4,0
4	W. Bolaños	80	110	150	128	8,0
5	W. Bolaños	95	115	110	128	9,0
6	C. Méndez	65	110	115	128	10,0
7	C. Méndez	70	110	120	128	9,0
8	C. Méndez	70	110	120	128	9,0
9	C. Méndez	95	105	130	128	9,0
10	C. Méndez	90	105	130	128	9,0
11	C. Méndez	95	105	130	128	8,0
12	C. Méndez	95	105	130	128	8,0
12:30	C. Méndez					0,0
13	C. Méndez	90	105	120	128	9,2
14	J. Salas	80	105	120	128	9,2
15	J. Salas	85	140	100	128	9,0
16	J. Salas	85	210	90	128	9,0
17	J. Salas	80	135	100	128	9,0
17:30	J. Salas					0,0
18	J. Salas	75	120	110	128	9,2
19	J. Salas	70	110	120	128	9,0
20	J. Salas	65	100	130	128	9,0
21	J. Salas	65	100	130	128	9,0
22	W. Bolaños	70	95	130	128	9,0
23	W. Bolaños	85	85	130	128	9,0

Fuente: PH Belén

En la F-112 se realizan los apuntes pertinentes a cada guardia de operador, se reportan datos tales como: nivel del tanque oscilación, nivel de presa, apertura de compuerta de regulación, potencia de la planta por hora.

Anexo 9, Entrevista a encargado de Planta Hidroeléctrica Belén.

1 ¿La planta Hidroeléctrica belén cuenta con algún sistema de limpieza de parrilla de gruesos en la presa?

2 ¿La Planta Hidroeléctrica Belén cuenta con un análisis de las principales causas que generan pérdidas de generación?

3 ¿La Planta Hidroeléctrica belén cuantifica las pérdidas de generación por concepto de atascos de parrilla?

4 ¿Cuenta con personal disponible fuera de horas laborales para atender crecientes y atascos de parrilla en la presa?

5 ¿Qué acciones se han realizado para minimizar las pérdidas de generación en PH Belén?

6 ¿Los indicadores de calidad para PH Belén contemplan las horas fuera de línea por lavados de la presa?

7 ¿Se ha realizado algún estudio para realizar mejoras al sistema de limpieza actual que posee PH Belén para realizar la limpieza de parrilla de la presa?

8 ¿Para fallas reportadas en las unidades por averías mecánicas se tiene contemplado alguna acción para minimizar los tiempos de atención por parte del personal mecánico?

Anexo 10, Carta de aprobación por parte de CNFL para la realización del proyecto.

Señores

Universidad Hispanoamericana

Presente.

Asunto: Aceptación proyecto de graduación

Estimados señores:

Por medio de la presente hago constar que Carlos Andrés Delgado Rojas, cedula de identidad 1 1169 0042, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, ha sido aceptado para desarrollar su proyecto de graduación en la Planta Hidroeléctrica Belén, para optar por el grado de Licenciatura.

La fecha de inicio del proyecto de graduación a partir del 29 de enero del 2021.

Cordialmente,

ROBERTO
ANTONIO
CARVAJAL
SANDI
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
ROBERTO ANTONIO
CARVAJAL SANDI
(FIRMA)
Fecha: 2021.01.28
15:43:02 -06'00'

Roberto Carvajal Sandí

Jefatura Planta Hidroeléctrica Belén.



Acta de Graduación

Ante el Tribunal Calificador de la Universidad Hispanoamericana, integrado por: Ing. Ana Catalina Leandro Sandi, representante dirección de carrera Ing. Federico Salazar Jiménez tutor y Ing. Roberto Sánchez Morales lector, se presenta al postulante Delgado Rojas Carlos Andrés Cédula n° 1-1169-0042 quien hace defensa pública de su trabajo final de graduación, titulado: "ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, ESPECIFICAMENTE EN PLANTA HIDROELÉCTRICA BELÉN POR ATASCOS EN LA PARRILLA DE LA PRESA, DURANTE LOS AÑOS 2016 A 2020". Para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial.

Una vez escuchada la exposición del postulante y habiendo procedido al período de preguntas por parte de los miembros del Tribunal, se procede en privado a la deliberación de rigor y se concluye que al estudiante: Delgado Rojas Carlos Andrés, ha aprobado su requisito de graduación con un puntaje de 92 en la escala de 0 a 100.

Firmado en la Universidad Hispanoamericana el día: jueves 09 de setiembre del 2021.

	Ana Catalina Leandro Sandi	Firmado digitalmente por Ana Catalina Leandro Sandi
Director(a) de Carrera:	<u>Sandi</u>	Fecha: 2021.09.09 19:28:58 -06'00'
Tutor(a):	<u>[Signature]</u>	
Lector(a):	<u>[Signature]</u>	
Estudiante:	<u>[Signature]</u>	

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 10 de setiembre del 2021

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Carlos Andrés Delgado Rojas con número de identificación 1 1169 0042 autor (a) del trabajo de graduación titulado ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, ESPECÍFICAMENTE EN PLANTA HIDROELÉCTRICA BELÉN POR ATASCOS EN LA PARRILLA DE LA PRESA, DURANTE LOS AÑOS 2016 A 2020 presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Industrial ; (SI) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,


Firma y Documento de Identidad

111690042

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.