



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**“ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COCA CODO SINCLAIR”**

TUTOR

PhD. MARCIAL CALERO AMORES

AUTORES

**CACAO SANCÁN GÉNESIS DE JESÚS
COLOMA CERRUFFO CRISTIAM ELIAN**

GUAYAQUIL

2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Análisis de los factores que afectan la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair	
AUTOR/ES: Cacao Sancán Génesis De Jesús Coloma Cerruffo Cristian Eliam	TUTOR: PhD. Calero Amores Marcial Sebastián
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: Facultad de ingeniería industria y construcción	CARRERA: Ingeniería Civil
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2025	N. DE PÁGS: 100 hojas
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Productividad; Electricidad; Cambio climático; Oferta y demanda; Mantenimiento.	
RESUMEN: Los factores que afectan la productividad de la Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair son varios, la presa es importante para poder brindar el servicio de electricidad en Ecuador especialmente ante la oferta demanda industrial y con los cambios climáticos lluviosos o sequías. Si bien es cierto emite una capacidad de 1500 MW, dado que no opera a su máximo potencial por fallas técnicas, deficiencias en su mantenimiento en infraestructura, variaciones en el caudal del río Coca, todos estos factores conllevan a la inestabilidad del suministro de energía. Este estudio destaca la importancia que se requiere analizar estos factores, tomando medidas preventivas que ayudará a contrarrestar estos factores de riesgos persistentes, también al reconocer los desafíos que enfrenta ante los cambios climáticos, los niveles de agua, el envejecimiento de la infraestructura y del mantenimiento. Esta investigación tiene como objetivo analizar los factores que inciden en la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair	

para minimizar el impacto económico con la finalidad de reducir los factores de riesgo, mediante estrategias optimas que mejoren el rendimiento energético

Para aquello se examinará el caudal del agua, la altura de la caída, determinando la potencia y el impacto que presenta al existir una variación del caudal con la finalidad de identificar los problemas para discutir/ analizar la productividad de la hidroeléctrica, mediante los ejercicios en aquellos se reflejará las diversas variaciones con distintos escenarios, para persuadir hasta qué punto se puede llegar.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF

SI ☐

NO ☐

CONTACTO CON AUTOR/ES:
Cacao Sancán Génesis De Jesús
Coloma Cerruffo Cristian Eliam

Teléfono:
0960101461

0969523374

E-mail:
gcacaos@ulvr.edu.ec

ccolomac@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PhD. Marcial Sebastián Calero Amores
Teléfono: (04)2596500 Ext. 241
E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec
Mgr. Jorge Enrique Torres Rodríguez
Teléfono: (04)2596500 Ext. 242
E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

"ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA
PRODUCTIVIDAD DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COCA
CODO SINCLAIR"

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	7 %	2 %	3 %
ÍNDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.celec.gob.ec Fuente de Internet	1 %
2	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
5	pcecu.org Fuente de Internet	<1 %
6	www.observatorioanticorruptcion.ec Fuente de Internet	<1 %
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
8	acerosarequipa.com Fuente de Internet	<1 %
9	www.recursoyenergia.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Saint Dominic School, Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
12	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %

13	Submitted to Universidad Laica Vicente Rocafructe de Guayaquil	<1 %
	Trabajo del estudiante	
14	dev.enelgreenpower.com	<1 %
	Fuente de Internet	
15	www.planv.com.ec	<1 %
	Fuente de Internet	
16	coggle.it	<1 %
	Fuente de Internet	
17	repositorio.uss.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
18	repositorio.uap.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
19	documentop.com	<1 %
	Fuente de Internet	
20	Sebastian Naranjo-Silva. "Una perspectiva del desarrollo hidroeléctrico en Ecuador: pasado, presente y futuro", La Granja, 2024	<1 %
	Publicación	
21	repositorio.unsa.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
22	www.europarl.europa.eu	<1 %
	Fuente de Internet	
23	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1 %
	Trabajo del estudiante	
24	Submitted to Universidad Andrés Bello	<1 %
	Trabajo del estudiante	
25	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica	<1 %
	Trabajo del estudiante	
26	repositorio.cepal.org	<1 %
	Fuente de Internet	
27	www.sigma.upv.es	<1 %
	Fuente de Internet	



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados Génesis De Jesús Cacao Sancán Y Cristiam Eliam Coloma Cerruffo, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **Análisis De Los Factores Que Afectan La Productividad De La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



Firma:

GÉNESIS DE JESÚS CACAO SANCÁN

C.I. 1729768968



Firma:

COLOMA CERRUFFO CRISTIAM ELIAN

C.I. 1752387371

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COCA CODO SINCLAIR**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería, industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Análisis de los factores que afectan la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair**, presentado por los estudiantes GÉNESIS DE JESÚS CACAO SANCÁN Y CRISTIAM ELIAM COLOMA CERRUFFO como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firmado electrónicamente por:
MARCIAL SEBASTIAN
CALERO AMORES

Firma:

PhD. Marcial Calero Amores
C.C. 0905197869

AGRADECIMIENTO

Con el corazón lleno de gratitud, dedico esta tesis a las personas que han sido mi faro y mi fortaleza a lo largo de este camino.

A mis padres, Jimmy Cacao y Nancy Sancán, pilares de mi vida, les agradezco su amor incondicional y sus enseñanzas. Gracias por inculcarme que, con esfuerzo y dedicación, no hay meta inalcanzable. Su apoyo ha sido el cimiento sobre el cual he construido mis sueños.

A mis compañeros de trabajo, les expreso mi admiración y agradecimiento por su guía experta. Su disposición para compartir conocimientos y su constante inspiración me han permitido expandir mis horizontes en el desafiante campo de la Ingeniería Civil.

A mi amado compañero de vida, Cristhian Araujo, gracias por tu paciencia infinita, tu comprensión y tu apoyo inquebrantable. Tu presencia ha sido mi refugio en los momentos de mayor exigencia, y tu amor, mi mayor motivación.

A mi preciosa hija, Evoleth, quien desde mi vientre me impulsó con su fuerza a culminar esta etapa universitaria. Tu llegada fue el mayor aliento para seguir adelante, recordándome que cada esfuerzo tiene su recompensa.

Y a mis dos ángeles que me acompañan desde el cielo, mi amada abuela Dora Baldeón y mi querido abuelo Ernesto Sancán. Abuela, tu orgullo y tu fe en mí fueron mi mayor impulso. Abuelo, tus abrazos y tus palabras de aliento me enseñaron a ser más fuerte. Los llevo siempre en mi corazón, y sé que desde donde estén, celebran conmigo este logro.

Cacao Sancán Génesis De Jesús

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a todos aquellos que hicieron posible este proyecto. A mi director de tesis, por su guía, paciencia y valiosos consejos, que fueron fundamentales en cada etapa de este proceso. A mis compañeros y amigos, que siempre estuvieron dispuestos a brindar su apoyo y motivación. A mi familia, Y a ti, Ana, por ser mi refugio y mi fuerza en los momentos de duda. Gracias por tu amor, por acompañarme en cada paso de este camino, por tu comprensión y por ser mi mayor soporte. Este logro también es tuyo.

A mis abuelitos, quienes me brindaron un hogar lleno de cariño, valores y enseñanzas que me han acompañado a lo largo de toda mi vida. Gracias por ser mis guías, por su amor y por haberme inculcado la importancia de luchar por mis sueños. Todo lo que soy y todo lo que he logrado, es en gran parte gracias a ustedes.

Y, por último, Sergio, por ser una figura de apoyo constante y por siempre creer en mí. Gracias por tus palabras de aliento y por tu presencia en mi vida, que ha sido fundamental para mi crecimiento. Cada uno de ustedes han dejado una huella en mi camino hacia la culminación de este esfuerzo.

Coloma Cerruffo Cristiam Eliam

DEDICATORIA

A mis padres, y en especial a mi madre quien, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante me han impulsado a seguir mis sueños. Gracias por ser mi fuente de inspiración y motivación. Esta tesis es un reflejo de todo lo que me han enseñado y del esfuerzo compartido. A ellos, con todo mi corazón.

Coloma Cerruffo Cristiam Eliam

RESUMEN

Los factores que afectan la productividad de la Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair son varios, la presa es importante para poder brindar el servicio de electricidad en Ecuador especialmente ante la creciente demanda industrial y con los cambios climáticos lluviosos o sequías. Si bien es cierto emite una capacidad de 1500 MW, dado que no opera a su máximo potencial por fallas técnicas, deficiencias en su mantenimiento en infraestructura, variaciones en el caudal del río Coca, todos estos factores conllevan a la inestabilidad del suministro de energía.

Este estudio destaca la importancia que se requiere analizar estos factores, tomando medidas preventivas que ayudará a contrarrestar estos factores de riesgos persistentes, también al reconocer los desafíos que enfrenta ante los cambios climáticos, los niveles de agua, el envejecimiento de la infraestructura y del mantenimiento. Esta investigación tiene como objetivo analizar los factores que inciden en la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair para minimizar el impacto económico con la finalidad de reducir los factores de riesgo, mediante estrategias óptimas que mejoren el rendimiento energético

Para aquello se examinará el caudal del agua, la altura de la caída, determinando la potencia y el impacto que presenta al existir una variación del caudal con la finalidad de identificar los problemas para discutir/ analizar la productividad de la hidroeléctrica, mediante los ejercicios en aquellos se reflejará las diversas variaciones con distintos escenarios, para persuadir hasta qué punto se puede llegar.

Palabras claves: Productividad; Electricidad; Cambio climático; Oferta y demanda; Mantenimiento.

ABSTRACT

There are several factors affecting the productivity of the Coca Codo Sinclair hydroelectric plant. The dam is important to provide electricity in Ecuador, especially in the face of growing industrial demand and climate changes such as rain or drought. Although it is true that it has a capacity of 1,500 MW, since it does not operate at its maximum potential due to technical failures, deficiencies in infrastructure maintenance, and variations in the flow of the Coca River, all of these factors lead to instability in the energy supply.

This study highlights the importance of analyzing these factors, taking preventive measures that will help counteract these persistent risk factors, and also recognizing the challenges it faces due to climate change, water levels, aging infrastructure and maintenance. This research aims to analyze the factors that affect the productivity of the Coca Codo Sinclair hydroelectric plant in order to minimize the economic impact with the aim of reducing risk factors, through optimal strategies that improve energy efficiency. To do this, the water flow rate and the height of the fall will be examined, determining the power and the impact that it presents when there is a variation in the flow rate in order to identify the problems to discuss/analyze the productivity of the hydroelectric plant, through exercises in those the various variations with different scenarios will be reflected, to persuade how far it can be reached.

Keywords: Productivity; Electricity; Climate change; Supply and demand; Maintenance.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES.....	vi
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR	vii
AGRADECIMIENTO.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	4
1.1. Tema.....	4
1.2. Planteamiento del Problema.....	4
1.3. Formulación del Problema.....	6
1.4. Objetivo General.....	6
1.5. Objetivos Específicos.....	6
1.6. Idea a Defender.....	6
1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	7
CAPÍTULO II	8
MARCO REFERENCIAL.....	8
2.1 Marco Teórico.....	8
Antecedentes	8
2.2. Fundamento teórico.....	9

2.2.1 Energía Hidroeléctrica.....	9
2.2.2 Componentes de la central hidroeléctrica.....	9
2.2.3 Tipos de centrales hidroeléctricas.....	10
2.2.4 Importancia de la energía hidroeléctrica.....	19
2.2.5 Características Geográficas.....	19
2.2.6 Régimen hidrológico y variaciones del caudal.....	20
2.2.7 Análisis de factores de productividad y eficiencia.....	21
2.2.8 Factores operativos de la central hidroeléctrica.....	21
2.2.9 Mantenimiento de vida útil y equipos.....	23
2.2.10 Sedimentación y erosión.....	24
2.2.11 Fórmulas para la determinación de los factores de la variación del caudal, altura de caída, eficiencia y sedimento de la central en la productividad.....	26
2.2.12 Factores de la construcción.....	28
2.2.13 Cotización de los materiales para cada estructura.....	34
2.2.14 Análisis de estudios técnicos relacionados con la central.....	37
2.3 Marco Legal.....	38
CAPÍTULO III.....	39
MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1. Tipo de investigación.....	39
3.2. Método de investigación.....	39
3.3. Enfoque de la investigación.....	39
3.4. Diseño de la Investigación.....	39
3.5. Alcance de la investigación.....	39

3.6. Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	40
3.7. Población y muestra.....	40
CAPÍTULO IV	41
PROPUESTA O INFORME.....	41
4.1 Presentación y análisis de resultados.....	41
4.2 Propuesta.....	53
4.2.1 Factores que afectan la productividad	53
4.3 Estrategias para mejorar la productividad.....	67
4.3.1 Impacto en la productividad y, por ende, en el factor económico que deja de ingresar por efecto de un deficiente comportamiento del caudal, carga, sedimento.....	67
4.3.2 Mantenimiento y optimización de la Central Hidroeléctrica Coca Coda Sinclair...	67
4.4 Evaluación Económica.....	70
Análisis de los costos y beneficios de la inversión	70
Beneficios del ahorro Económico de la productividad	71
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto de Producción	29
Tabla 2. Costos totales de construcción	29
Tabla 3. Ponencias y energía	30
Tabla 4. Componentes principales de la Hidroeléctrica Coca codo Sinclair	34
Tabla 5. Rubros de ensamblaje	36
Tabla 6. Rubros Complementarios	36
Tabla 7. Las condiciones climáticas, como afecta la central	41
Tabla 8. Fenómeno de la erosión y sedimentación	42
Tabla 9. El impacto ambiental en la central	43
Tabla 10. Los Equipos tecnológicos en la central.....	44
Tabla 11. Sistema de monitoreo y control	45
Tabla 12. Inversión en el área tecnológica	46
Tabla 13. Capacitación para el personal	47
Tabla 14. La comunicación efectiva en el equipo de trabajo.....	48
Tabla 15. Mayor desafío operativo.....	49
Tabla 16. Objetivos de la central.....	50
Tabla 17. Recursos disponibles	51
Tabla 18. Medidas relevantes para mejorar la productividad	52
Tabla 19. Descripción de los factores que afectan la productividad	53
Tabla 20. Variación de Caudal diariamente.....	56
Tabla 21. Variación de caudal (KW/USD).....	57
Tabla 22. Variación de caudal mensualmente.....	57
Tabla 23. Variación de caudal (KW/ USD).....	57
Tabla 24. Variación de altura diariamente	59
Tabla 25. Variación de altura diariamente	59
Tabla 26. Variación de altura mensual.....	60
Tabla 27. Variación de altura (kw/ usd).....	60
Tabla 28. Variación de eficiencia diariamente	62
Tabla 29. Variación de eficiencia (kw/ usd)	62

Tabla 30. Variación de eficiencia mensual	63
Tabla 31. Variación de eficiencia (kw/usd)	63
Tabla 32. Variación con sedimentos diariamente	64
Tabla 33. Variación con sedimentos (kw/usd)	65
Tabla 34. Variación con sedimento mensual	65
Tabla 35. Variación con sedimento (kw/usd)	66
Tabla 36. Programa de Mantenimiento Preventivo.....	68
Tabla 37. Costos de Construcción	70
Tabla 38. Costos de mano de Obra	71
Tabla 39. Otros Costos	71
Tabla 40. Beneficios del proyecto	71
Tabla 41. Beneficios del ahorro económico	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Central de agua fluyente	11
Figura 2 Centrales con embalse	11
Figura 3 Central con bombeo.....	12
Figura 4 Canal de derivación	12
Figura 5 Estructura de captación	13
Figura 6 Obra de Captación	14
Figura 7 Captación	14
Figura 8 Casa de máquinas	15
Figura 9 Túnel dentro de la casa de máquinas.....	15
Figura 10. Ingreso de la casa de Máquinas.....	15
Figura 11. Embalse Compensador	16
Figura 12. Embalse	16
Figura 13. Túnel de conducción.....	17
Figura 14. Tubería de presión.....	17
Figura 15. Sitio del desarrollo del proyecto hidroeléctrico	18
Figura 16 Túnel de Descarga.....	19
Figura 17. Ubicación Geográfica.....	20
Figura 18. Capacidad del embalse	21
Figura 19. Infraestructura de captación	24
Figura 20. Limpieza de la sedimentación.....	25
Figura 21. Obras de captación y desarenador de la Hidroeléctrica	26
Figura 22. Precio Promedio- Demanda.....	30
Figura 23. Con coca 1500 mw	31
Figura 24. Con Coca859- Demanda media	31
Figura 25. Ahorro en el consumo del combustible.....	32
Figura 26. Ahorro anual en el subsidio al Diesel	32
Figura 27. Reducción externa y mejoramiento de la balanza comercial	33
Figura 28. Venta de bonos de carbono.....	33
Figura 29. Costos y beneficios Coca Codo Sinclair 859.....	34

Figura 30. Las condiciones climáticas, como afecta la central.....	41
Figura 31. El fenómeno de la erosión y sedimentación cerca del río Coca	42
Figura 32. El impacto ambiental en la central.....	43
Figura 33. Los equipos tecnológicos.....	44
Figura 34. Sistema de monitoreo y control	45
Figura 35. Inversión en el área tecnológica	46
Figura 36. Capacitación para el personal	47
Figura 37. La comunicación efectiva del equipo de trabajo.....	48
Figura 38. Mayor desafío operativo en la central.....	49
Figura 39. Los objetivos a cumplir	50
Figura 40. Recursos Disponibles	51
Figura 41. Medidas relevantes para mejorar la productividad.....	52
Figura 42. Variación de Caudal Costo (USD) diarios	57
Figura 43. Gráfico de variación de caudal mensual.....	58
Figura 44. Gráfico de variación de altura diariamente	60
Figura 45. Gráfico de variación de altura Costo mensual.....	61
Figura 46. Gráfico variación eficiencia diaria	63
Figura 47. Gráfico variación de eficiencia mensual	64
Figura 48. Gráfico con sedimento diariamente	65
Figura 49. Gráficos con Sedimentos mensual	66
Figura 50. Evaluación del Mantenimiento	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Formato de la encuesta	79
--------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

El acceso a energía eléctrica forma parte de una necesidad y derecho humano para gozar de una vida digna y poder llevar a cabo las actividades cotidianas del hogar, estudio y trabajo, por lo que es necesario el aprovechamiento de las energías renovables como fuentes principales y de esta manera contribuir a la reducción de la contaminación ambiental y al efecto invernadero (Ramírez y Crespín, 2023).

Por su parte, la energía hidroeléctrica juega un papel muy importante en la matriz energética mundial, ya que proporciona una fuente renovable y limpia de electricidad, por lo que las centrales hidroeléctricas, al transformar la energía cinética del agua en energía eléctrica, demuestran ser una opción confiable para abastecer la demanda creciente de energía a nivel internacional (Manzano, 2022). Sin embargo, la productividad de estas instalaciones se puede ver afectada por múltiples factores, ya que estas no dependen solamente de su capacidad intrínseca para la generación de energía, sino también de otros aspectos que inciden en el desempeño económico y operativo de la compañía.

A partir de esto, el presente proyecto busca abordar esta problemática mediante la realización de un análisis de los factores que pueden influir en la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. El análisis abarca los elementos que contribuyen a identificar la eficiencia de las instalaciones y barreras que pueden representar límites en su capacidad para cumplir con los propósitos relacionados con la generación de energía.

En Ecuador, las centrales hidroeléctricas aprovechan los recursos hídricos y el potencial hidroeléctrico del país y representan un pilar fundamental para la sostenibilidad ambiental y la generación de energía renovable, por lo que el problema del bajo nivel de productividad en estas instituciones puede representar un impacto significativo en la generación de energía, provocando un déficit en el suministro eléctrico y posible dependencia de fuentes de energía no renovables (Naranjo, 2024).

Por otra parte, a pesar de la capacidad de energía instalada en la productividad de la central, la relevancia de la investigación radica en su contribución a la eficiencia operativa del sector energético y la planificación estratégica de acciones mediante la identificación de oportunidades de mejora en la gestión del recurso hídrico, contribuyendo a la competitividad y sostenibilidad del sector que se encuentra en un entorno energético cambiante y dinámico, siendo crucial para el rendimiento de la planta, por ende, garantizar el suministro eléctrico a nivel nacional.

Además, su importancia se evidencia por el aporte teórico que ofrece, ya que contribuye con información crucial al avance del conocimiento en ingeniería y gestión energética, puesto que al analizar estos factores se pueden plantear metodologías para la optimización de operaciones y aprovechar de una forma más efectiva la disponibilidad de los recursos naturales.

Desde una perspectiva práctica, el estudio implica acciones en la operación y actividades de gestión de las centrales hidroeléctricas, dado que poder identificar los factores que inciden en la productividad permite que los trabajadores puedan implementar las medidas respectivas, como mejoras en la infraestructura y en la gestión en los procesos de mantenimiento, lo cual es fundamental para garantizar un servicio continuo y estable que pueda servir a la población.

También, a nivel social, el estudio responde a la necesidad de mantener fuentes de energía sostenible y renovable, contribuyendo a la población en general y al medioambiente por medio de la reducción de los impactos ambientales y la dependencia de combustibles fósiles, por lo que al identificar los factores y plantear soluciones en la productividad ayuda a fomentar la estabilidad energética de los habitantes del país, mejorando su calidad de vida y promoviendo el desarrollo sostenible por el acceso a energía confiable y limpia.

Finalmente, todos estos análisis de los factores que afectan la productividad nos permitirán mejorar la productividad de Coca Codo Sinclair, tanto como el caudal del río Coca con su volumen de agua. Las condiciones climáticas que se enfrentan, las erosiones, sedimentación y el mantenimiento son necesarios y fundamentales para una eficiencia energética.

A partir de lo anterior, el proyecto está compuesto por cuatro capítulos. El primero describe el enfoque de la propuesta, donde se detalla el tema de investigación; el planteamiento del problema con un análisis explícito de la problemática a abordar correspondiente a las afectaciones en la productividad de las centrales hidroeléctricas; la formulación del problema, donde se plantea la interrogante que se busca responder con la realización del estudio; los objetivos de investigación que contribuyen a orientar al trabajo de acuerdo con lo que se pretende lograr ; y la línea de investigación institucional sobre la que se basará el proyecto.

Por consiguiente, en el capítulo dos se plantea el marco referencial, que involucra todos los aspectos teóricos que contribuyen a aumentar la comprensión del estudio; aquí se incluye el marco teórico que contiene los fundamentos referenciales y conceptuales del proyecto y el marco legal, el cual comprende los aspectos legales relacionados a la investigación.

El tercer apartado comprende el marco metodológico que ayuda a conocer bajo qué criterios se desarrollará la investigación y cómo será el tratamiento de la información, por lo que se da a conocer el enfoque de la investigación, el alcance, las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, incluyendo la población que se tomará de estudio y la muestra sobre quienes se basará el estudio.

En el siguiente capítulo 4, se presentan los análisis arrojados de las encuestas, así como la tabulación de cada una de las preguntas con sus respectivos gráficos e interpretación, obtenidos por medio de las técnicas para la obtención de información. En este apartado también se incluye la propuesta, la cual actúa como una solución a la problemática identificada basándose en su rendimiento e impacto operativo. Por consiguiente, se muestran las conclusiones con base a los resultados obtenidos y el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación y, finalmente, se presentan las recomendaciones que sirven para proponer mejoras en futuras investigaciones, que se fundamenten en este proyecto y establecer sugerencias como posibles soluciones que contribuyan a los hallazgos del estudio en relación con la productividad e ineficiencia en época de crisis energética de las centrales hidroeléctricas.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1. Tema

Análisis de los factores que afectan la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

1.2. Planteamiento del Problema

A nivel mundial la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, 2022) indica que la capacidad total de las centrales es de 1.392GW, representando un 38% del total de las energías. En términos de cifras, se estima que más del 16% de la energía eléctrica mundial proviene de fuentes hidroeléctricas. Este porcentaje es aún más alto en países como Brasil, Canadá y China. No obstante, las centrales hidroeléctricas de estos y otros países han reportado caídas en su productividad en los últimos años debido a factores como cambios climáticos, la variabilidad en los caudales de agua, el envejecimiento de las infraestructuras y las deficiencias en los procesos de mantenimiento.

Según la International Hydropower Association (IHA, 2022), en los últimos 5 años, la eficiencia operativa de muchas plantas hidroeléctricas ha disminuido entre un 5% y un 15% debido a estos factores. No obstante, el cambio climático ha alterado los patrones de precipitación y la disponibilidad de agua en muchas cuencas hidrográficas, lo que genera una mayor incertidumbre en la capacidad de las plantas para generar energía de manera constante. A esto se le suman los retos relacionados con el mantenimiento y modernización de las infraestructuras, así como las dificultades para optimizar la operación de las plantas, lo que contribuye a la subutilización de la capacidad instalada.

En Ecuador, el 92% de la generación de energía eléctrica proviene de centrales hidráulicas, el 7% de centrales térmicas y el 1% descende de fuentes no convencionales, como biomasa, geotermia, eólica, biogás, entre otros (Ministerio de Energía y Minas, 2020). Por lo que es importante analizar los factores que puedan afectar las hidroeléctricas para contrarrestar aquellas eventualidades a

futuro, desencadenando en problemas más grandes. De acuerdo con Ramírez y Crespín (2023), las centrales hidroeléctricas del Ecuador desempeñan un papel fundamental en lo que respecta a la generación de energía eléctrica, dado que aprovechan los diversos recursos hídricos de la nación; sin embargo, pueden presentarse desafíos significativos que inciden en su productividad.

La hidroeléctrica Coca Codo Sinclair tiene una capacidad de producir energía de 1.500MW, siendo una de las fuentes principales que provee energía a nivel nacional. Según Tapia (2024), indicó que hasta septiembre del presente año solo operaba en un 43% de su total de capacidad, situación que ha disminuido a la fecha a un 20%, limitando su eficiencia; por ende, en su caso existen deficiencias en su operabilidad al cumplimiento de su máxima capacidad (Orozco, 2024).

Esta problemática se presenta porque existe diversos factores que afectan la productividad de la energía en la planta reflejándose en los problemas como fallas técnicas, deficiencia en su mantenimiento, variaciones del río Coca, condiciones climáticas, generando un aspecto crítico en el suministro de energía eléctrica dado que esta fuente afecta su rendimiento y eficiencia, lo que pone en riesgo la estabilidad del suministro energético para poder cumplir con toda la demanda nacional.

Si la situación continua, lo que va a pasar es un impacto en la economía por la interrupción de la producción de energía, que conlleva cortes programados; en pocas palabras, existirá racionamiento energético, hasta poder nivelar la producción de energía que se requiere para toda la demanda existente. Hasta aquello se considerará importar energía, presentándose un impacto económico al país, afectando su productividad y a la contribución de un desarrollo sostenible, llevando a grandes pérdidas económicas no solo para el estado, sino para las industrias, emprendimientos y la población en general.

En este estudio se dará como aporte analizar los factores que inciden en la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, evaluando los aspectos ambientales, operativos y tecnológicos, enfocándonos en las condiciones climáticas, determinando las variaciones del caudal, la altura de la caída, sedimento, eficiencia de la central con la finalidad de mitigar riesgos económicos,

garantizando una operación óptima de la central hidroeléctrica, promoviendo una fuente sostenible de energía.

1.3. Formulación del Problema:

¿Qué factores inciden de manera significativa en la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair bajo un contexto ambiental, tecnológico y operativo? A su vez, ¿cómo afecta monetariamente al país?

1.4. Objetivo General

Evaluar los factores que afectan la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair para conocer el impacto económico de las deficiencias en la producción durante un escenario deficitario.

1.5. Objetivos Específicos

1. Determinar el impacto generado en la economía al reducir la productividad de la hidroeléctrica en periodos de escasez energética.
2. Analizar los factores técnicos, ambientales y operativos que afectan la productividad de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.
3. Evaluar cómo afecta la deficiencia energética en la inversión y los costos operativos.
4. Proponer estrategias para mejorar la eficiencia y productividad hidroeléctrica minimizando el impacto económico durante la escasez energética.

1.6. Idea a Defender

Se plantea que la productividad de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair está determinada por varios factores ambientales, tecnológicos y operativos. Estos factores, como la variabilidad de los caudales hídricos y las deficiencias en los procesos de mantenimiento, afectan de manera significativa la eficiencia operativa de las plantas. Se defiende que un análisis integral de estas variables permitirá identificar patrones y relaciones clave para mejorar la gestión y optimización de la generación

de energía hidroeléctrica, garantizando el suministro de energía más eficiente para el país, contribuyendo positivamente a un desarrollo sostenible y respaldando la economía.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Dominios Ulvr: Urbanismo Y Ordenamiento Territorial Aplicando Tecnología De Construcción Eco-Amigable, Industria Y Desarrollo De Energías Renovable.

- **Línea De Investigación Institucional:** Territorio, Medio Ambiente Y Materiales Innovadores Para La Construcción.

- **Línea De Investigación:** Materiales De Construcción.

- **Sub-Líneas De Investigación:** Hábitat, Diseño Y Construcción Sostenible.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico:

Antecedentes

En 1921, un geólogo petrocanadiense llamado Joseph H. Sinclair; junto con Theron Wasson, llegó a Ecuador para poder realizar estudios geológicos en el Oriente, explorando el río Coca, observando todos los puntos. Años más tardes en 1927, Sinclair recorrió todo el río, llegando a una curva pronunciada; la misma que la población la bautizó como Coca Sinclair, lo cual llevó a estudios y planificaciones que se dieron en 1956-1969, donde se investigó el potencial energético de los ríos Quijos y Salado, por lo que formaban parte de la cuenca del río Coca (Sinclair, 2017).

En 1971 se realizaron estudios iniciales para el potencial hidroeléctrico con la finalidad de generar 1500MW por medio de 8 turbinas tipo Pelton; tras aquello, en 1976, el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) realizó contratos formales para definir su inventario energético potencial. De 1987 hasta 1992 se definieron los parámetros del proyecto basándose en la construcción de la central (Corporación Eléctrica del Ecuador , 2019).

Fue construida por una empresa China Sinohydro cuyos fiscalizadores fueron mexicanos (CFE), siendo inaugurado en el 2016 en noviembre, a pesar de su funcionamiento, hubo un detecto de fisuras en las bridas de distribución de acero, lo que ha generado constantes reparaciones. Más allá de lo indicado su impacto ambiental ha sido positivo siendo una fuente de energía renovable (El comercio, 2021).

En el 2009, Ecuador enfrentó el último racionamiento en electricidad, luego de 13 años sin cortes energéticos. Mientras que el ministro de Energías reconoció que existe déficit energético. Debido a las sequías en las hidroeléctricas que se presentaron desde septiembre (Redacción Primicias, 2023).

En el 2023, en octubre, existió una reducción del 19% de energía, de las cuales solo seis estaban operando dentro de una capacidad del 60%, incluida Coca Codo Sinclair trabajando con caudales mínimos. Ante esta necesidad, se necesitó importar electricidad desde Colombia, pero dado que ellos enfrentaron escasez, minimizaron la transferencia energética, generando problemas en Quito y otras zonas del país, lo que ocasionó problemas económicos en los sectores, dado que la energía es una necesidad, conllevando a un acuerdo para seguir importando energía (Corporación Eléctrica del Ecuador, s.f)

En relación a la problemática expuesta, Redacción Primicias (2023) indicó que entre el 2020 y el 2023 debían construirse diez centrales de generación hidroeléctrica. Sin embargo, existen retrasos porque no se pudo concretar debido a la Corte Constitucional de suspender el fideicomiso, lo que prioriza y garantiza la inversión en generación eléctrica.

2.2 Fundamento teórico

Energía Hidroeléctrica

Concepto

Enel Green Power (s.f.) explica que la energía se produce a través de la fuerza del agua, siendo una masa estática de agua que contiene energía potencial convirtiéndose a energía cinética, cuando se pone en movimiento, por medio de la gravedad.

Desde el punto de vista, Repsol Global, (s.f.) indica que la energía hidráulica se la conoce como hidroeléctrica la cual aprovecha la fuerza del agua para producir la electricidad.

Componentes de la central hidroeléctrica

Presa

Las presas son obras arquitectónicas fundamentales para regular el caudal de los ríos y ayudar a las centrales hidroeléctricas a producir energía renovable. En este sentido se comprende que es un muro artificial que contiene de un río, en el cual, su salida del agua natural se forma una reserva que alimenta la central.

Turbina

Es un dispositivo que transforma la energía cinética del agua a energía mecánica, siendo fundamental para las centrales, convirtiendo más del 90% de energía cinética captándose a energía mecánica.

Embalse

Es el depósito natural o artificial para recoger el agua que se transporta desde la central eléctrica para que se pueda producir la energía renovable.

Tubería Forzada

Es aquella que canaliza el agua hacia la sala de máquinas de la central, mediante un desnivel que se crea para el trazado de las tuberías, permitiendo que el agua aumente su velocidad y presión.

Alternador

Es aquel que transforma la energía mecánica a energía eléctrica, enviando al transformador para que se alimente la red.

Canal de retorno

Es el que se encarga de devolver el agua que sale de la turbina a su cauce natural al final de la planta.

Tipos de centrales hidroeléctricas

Centrales de pasada de agua fluyente

Como expresa Repsol (2024), describe que la central aprovecha el flujo constante del agua de los ríos o arroyos, en la cual no usan el embalse; el agua viene mediante un canal que se dirige por tuberías hasta la turbina en la que se genera electricidad, siendo eficientes y adecuadas en lugares con flujos de agua constantes.

Figura 1 Central de agua fluyente



Fuente: Repsol Global (2025)

Centrales con embalse

Se almacena el agua en los embalses, regulando los flujos de las turbinas. A gran escala, los embalses les ofrecen flexibilidad en la que pueden ajustar su producción de electricidad a demanda.

Figura 2 Centrales con embalse



Fuente: Repsol Global (2025)

Centrales con bombeo

Son aquellos en los que se puede almacenar energía, en donde la demanda energética es baja, bombeando desde un embalse inferior; en caso de ser alta, se libera el agua hacia las turbinas eléctricas.

Figura 3 Central con bombeo



Fuente: Repsol Global (2025)

Centrales de derivación o canal

Esta central desvía parte del flujo hacia el canal de las turbinas, permitiendo que el río continúe su curso, minimizando el impacto ambiental, lo que se genera una reducción en la capacidad del almacenamiento en el agua.

Figura 4 Canal de derivación



Fuente: Repsol Global (2025)

Estructura de la Hidroeléctrica

Para aquello se requiere identificar las estructuras que forman parte de la hidroeléctrica, así como los materiales que corresponden a cada una de las estructuras, y los rubros preliminares que se requieren para construirla e identificar todos los ensamblajes, todo lo que se requiere para la hidroeléctrica. Las centrales hidroeléctricas están compuestas por varias estructuras que permiten generar la electricidad.

Figura 5 Estructura de captación



Fuente: Primicias (2024)

A continuación, se detallan varias estructuras que forman parte de la central hidroeléctrica.

Obra de captación

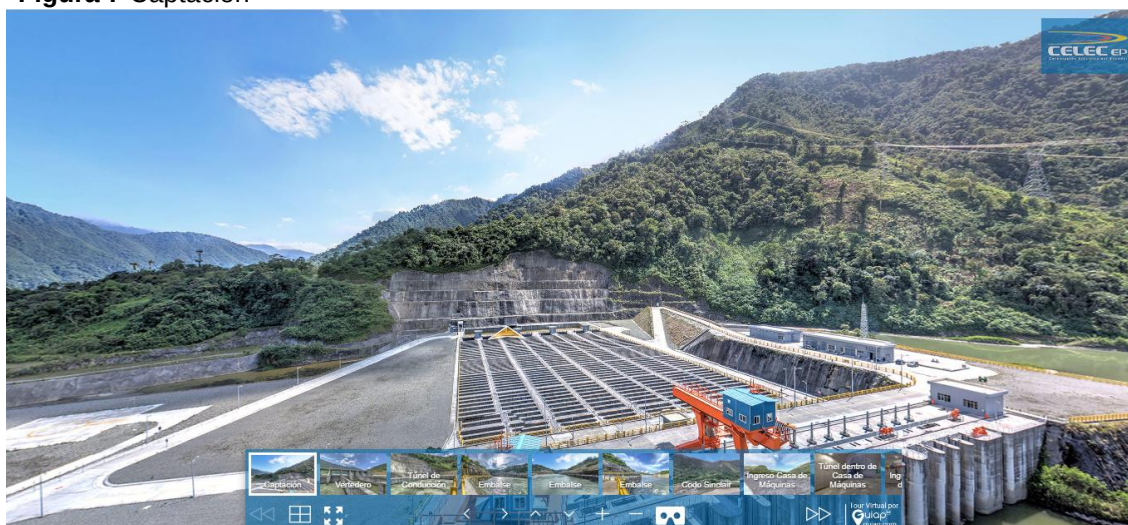
La obra de captación es en la que consiste que la represa del agua del río se eleve a su nivel para que el agua pueda ingresar al desarenador, en las cual se decantan las partículas hasta el tamaño de 0.25 mm. Una vez limpia, es transferida hacia el túnel de conducción para el agua. Cuya presa de enrocado tiene una pantalla de hormigón con un vertero de longitud neta 160m, el desarenador que cuenta con 8 cámaras con las que ayuda a eliminar cualquier sedimento del agua, compuertas de limpieza permiten el mantenimiento y la conexión al túnel.

Figura 6 Obra de Captación



Fuente: CELEC EP (2023)

Figura 7 Captación



Fuente: CELEC EP (2023)

Casa de máquinas

Es subterránea, aproximadamente tiene 500 m dentro de la montaña y cuenta con dos cavernas de generadores, con un 26 m de ancho por 46,8 m de altura por 212 m de longitud; en ella está la turbina Pelton. Dado que, en el embalse compensador, se conduce el agua por dos tuberías a presión que van hasta la casa de máquinas, cada una de ellas se divide a cuatros ramas que son conectadas a las Turbinas Pelton las cuales son 8, girando el generador de 187,5 MW en la que se produce potencialmente a un total de 1.500 MW. La caverna de transformadores excava en roca de 19m por 33,20 m por 198 para la instalación de 25 transformadores monofásicos cada uno con 68.3MV y en reversa, para que la energía sea enviada por

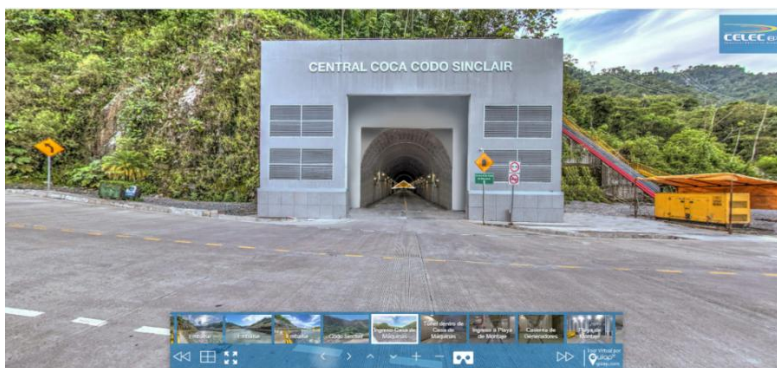
medio de los transformadores, en la cual toda el agua turbinada vuelve a retornar al río Coca.

Figura 8 Casa de máquinas



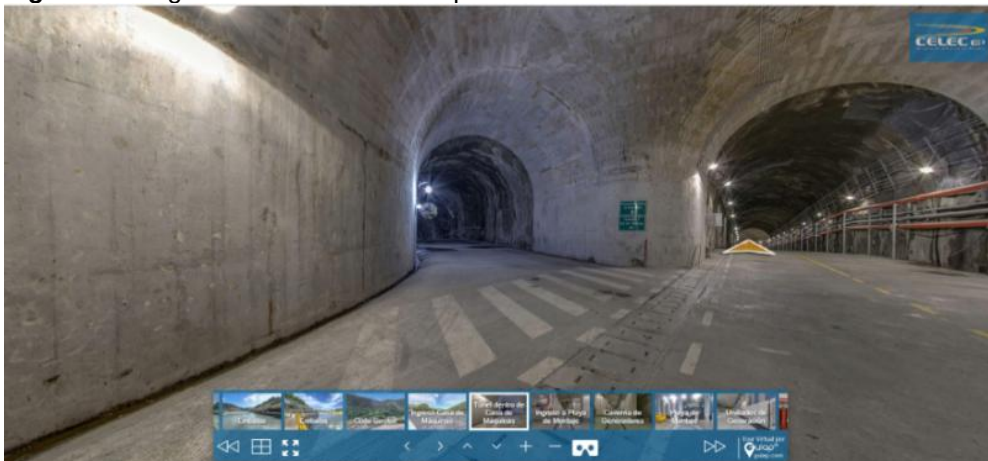
Fuente: CELEC EP (2023)

Figura 9 Túnel dentro de la casa de máquinas



Fuente: CELEC EP (2023)

Figura 10. Ingreso de la casa de Máquinas



Fuente: CELEC EP (2023)

Embalse Compensador

Está conformado por una presa de enrocado cuya pantalla de hormigón es de 58 m de altura, vertedero de excesos, cuya estructura toma la presión de las tuberías, cuya capacidad es de 80.000 m³, llenándola de día, cuyo mayor consumo se lo realiza en la tarde.

Figura 11. Embalse Compensador



Fuente: CELEC EP (2023)

Figura 12. Embalse



Fuente: CELEC EP (2023)

Túnel de Conducción

El túnel de conducción tiene una longitud de 24.8 Km, con un diámetro de excavación de 9,10m, cuyo diámetro interno es de 8,20, siendo un revestimiento de

hormigón, encargándose de que el agua captada conduzca hacia el embalse compensador.

Figura 13. Túnel de conducción



Fuente: CELEC EP (2023)

Tubería de Presión

La tubería de presión son dos conductos a presión en el hormigón que van desde el embalse compensador hasta la casa de máquina, cuyo diámetro es de 5,80 m y longitudes de 1.469 m y 1.462m. Cuyo revestimiento es de acero para su tramo final; para aquello tiene un diámetro de 5,20m y una longitud aproximada de 400 m para cada una.

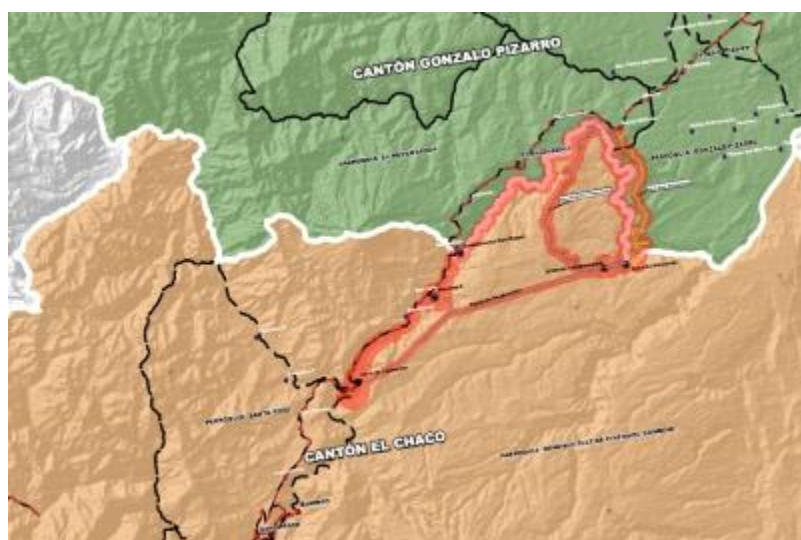
Figura 14. Tubería de presión



Fuente: CELEC EP (2023)

Todas las estructuras trabajan en conjunto para aprovechar el desnivel de 620 metros de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, que tiene 1,500 megavatios (MW). La obra de captación está debajo de la confluencia del río Quijos y Salado; la casa de máquinas está ubicada frente a “Codo Sinclair”, como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 15. Sitio del desarrollo del proyecto hidroeléctrico



Fuente: CELEC EP (2023)

En relación con los costos del proyecto según la Corporación Eléctrica del Ecuador, cuyo costo es de USD 2.245 millones, en las cuales están las obras civiles, equipamiento electromecánico, administración, la fecha de operación es en febrero del 2016, lo que ayuda a reducir la utilización de combustible, dado que los subsidios del Estado para los generadores térmicos, las importaciones de diésel, para poder producir la energía eléctrica. Sin embargo, en el 2016 se presentaba un 30% de demanda de potencia y energía respectivamente; esto quiere decir que reduce la posibilidad de un desabastecimiento.

Al aumentar la producción de la energía, el país disminuye dependencia foránea, lo que hace que el servicio público genere independencia en la electricidad, cuya disponibilidad de exportar energía eléctrica a Colombia y Perú, lo que mejora balance comercial para todos los países. Contribuye a que notablemente se disminuyan las emisiones de carbono a través de la generación de energía hidroeléctrica, cuya energía se podría usar domésticamente para preparar los alimentos, el agua, transporte, todo relacionado a los derivados del petróleo. Durante

el proceso de construcción se creó 6.000 puestos directos y 15.000 plazas de puestos indirectamente.

Figura 16 Túnel de Descarga



Fuente: CELEC EP (2023)

Importancia de la energía hidroeléctrica.

Es importante la energía hidroeléctrica porque genera una energía renovable, en la cual se utiliza el ciclo del agua, respetando el medio ambiente, al no usar elementos químicos o contaminantes, contribuyendo a reducir las huellas de carbono, simultáneamente las presas controlan las inundaciones que puede causar el flujo de agua en los ríos o corrientes, siendo un papel importante para las centrales. Asimismo, el almacenamiento de energía para las centrales con embalses que logran almacenar el agua generando ajustes en su producción energética acorde a su demanda, gestionando intermitencia en sus fuentes renovables teniendo en cuenta la estabilidad de la red eléctrica, proporcionando energía constante y regulable reduciendo riesgos de apagones o fluctuaciones en el voltaje energético. Por último, es conveniente acotar la vida larga útil que generan las centrales hidroeléctricas porque son una fuente segura energéticamente.

Características Geográficas

Ubicación Geográfica del Río Coca

La ubicación geográfica de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair se encuentra ubicada en las provincias de Napo y Sucumbíos, en los cantones El Chaco

y Gonzalo Pizarro; cuya construcción fue realizada en julio de 2010, aportado al S.N.I. una energía neta de 39.142,54 GWh desde abril de 2016 hasta julio de 2022. La Central aprovecha las principales ventajas de los ríos Quijos y Salado que forman el río Coca, donde este río describe la curva en un desnivel de 620 m desiguales, con un caudal promedio de 287 m³/s para la producción hidroeléctrica.

Figura 17. Ubicación Geográfica



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2022)

Régimen hidrológico y variaciones del caudal

Condiciones geomorfológicas

La Hidroeléctrica tiene una superficie aproximadamente de 5,284 Km en una zona subandina, al nororiente del Ecuador, cuya región tiene una alta sismicidad, presentando actividad volcánica, haciéndose propensa a varios fenómenos naturales como desplazamientos. Con respecto a la cuenca del río Coca, este está situado en varios volcanes, en los cuales se ha depositado materiales volcánicos, presentándose baja resistencia en la erosión. Finalmente, opera en un entorno geomorfológico complejo, tanto con los factores naturales como humanos que influyen en el Río Coca.

Figura 18. Capacidad del embalse



Fuente: Celec (2024)

Análisis de factores de productividad y eficiencia

Según Krippendorff (1980), indica que el análisis de contenido es una técnica de investigación en la cual, a partir de ciertos datos, destinada a formular, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a su contexto. En efecto, es importante analizar los contenidos para poder conocer el tipo de investigación se realiza y que se desea examinar de manera exhaustiva, utilizando datos existentes.

Por consiguiente, desde la posición De la Fuente Fernandez (2011), señala que es una técnica que sirve para reducir los datos y poder encontrar grupos homogéneos, cuyas variables se correlacionan, por lo tanto reduce la dimensionalidad de los datos. Esto quiere indicar que su propósito consiste en buscar un número mínimo y a su vez explicar toda la información obtenida por los datos.

Factores operativos de la central hidroeléctrica

Los factores operativos son los componentes que permiten que la central funcione, a su vez los factores que afectan su eficiencia.

Volumen de almacenamiento

Desde la posición de Repsol (2024), como expresa, dentro de las centrales hidroeléctricas se requiere almacenar agua en un embalse, lo que permite regular el flujo de agua y a su vez generar la electricidad según la demanda, convirtiéndola en energía flexible.

Caudal

Con base en Zambrano Romero(2023), expresa que el caudal es la cantidad de agua que atraviesa una superficie en un sistema hidráulico en un tiempo determinado. Dentro de las hidroeléctricas, el caudal juega un importante diseño, también en los sistemas de tuberías.

Altura

Dicho con palabras de Vlaby Future scientist (2023), define que la distancia vertical entre el objeto y el centro de gravedad, que normalmente se mide en unidades como metros. Esto se refiere a la caída o desnivel del agua entre la captación y el punto donde la energía se genera.

Material

Como expresa Ondarse Alvarez (2025), describe que los materiales son diversos elementos, de diversa naturaleza, susceptibles de transformarse y agruparse. En efecto, son aquellos que se transforman en uno o más materiales para poder cumplir una función.

Diámetros

El FlowGuard Mx (2024), expresa que es la distancia de la línea en la que viaja desde un punto a otro. En las hidroeléctricas, el diámetro abarca con las tuberías en las cuales se transporta el agua desde las presa hasta las máquinas.

Dimensiones

Según Perez Porto y Gardey (2021), es el área, volumen o longitud de una superficie; esto quiere decir el aspecto, la magnitud medible de un espacio determinado.

Velocidad

Según Rhoton (2023), la velocidad es la magnitud física en la cual existe relación de la posición del objeto y el tiempo empleado; en pocas palabras, es la magnitud que se estima.

Presión

Es la magnitud de la fuerza en la que actúa perpendicularmente en una superficie por la unidad de área (Enciclopedia de energía).

Potencia

A juicio de Chp (2013), manifiesta que la potencia depende del desnivel entre el embalse superior e inferior. La tasa de producción o consumo de energía; la potencia eléctrica es la velocidad a la que se transfiere la energía eléctrica mediante un circuito eléctrico. Así mismo, el caudal máximo turbinable; esto hace que exista una potencia total.

Mantenimiento de vida útil y equipos

El mantenimiento dentro de la central hidroeléctrica es importante para que Coca Codo Sinclair prolongue la vida útil de sus equipos. Se debe realizar una limpieza del canal y las rejillas al menos tres veces al año como parte del mantenimiento preventivo, en la cual la descarga de las aguas en las turbinas se reconfigure protegiendo la infraestructura al crecer el río Coca. Es importante realizarlas para prevenir daños en equipos electromecánicos.

Cabe resaltar que mediante un boletín de prensa N°15 se dio a conocer que la represa Mazar tuvo una reserva del 72%, lo cual fue favorable y garantizó el abastecimiento de la energía eléctrica. Esto fue necesario porque Coca Codo Sinclair tuvo que entrar en mantenimiento durante dos días, lo que permitió garantizar la distribución de energía. De acuerdo con el Plan Bianual de mantenimientos, se realizan los trabajos programados garantizando la cobertura de demanda energética; entre CENACE y CELEC realizaron dicha planificación.

Sin embargo, la ministra de Energía solicitó una reunión con el objetivo de evaluar los resultados del mantenimiento de Coca Codo Sinclair, para conocer los estados de los embalses, para evitar los cortes de energía, dado que estos racionamientos generan para la ciudadanía un déficit económico. Por otro lado, los factores que influyen en la vida útil son las condiciones en las que se opera las máquinas, las cuales se requieren capacitación con expertos, logrando un mantenimiento adecuado en la central. Al ser un mantenimiento preventivo, reduce las necesidades de evitar problemas con la energía; el mantenimiento constante se requiere de contar con una inversión permanente, siendo ser un desafío para el

estado. Siendo así, el mantenimiento de la hidroeléctrica tiene un enfoque integral que incluye el mantenimiento regular y constante para evitar impactar negativamente en la vida útil de todas las máquinas de que se utilizan.

Finalmente, cuando surgen los mantenimientos en las hidroeléctricas para conocer su situación, es importante visualizar la captación, la casa de máquinas, por lo que se analiza su funcionamiento, por ende la sedimentación, siendo un programa de mantenimiento normal tres veces al año, pero, pese a las condiciones que se establezcan, a veces se requiere de más de tres veces, por lo que los operarios tienen que ver la evolución del mantenimiento y si realmente se pudo solucionar, dado que al terminar la limpieza del canal se requiere de una reconfiguración del enrocado del canal para que pueda surgir sin efectos, e incluso a veces se procede a realizar los mantenimientos antes de lo solicitado.

Figura 19. Infraestructura de captación



Fuente: Primicias (2024)

Sedimentación y erosión

Coca Codo Sinclair presenta varios problemas en sus problemas relacionados con la sedimentación y la erosión, afectando la operación y eficiencia en la energía. En efecto, los sedimentos provienen principalmente de las intensas lluvias, así como la erosión natural del río Coca, siendo para las turbinas perjudiciales las arcillas,

arenas, limos, en las que pueden contener minerales como cuarzo, en las cuales se puede dañar el acero.

Por consiguiente, la acumulación de sedimentos causa paralizaciones en la hidroeléctrica frecuentemente, dado que en junio se registró 18 paralizaciones en un día, hasta 8 horas, visto que estos sedimentos no solo dañan las turbinas, sino los otros equipos, obligando a que se realicen mantenimientos de manera manual, evitando daños catastróficos. La hidroeléctrica cuenta con desarenadores para retener sedimentos, pero igual se requiere manejar el volumen del material en las medidas crecidas del río. Para ello se ha implementado sistemas de dragados temporales son las medidas de control en el embalse compresor mejorando las operaciones energéticas. Orozco (2024) indico que la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables en el 2023 multó a Celec con un valor de 60 millones por las paralizaciones por sedimentos.

Figura 20. Limpieza de la sedimentación



Fuente: Sinohydro (2024)

Erosión

Las causas de la erosión regresiva en el río Coca se aceleraron por medio del colapso que se dio en el 2020 en la cascada San Rafael, lo que cambió la morfología del cauce del río, a pesar que la erosión regresiva no afecta a la hidroeléctrica directamente, pero puede alterar el caudal y la calidad del agua, influyendo a largo plazo las operaciones energéticas.

Mediante un recorrido dado por el ministro de energía Roberto Luque, se pudo evaluar las condiciones del extraño fenómeno de erosión regresivo del Río Coca, dado tuvo un costo de 2.763 millones, dado que esta erosión fue río arriba socavando y desmoronando todos los márgenes. Por otro lado, el Ingeniero Vladimir indicó que podría provocar la destrucción de las obras de captación, dañando absolutamente todo, teniendo una duración de 191 días deteniéndose a 7.5 kilómetros.

Finalmente, para mitigar la sedimentación y la erosión, se requiere de una limpieza, dragado en el embalse compensador y desarenador para reducir la acumulación de sedimentos; los mantenimientos preventivos ayudan a garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la hidroeléctrica.

Figura 21. Obras de captación y desarenador de la Hidroeléctrica



Fuente: Las primicias (2021)

Fórmulas para la determinación de los factores de la variación del caudal, altura de caída, eficiencia y sedimento de la central en la productividad.

Variación del caudal

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{n}$$

Donde:

Q= Caudal m^3/s

N = Eficiencia (75% a 90%)

γ = Gamma

H= Altura

A través de la medición se ha desarrollado la fórmula de la ecuación que se requiere para establecer los valores, en cuanto a la variación que puede existir al reemplazar los datos. Para ello se deben considerar las medidas de conservación de la cuenca del río para que aquello se regule de manera natural.

Variación de la altura de la caída

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{n} \text{ Donde: } m^{3/5}$$

Q= Caudal

N = Eficiencia (75% a 90%)

γ = Gamma

H= Altura

Se la conoce como el salto hidráulico, en la cual se determina la potencia disponible, dado que una reducción en la altura de la caída disminuirá la energía eficiente. Al obtener una optimización en la altura de la caída, es importante periódicamente realizar mantenimiento y limpieza de la presa y canal para identificar problemas de deterioro o sedimentación. Al implementar estas limpiezas, garantiza que la altura de la caída es óptima.

Variedad de la eficiencia y potencia

La potencia se establece mediante la ecuación, dándole valores a cada parámetro para reflejar la eficiencia del sistema, la densidad del agua, la aceleración por medio de la gravedad, representando el caudal y la caída.

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{n}$$

Donde:

P= Potencia generada

Q= Caudal $m^{3/5}$

N = Eficiencia (75% a 90%)

γ = Gamma

H= Altura de la caída

Sedimento de la central

El sedimento de la central hidroeléctrica en la que se utiliza para determinar las decisiones del caudal inicial, con el caudal del sedimento; a su vez, la altura inicial y la altura del sedimento determinando el efecto.

$$P = \frac{(Q_{ini} - Q_{sed})(H_{ini} - H_{sed})}{N}$$

Donde:

Q efectivo = (Qini - Qsed), representando al caudal inicial menos el caudal del sedimento.

TDH= (Tdhinic- Tdh sed), representando la altura inicial menos la altura del sedimento.

N= Eficiencia del 75%

Factores de la construcción

La construcción de la hidroeléctrica fue un proyecto ambicioso y complejo en el Ecuador. A continuación, se presentan detalles claves de la Construcción para aquello:

La Inversión y el financiamiento de Coca Codo Sinclair cuenta con más de 6.000 empleos directos, 15.000 indirectos y técnicos, cuya inversión es de 2.000 millones de dólares, en la cual el 70% de financiamiento del Eximbax de China y la otra parte, del Gobierno Ecuatoriano. Dentro de esta inversión, el ahorro sería que el país no gastara con la compra de combustibles fósiles que consisten para las centrales térmicas en las que solo se querían los mecanismos de emergencia. Este proyecto es ambientalista y responsable desde la concepción hasta el desarrollo, siendo sus obras subterráneas en la que no afecta el entorno y la energía (Corporación Eléctrica del Ecuador, s.f.).

Se quiere con ello conocer cuál ha sido la inversión de la hidroeléctrica; en función de lo expresado anteriormente podemos decir lo siguiente: El ing. M.B.A. Alecksey Mosquera de CONELEC indicó en su informe inicialmente con una capacidad de 859 MW, favoreciendo al sector eléctrico, y su incremento de demanda

a un alto costo de generación en la que se beneficiaría una magnitud grande de 1500MW es la capacidad central con una inversión aproximada de 300 millones de dólares.

La captación del río Coca, los caudales previstos para el salado son: Q medio 292,0 m³/s, Q90% mensual 180m³/s y Q90% diario 127m³/s. En las obras de captación se instalan 6 desarenadores y el túnel de conducción, de las cuales dos túneles son de 4.75m y dos de 7.5m de diámetro, eliminando el embalse compensador. Al construir la casa de máquinas con tres bloques: el primero en 5 unidades de 150 MW c/u, el otro para servicios auxiliares y el tercero para alojar así mismo las unidades de 150 MW C/U. Siendo los costos estimados CCS 1500 MW.

Tabla 1. Presupuesto de Producción

Rubro	Monto (USD)	Descripción
Costo de Construcción	2.245 millones	Obras civiles, equipamiento, fiscalización, administración.
Financiamiento Principal	1.682 millones	Préstamo del Eximbank de China
Ingresos Generados	3.536 millones	Operación 8 años
Ahorros Anuales	450 millones	Importación de combustibles fósiles
Costos potenciales por Erosión	322 millones/ anual	En caso de que la planta deje de operar por erosión

Fuente: Mosquera (2018)

Tabla 2. Costos totales de construcción

Concepto	USD
Ingeniería y Administración	77'178.667
Costos directos obras civiles	511'388.766
Equipo electromecánico + L/T	260'397.900
Imprevistos	138'047.019
Costo total de construcción	987'012.351

Fuente: Mosquera (2018)

Estos son los costos en dólares que se requieren para la producción total de la construcción de la hidroeléctrica, detallando cada rubro con sus descripciones. Nos sirve para poder conocer cuánto fue la inversión que se necesitó, por ende, nos ayudará a evaluar cuánto sería el impacto negativo, si la presa deja de funcionar perjudicando a la economía del país. A continuación, se da a conocer las ponencias y energías, detallando cada uno de los rubros.

Tabla 3. Ponencias y energía

PONENCIAS Y ENERGÍAS	UNIDAD	
Potencia instalada	(MW)	1500
Factor de planta (bornes de generador)		0.9
Energía Primaria	GWh/año	10.120
Energía media	GWh/año	11.756
COSTOS DEL PROYECTO		
Costo total	MM USD	987.01
Obras de generación	MM USD	814.38
Línea de transmisión	MM USD	172.63
COSTOS POTENCIA INSTALADA		
Costo	MM USD	658
COSTO ENERGIA PRIMARIA		
Con línea transmisión	ctvUSD/KWh	1,7
Sin línea de transmisión	USD/KWh	1,5

Fuente: Mosquera (2018)

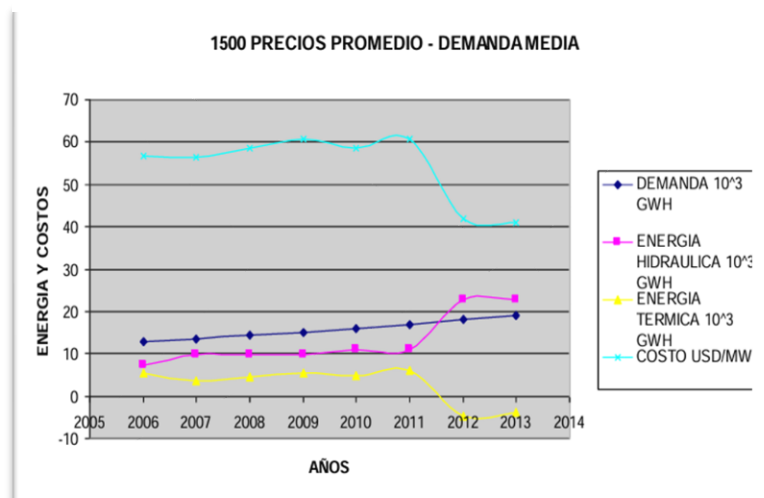
La tabla N° 3 de las ponencias y energía detalla las unidades de GWh al año en cifras y costos por parte de la hidroeléctrica. Estos gráficos representan los 1500 MW de años anteriores, reflejando la demanda, energía hidráulica, energía térmica y los costos en dólares, que son precios promedios de demanda media. Diversos escenarios gráficos con variedad de promedios en megavatios.

Figura 22. Precio Promedio- Demanda

AHORRO EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES		
	CCS 859 MW	CCS 1500 MW
Potencia MW	859	1.500
Energía GWh/año	7.389	11.700
Eficiencia térmica 14 kWh/gal		
Ahorro combustible galones/año	527'785.714	835'714.286
Consumo: 50% diesel;50% residuo		
Ahorro por Diesel US\$/año	\$ 212'222.636	\$ 336'040.714
a 0,8042 US\$/galón		
Ahorro por Fuel Oil 4 US\$/año	\$ 163'613.571	\$ 259'071.429
a 0,6200 US\$/galón		
Ahorro total por combustible US\$/año	\$ 375'836.207	\$ 595'112.143

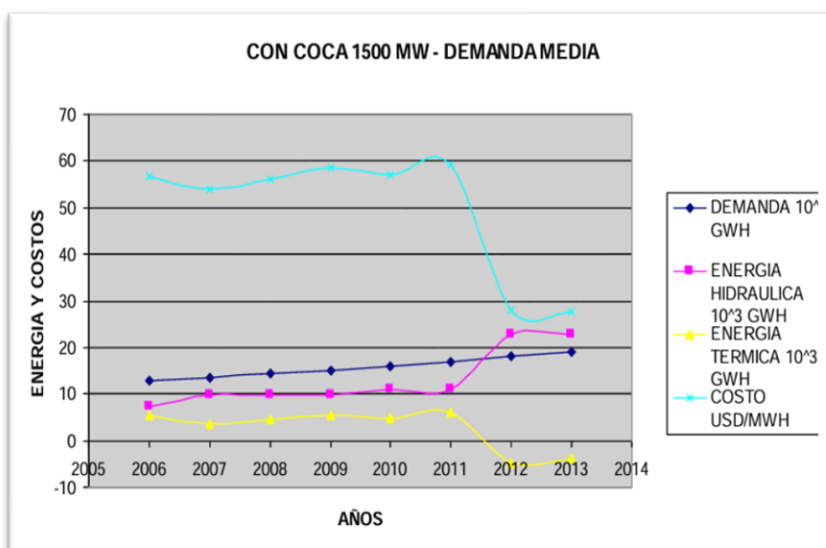
Fuente: Mosquera (2018)

Figura 23. Con coca 1500 mw



Fuente: Mosquera (2018)

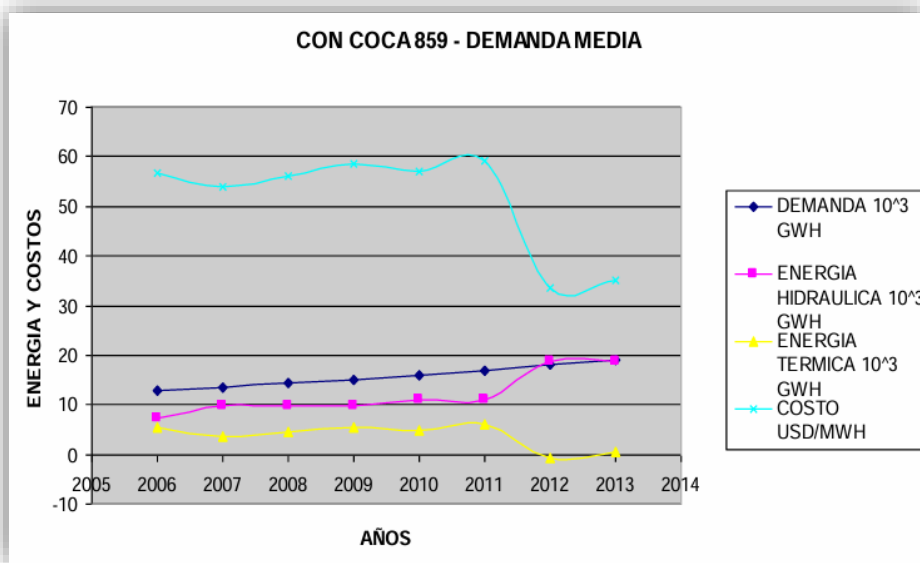
Figura 24. Con Coca859- Demanda media



Fuente: Mosquera (2018)

Por consiguiente, el ingeniero Alecksey Mosquera realizó un exhaustivo análisis sobre el ahorro del consumo de los combustibles de 859 megavatios y de 1500 Mw, así como el ahorro anual del subsidio del diésel. A través de este análisis y estas estadísticas podemos conocer datos históricos de cómo se ha ido desarrollando la energía y los costos de su incremento desde el 2006 hasta el 2013.

Figura 25. Ahorro en el consumo del combustible



Fuente: Mosquera (2018)

En este sentido, la reducción de la dependencia externa y el mejoramiento de la balanza comercial, a través de los pagos a Colombia por la importación de la energía desde el 2003 hasta el 2006, totalizando los 385 millones de dólares. Cabe resaltar las ventas de bonos de carbono en las que se indican los combustibles, las toneladas y los beneficios por bonos. Por último, los costos y beneficios de Coca Codo Sinclair de 859 MW vs. 1500 MW.

Figura 26. Ahorro anual en el subsidio al Diesel

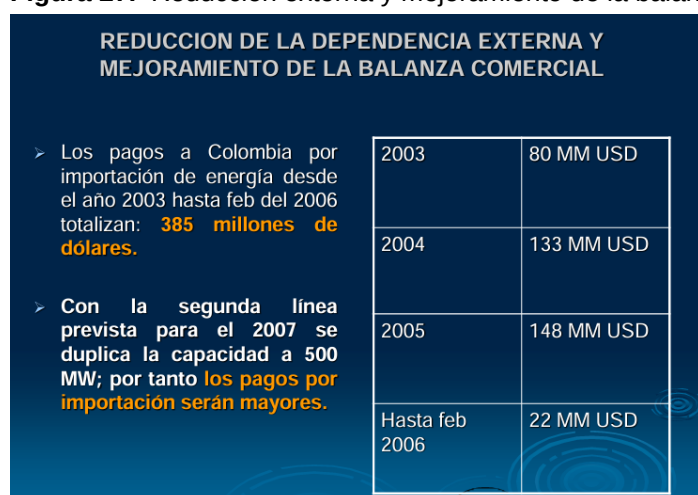
AHORRO ANUAL EN EL SUBSIDIO AL DIESEL		
	CCS 859 MW	CCS 1500 MW
Potencia MW	859	1.500
Precio internacional del Diesel US\$/gal	\$ 2,4	\$ 2,4
Precio de venta para generación US\$/gal	\$ 0,8	\$ 0,8
Consumo anual estimado galones	263'892.857	417'857.143
Ahorro por subsidio al precio del Diesel	\$ 421'120.221	\$ 666'816.429

Ing. M.B.A. Alecksey Mosquera
CONELEC

Fuente: Mosquera (2018)

La figura N°26 muestra los costos anuales de ahorro logrados mediante el subsidio del diésel con la potencia MW de 859 y de 1500, los costos del precio internacional de diésel en galones y lo que se vende dando a conocer los costos de ahorro por el subsidio, al analizarlos se puede la diferencia que existe al producir 859 MW y 1500.

Figura 27. Reducción externa y mejoramiento de la balanza comercial



Fuente: Mosquera (2018)

Se observa en la figura N°27 sobre la reducción y el mejoramiento de la balanza comercial que se obtuvo en los años 2003 hasta el 2006, en la cual fue aumentando progresivamente en un total de 385 millones de dólares; así mismo, la duplicación de la capacidad de megavatios nos sirve para conocer cuánto nos pagaba Colombia por la importación de la energía. En relación con la figura N°28 sobre la venta de bonos de carbono, se indican los costos en dólares del combustible y los beneficios anuales que se obtienen por la venta.

Figura 28. Venta de bonos de carbono

VENTA DE BONOS DE CARBONO

➤ El proyecto puede beneficiarse de los bonos de carbono conforme se indica a continuación:

	CCS 859 MW	CCS 1500 MW
Combustible consumido ton/año	1'995.030	3'159.000
Ton. de CO2/Ton. Combustible	3	3
Beneficio por Bonos USD/año	59'850.900	94'770.000

Fuente: Mosquera (2018)

Figura 29. Costos y beneficios Coca Codo Sinclair 859

COSTOS Y BENEFICIOS COCA CODO SINCLAIR 859 MW vs 1500 MW			
RUBRO	unidad	859 MW	1500 MW
Costo construcción	MM USD	716	987
Reducción estimada del precio de la energía con crecimiento demanda 5.8%	ctvs USD/Kwh	1,8	2.8
Eliminación del déficit tarifario	MM US\$/año	180	180
Ahorro de combustible	MM US\$/año	375	595
Ahorro de subsidio al diesel	MM US\$/año	421	666
Ingresos por certificados del carbono	MM US\$/año	59	94

Fuente: Mosquera (2018)

En la figura N°29 se observa los costos y beneficios que ha obtenido la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair con 859 MW vs. 1500 MW, cuyos rubros como los costos de construcción, reducción estimada del precio de la energía con una creciente demanda de 5.8%, la eliminación del déficit tarifario, ahorro de combustible, subsidio del diésel y los ingresos que se obtienen por el carbono, permitiendo analizar las cifras para ver las diferencias que se obtienen y conocer las capacidades de megavatios.

2.2.1 Cotización de los materiales para cada estructura

Para poder cotizar los materiales necesarios para la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, dado que es importante considerar todos los componentes que son principales para la infraestructura. Dicho de otra manera, poder estimar todos los materiales necesarios que se requirieron para la presa, se requiere obtener un presupuesto preciso mediante un análisis detallado de las especificaciones de los proyectos.

Tabla 4. Componentes principales de la Hidroeléctrica Coca codo Sinclair

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA HIDROÉLECTRICA COCA CODO SINCLAIR				
Concepto	Dimensión	Materiales	Cantidad Estimada	Costo
• Presa de enrocado	Altura: 31,8 m	Hormigón para la pantalla Enrocado para la presa Acero de refuerzo	10,000m3	\$150m3

con pantalla de hormigón		Materiales de impermeabilización	
• Verteredo	Ancho neto 160 m	Hormigón estructural Acero de refuerzo Materiales de impermeabilización	5,000 m3 \$150m3
	8 cámaras	Hormigón estructural Acero de refuerzo Materiales de revestimiento para proteger contra la erosión	2,000 m3 \$150m3
• Túnel de conducción	Longitud de 24.83 km Diámetro inferior 8.20m	Hormigos para revestimiento Acero de refuerzo Materiales impermeabilización Equipos de excavación y perforación	50,000 m3 de 1,000 \$150m3
	8 unidades de 175MW cada una	Acero Estructural Hormigón para fundaciones y estructuras Componentes mecánicos y eléctricos para las turbinas y generadores.	297 \$500/tonelada
• Pilotes para la protección de erosión	297 pilotes de concreto con profundidad de 24 m y un diámetro de 1.20 m	Hormigón para pilotes Acero de refuerzo Equipos de perforación	\$5,000 / pilote

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Los costos de mano de obra y maquinaria del proyecto en la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair; así mismo se requiere considerar el tamaño del proyecto, la complejidad estructural, la situación y condición geográfica, y las zonas climáticas. Anteriormente se indicó sobre los 10,000 empleados directos y los 15,000 indirectos, por lo que se utilizó la mano de obra local. Los costos laborales del proyecto varían, en el cual varían de \$15 a \$50 la hora para los trabajadores, asumiendo \$30 dólares por hora para poder construir, en el cual aproximadamente para la mano de obra

laboral sería de \$240 millones al año, considerando un total de 2,080 horas laborables.

En segundo lugar, con referente a las maquinarias, se requieren de equipos pesados como excavadores, perforadoras, camiones de carga, maquinaria para las presas y túneles. Así mismo, al alquilar las excavadoras durante un periodo determinado anualmente de \$18.25 millones. Por consiguiente, la mano de obra en un costo de 240 millones, la maquinaria en 18,25 millones, siendo un total de \$258.25 millones al año.

Tabla 5. Rubros de ensamblaje

Rubros de ensamblaje	
Tipos de ensamblaje	Descripción
Estructuras Civiles	Presa de enrocado con pantalla de Hormigón Vertedero Desarenador Túnel de conducción Casa de máquinas
Componentes mecánicos y eléctricos	Turbinas Pelton Generadores Transformadores y Equipos de Transmisión
Sistemas de Control y Automatización	Sistemas SCADA Sistema de Protección

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 6. Rubros Complementarios

Rubros Complementarios	
Tipos de ensamblaje	Descripción
Maquinarias y Equipos de construcción	Excavadores y camiones de carga Perforadoras y Tuneladoras Equipos de hormigonado
Mano de Obra Especializada	Ingenieros civiles y mecánicos Técnicos en electricidad y Mecánica Trabajadores de construcción
Servicios y Suministros	Combustible y lubricante Materiales de seguridad Servicio de transporte
Medidas ambientales y sociales	Estudios de impacto ambiental Programas de compensación social

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Análisis de estudios técnicos relacionados con la central

Desde la perspectiva de Parra (2020), señala que mediante estudios científicos internacionales y ecuatorianos realizan advertencias indicando que las centrales hidroeléctricas del país son vulnerables al cambio climático y Ecuador no ha efectuado suficientes esfuerzos para estudiar este fenómeno y asegurar que la producción energética no se vea afectada. Por otra parte, de acuerdo con Naranjo (2024), la infraestructura de las centrales hidroeléctricas es un elemento que enfrenta desafíos y puede afectar la productividad de la empresa en materia de modernización y mantenimiento, así como el desgastamiento de las turbinas y generadores que pueden provocar una frecuencia de fallas significativas y tiempos inactivos.

Teniendo en cuenta, de acuerdo con Ramírez y Crespín (2023), que las centrales hidroeléctricas del Ecuador desempeñan un papel fundamental en lo que respecta a la generación de energía eléctrica, dado que aprovechan los diversos recursos hídricos de la nación, sin embargo, pueden presentarse desafíos significativos que inciden en su productividad. En este sentido, Manzano (2022) enfatiza que Ecuador experimenta cambios en las precipitaciones, lo que afecta la disponibilidad de agua para la operación de las centrales y puede generar fluctuaciones en la producción de energía afectando la estabilidad del suministro eléctrico a nivel nacional.

Dentro de este marco, Orozco (2024) indica que la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, la cual se encuentra ubicada en las provincias de Napo y Sucumbíos, es considerada como la mayor central hidroeléctrica del Ecuador, hasta septiembre del presente año solo operaba en un 43% de su total de capacidad (Tapia, 2024). situación que ha disminuido a la fecha a un 20% a causa de la ausencia de lluvias, erosión regresiva del río Coca, fisuras estructurales y problemas con las acciones de mantenimiento y gestión (Primicias, 2023). Finalmente es conveniente acotar que este fenómeno no solo afecta la estabilidad del suministro energético, sino que también impacta la economía local, especialmente en áreas que dependen de la energía hidroeléctrica para el desarrollo industrial y consumo doméstico.

2.3 Marco Legal:

El marco legal que regula la productividad y operación de las centrales hidroeléctricas está compuesto por leyes y normativas que buscan garantizar el uso adecuado de los recursos hídricos y promover la eficiencia energética. A continuación, se describen los principales instrumentos legales vigentes:

Constitución de la República (2008): Establece los principios para la gestión de recursos naturales, incluyendo el agua, reconociéndola como un derecho humano y garantizando su uso sustentable. Las centrales hidroeléctricas deben operar bajo un esquema que respete estos principios de sostenibilidad y equidad.

Ley de Recursos Hídricos y Usos del Agua (2021): Regula el uso, conservación y gestión de los recursos hídricos en el país. Esta ley es clave para las centrales hidroeléctricas, ya que establece las condiciones para el uso de agua, así como las responsabilidades de los operadores en cuanto a la preservación de cuencas y la implementación de planes de contingencia.

Ley de Energía Renovable y Eficiencia Energética (2019): Promueve la inversión en energías renovables, incluidas las centrales hidroeléctricas, e incentivar el uso de tecnologías que optimicen la eficiencia operativa. Esta ley también fomenta la integración de las hidroeléctricas en redes inteligentes, promoviendo la estabilidad del sistema eléctrico.

Normativa Técnica para la Gestión Ambiental de Proyectos Hidroeléctricos (2020): Establece las directrices que deben seguir las centrales hidroeléctricas en cuanto a la mitigación de impactos ambientales y la protección de los recursos naturales. Es esencial para garantizar que la productividad no comprometa el entorno ecológico.

Acuerdos Internacionales sobre energía limpia: El país es parte de varios acuerdos internacionales que promueven la generación de energía limpia, como el Acuerdo de París. Estos compromisos influyen en las políticas nacionales sobre la gestión de las centrales hidroeléctricas y su contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizará para este estudio es cuantitativo, cuyo propósito es medir y analizar las variables numéricas del caudal del agua, así como la altura y potencia que se genera, cualitativamente para comprender el impacto ambiental y social.

3.2. Método de investigación

El método de investigación que se llevará a cabo es correlacional, en la que se busca establecer relaciones entre las variables del caudal y la potencia que se genera para identificar cómo afecta la productividad en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

3.3. Enfoque de la investigación

El enfoque a emplear sería el mixto, dado que se desea una comprensión del problema, en la que por el método cuantitativo se permitirá analizar numéricamente sobre el caudal del río, la generación de la energía y los costos que conlleva la operatividad. Por el otro método cualitativo, facilitaría la información sobre las gestiones realizadas anteriormente, el impacto social y las diversas perspectivas, interactuando los factores entre sí.

3.4. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación sería no experimental, dado que no se manipulan las variables independientes, por lo que se analizarán los datos que se recopilaran a través de las observaciones y mediciones.

3.5. Alcance de la investigación

Se basa en un alcance descriptivo y correlacional, impulsado por la caracterización e identificación de las principales variables o aspectos que afectan la productividad. En cuanto a lo correlacional, se podría determinar los factores que

están afectando de manera directa el nivel de productividad o desempeño de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, considerando la sostenibilidad, abarcando las dimensiones sociales, ambientales, económicas y técnicas.

3.6. Técnica e instrumentos para obtener los datos

Se procede mediante la técnica de experimento, cuyo instrumento serán las pruebas de variables para medir el caudal, la altura de la caída, la potencia generada, que se representa por medio del cálculo matemático para predecir los cambios que afectarían la productividad energética, simultáneamente el impacto económico de los costos asociados que se establecerían. Por consiguiente, se aplicarán encuestas a empleados para conocer la percepción de la productividad, la gestión y su ambiente laboral.

3.7. Población y muestra

Población: Estará compuesta todos los elementos que se consideran necesarios para el análisis y estos son los componentes técnicos, operativos, que forman parte de la Central Coca Codo Sinclair.

Muestra: Se utilizarán las técnicas de muestreo aleatorio simple, garantizando la representatividad de varios escenarios representativos en diferentes periodos de tiempo, en las cuales se escogerá a trabajadores del sector operativo, técnico y administrativo.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis de la investigación que se realizó por medio de las encuestas realizadas a las personas que trabajan en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

4.1 Presentación y análisis de resultados

1. ¿Considera usted que las condiciones climáticas, como lluvias intensas o sequías, afectan significativamente las operaciones de la central?

Tabla 7. Las condiciones climáticas, como afecta la central

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	2	4%
En desacuerdo	1	2%
Neutral	2	4%
De acuerdo	10	20,0%
Totalmente de acuerdo	35	70,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 30. Las condiciones climáticas, como afecta la central



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 70% de los encuestados consideran las condiciones climáticas como la lluvia y las sequías afectan las operaciones de manera neutral, mientras que un 20% está de acuerdo; solo un 2% está en desacuerdo y no considera significativamente como problema para las operaciones, un 4% totalmente desacuerdo.

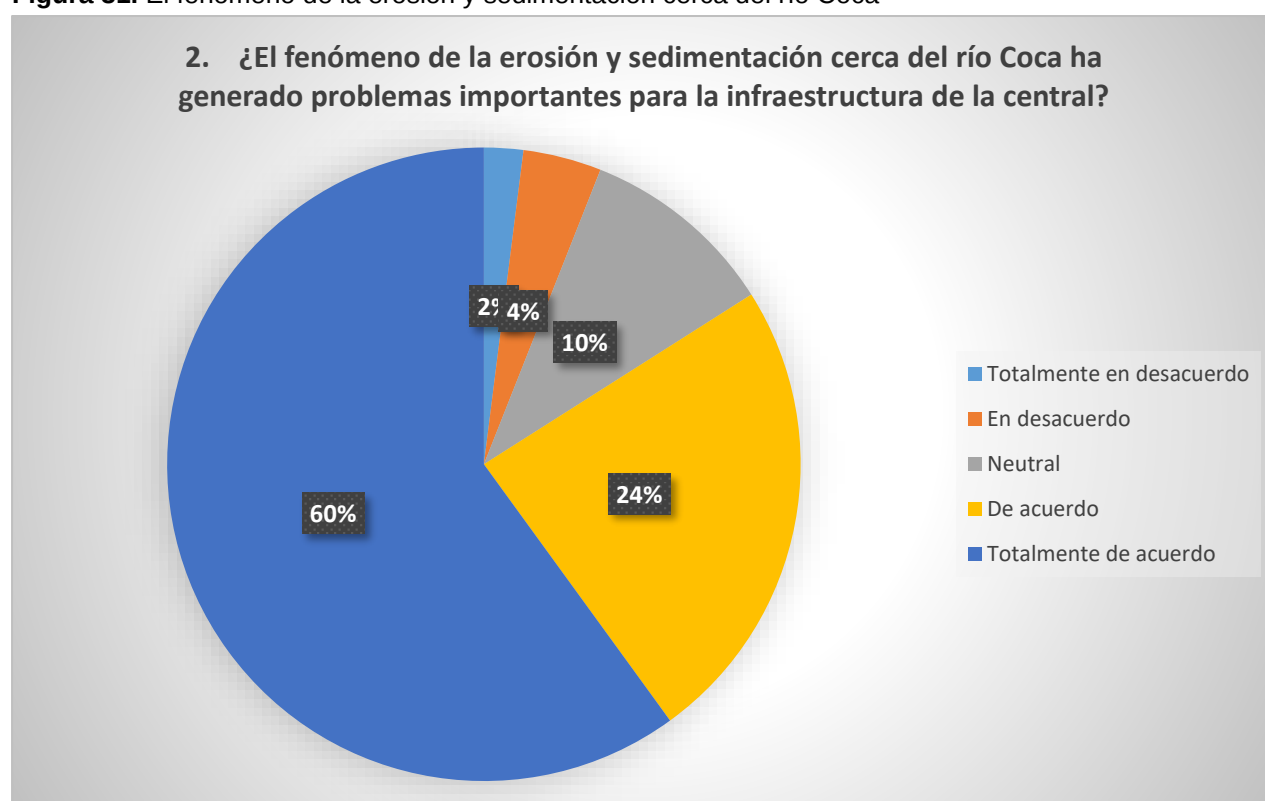
2. ¿El fenómeno de la erosión y sedimentación cerca del río Coca ha generado problemas importantes para la infraestructura de la central?

Tabla 8. Fenómeno de la erosión y sedimentación

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	1	2%
En desacuerdo	2	4%
Neutral	5	10%
De acuerdo	12	24,0%
Totalmente de acuerdo	30	60,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 31. El fenómeno de la erosión y sedimentación cerca del río Coca



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 60% de los encuestados consideran estar totalmente de acuerdo que los problemas para la infraestructura de la central es la erosión y sedimentación del río Coca, mientras que un 24% si lo considera, por último, un 2% está totalmente desacuerdo.

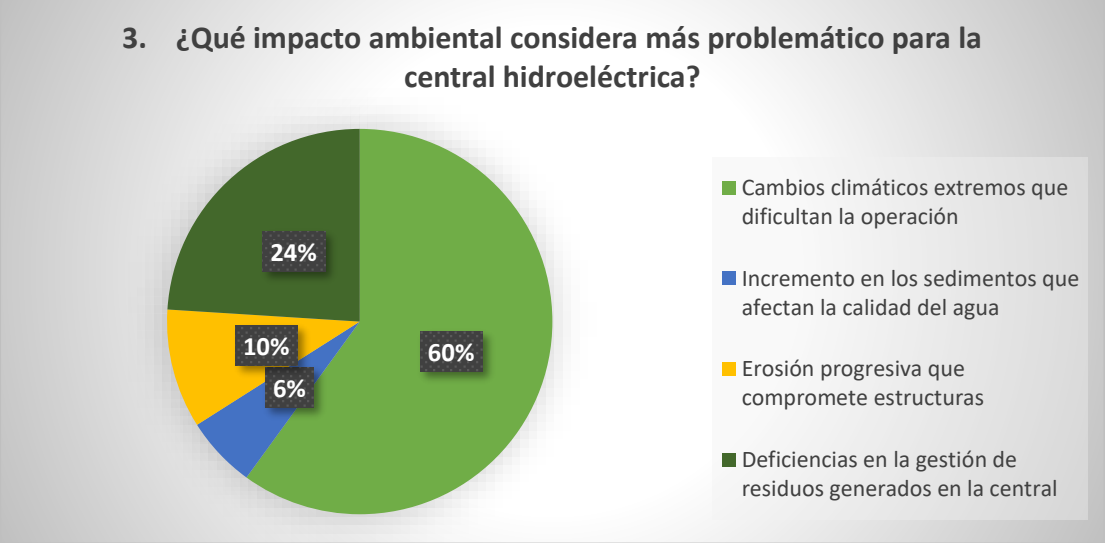
3. ¿Qué impacto ambiental considera más problemático para la central hidroeléctrica?

Tabla 9. El impacto ambiental en la central

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Cambios climáticos extremos que dificultan la operación	30	60%
Incremento en los sedimentos que afectan la calidad del agua	3	6%
Erosión progresiva que compromete estructuras	5	10%
Deficiencias en la gestión de residuos generados en la central	12	24,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 32. El impacto ambiental en la central



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 60% de los encuestados considera que el impacto ambiental es más problemático para la central hidroeléctrica, debido a los cambios climáticos extremos que dificultan la operación, un 10% deducen que la erosión progresiva compromete estructuras, un 6% dado por los incrementos en los sedimentos afectando la calidad del agua y un 24% de las deficiencias en las gestiones de residuos generados por la central.

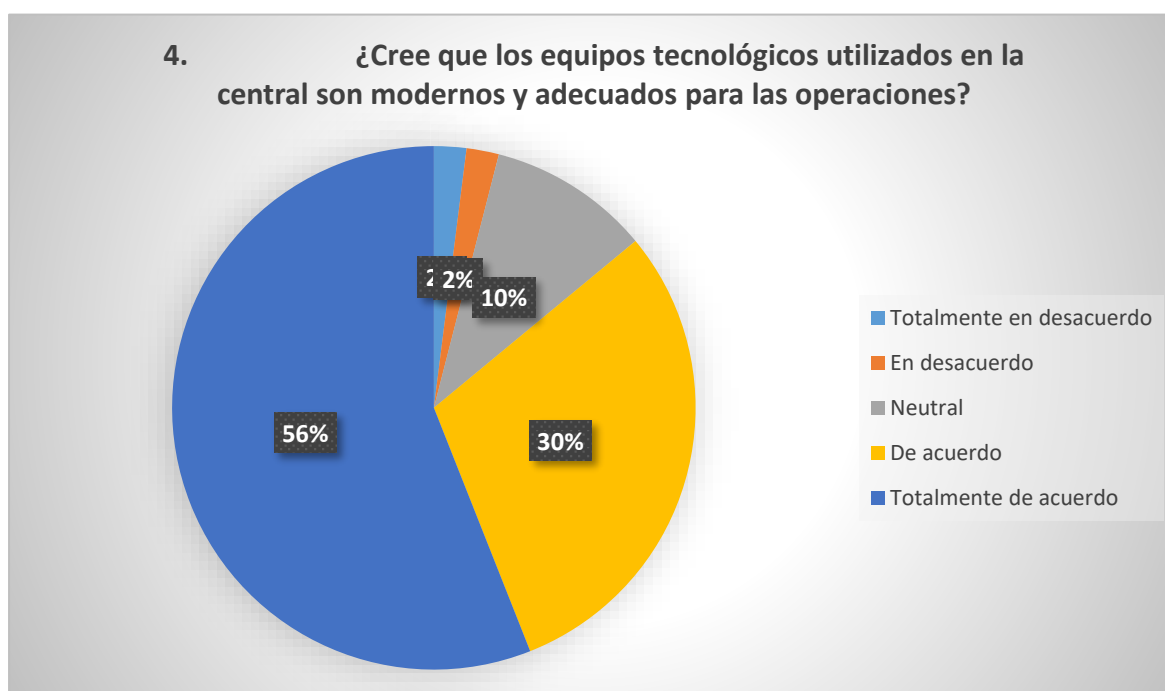
4. ¿Cree usted que los equipos tecnológicos utilizados en la central son adecuados para las operaciones?

Tabla 10. Los Equipos tecnológicos en la central

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	1	2%
En desacuerdo	1	2%
Neutral	5	10%
De acuerdo	15	30,0%
Totalmente de acuerdo	28	56,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 33. Los equipos tecnológicos



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 56% de los encuestados considera totalmente de acuerdo que los equipos tecnológicos utilizados en la central son adecuados y modernos para las operaciones, mientras que un 30% está de acuerdo, un 10% de manera neutral.

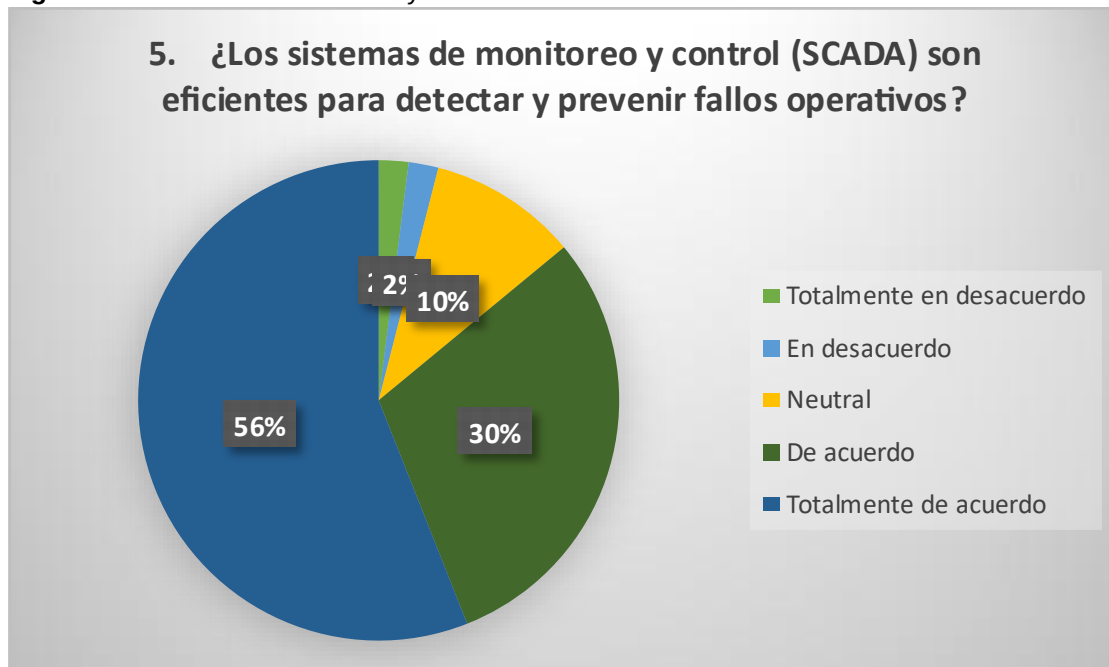
5. ¿Considera usted que los sistemas de monitoreo y control que actualmente utilizan son eficientes para detectar y prevenir fallos operativos?

Tabla 11. Sistema de monitoreo y control

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	1	2%
En desacuerdo	1	2%
Neutral	5	10%
De acuerdo	15	30,0%
Totalmente de acuerdo	28	56,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 34. Sistema de monitoreo y control



Elaborado por: Cacao & Coloma, (2024)

Interpretación:

El 56% de los encuestados está totalmente de acuerdo que los sistemas de monitoreo y control (SCADA) son eficientes para detectar y prevenir los fallos operativos, sin embargo, el 30% está de acuerdo, mientras que el 10% de los encuestados lo considera de manera neutral.

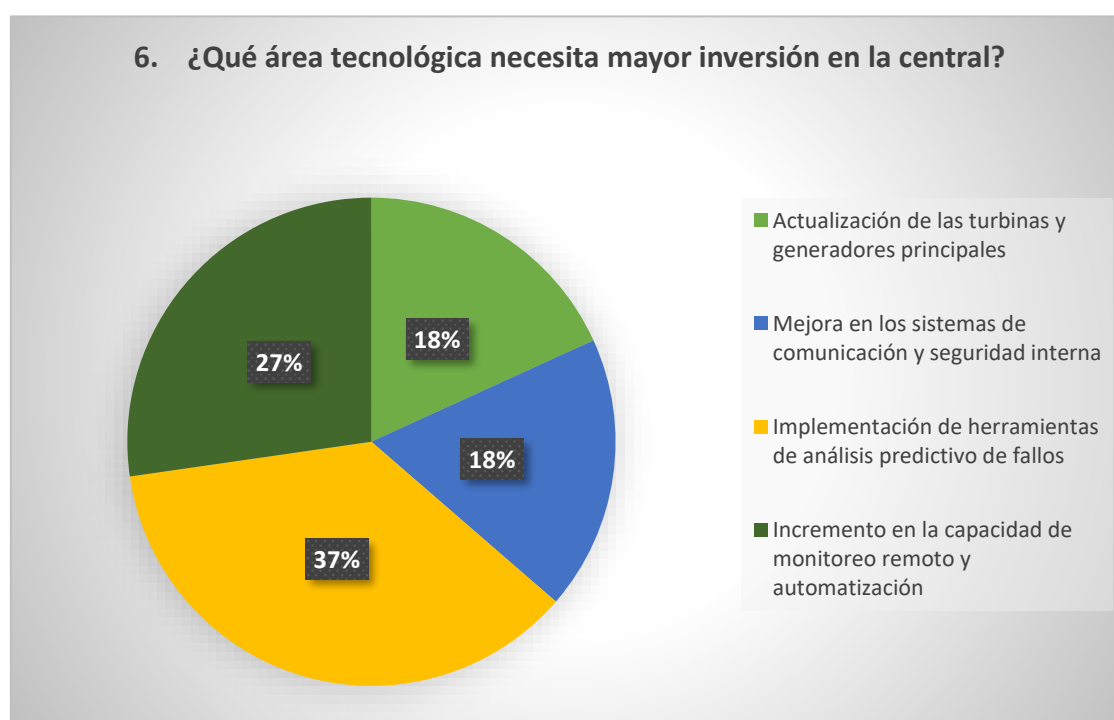
6. ¿Qué área tecnológica considera usted que se necesita mayor inversión en la central?

Tabla 12. Inversión en el área tecnológica

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Actualización de las turbinas y generadores principales	9	18%
Mejora en los sistemas de comunicación y seguridad interna	8	16%
Implementación de herramientas de análisis predictivo de fallos	12	24%
Incremento en la capacidad de monitoreo remoto y automatización	21	42,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 35. Inversión en el área tecnológica



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 37% de los encuestados considera que donde se requiere mayor inversión en la central es para la implementación de herramientas de análisis predictivo de fallo, seguida del 27% cree que el incremento en la capacidad para monitorear remotamente y automatizada; finalmente un 18% deduce que, en la actualización de las turbinas y generadores, otros en mejorar los sistemas de comunicación y seguridad interna.

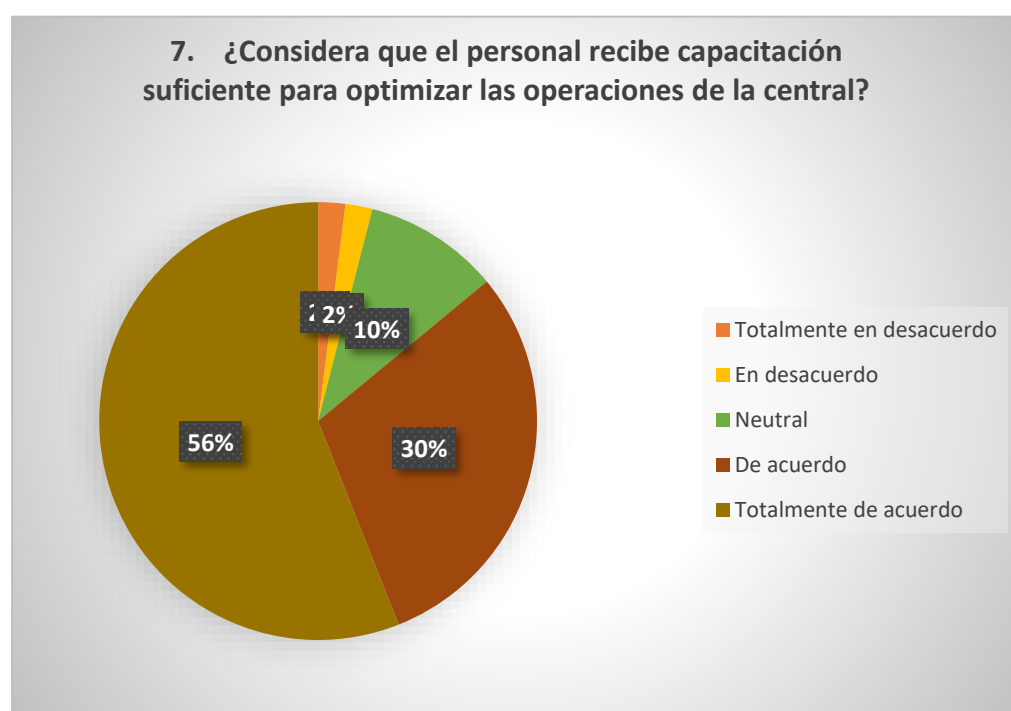
7. ¿Considera usted que el personal operativo recibe capacitación suficiente para optimizar las operaciones de la central?

Tabla 13. Capacitación para el personal

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	1	2%
En desacuerdo	1	2%
Neutral	5	10%
De acuerdo	15	30,0%
Totalmente de acuerdo	28	56,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 36. Capacitación para el personal



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 56% de los encuestados está totalmente de acuerdo que el personal debe recibir capacitaciones para optimizar las operaciones de la central. Un 30% está de acuerdo con aquel; el personal 10% lo considera neutralmente.

8. ¿Cree usted que la comunicación entre los equipos de trabajo es efectiva para resolver problemas operativos?

Tabla 14. La comunicación efectiva en el equipo de trabajo

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	2	4%
En desacuerdo	1	2%
Neutral	1	2%
De acuerdo	15	30,0%
Totalmente de acuerdo	31	62,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 37. La comunicación efectiva del equipo de trabajo



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 62% de los encuestados está totalmente de acuerdo con que una comunicación entre los equipos de trabajo es efectiva para resolver los problemas operativos, un 2% lo considera neutralmente, un 4% está totalmente en desacuerdo.

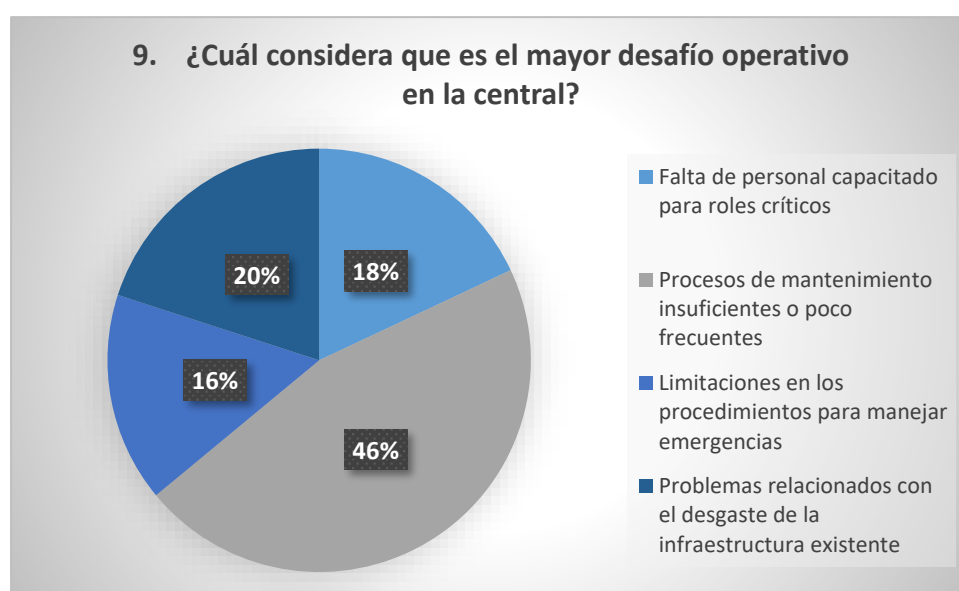
9. ¿Cuál considera usted que es el mayor desafío en la central?

Tabla 15. Mayor desafío operativo

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Falta de personal capacitado para roles críticos	9	18%
Procesos de mantenimiento insuficientes o poco frecuentes	23	46%
Limitaciones en los procedimientos para manejar emergencias	8	16%
Problemas relacionados con el desgaste de la infraestructura existente	10	20,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 38. Mayor desafío operativo en la central



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación:

El 46% de los encuestados considera que el mayor desafío operativo dentro de la central son los procesos de mantenimiento, dado que son pocos frecuentes o a veces insuficientes; un 16%, las limitaciones en los procedimientos para manejar las emergencias; un 18%, la falta del personal capacitados para situaciones críticas; y un 20%, problemas relacionados con el desgaste de la infraestructura.

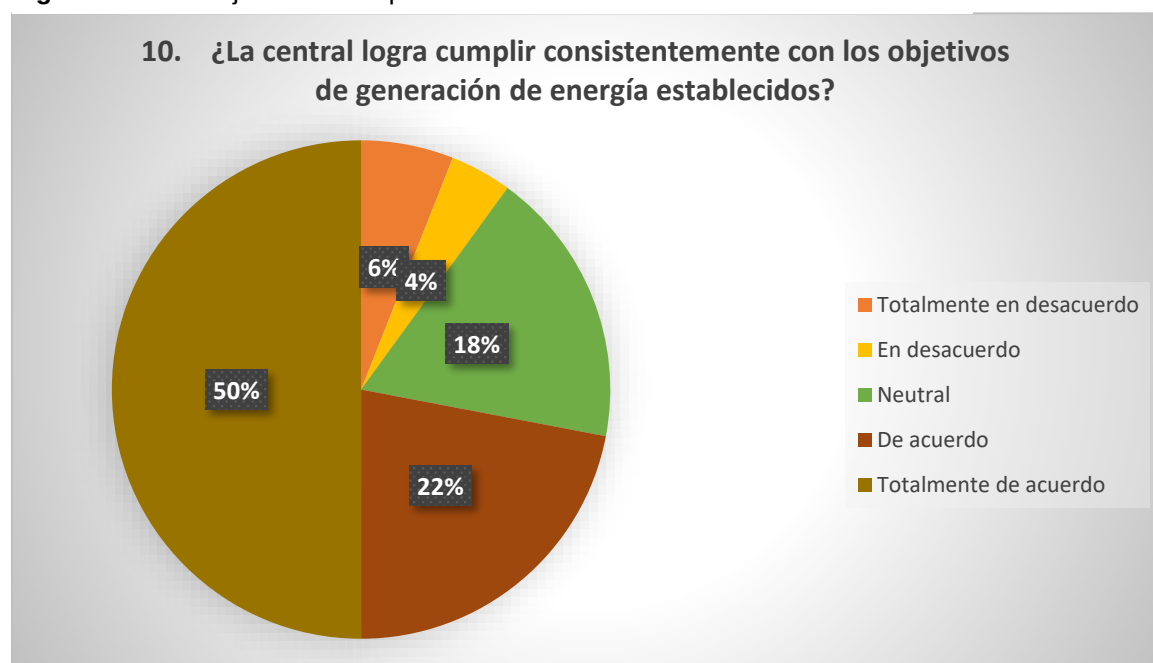
10. ¿La central logra cumplir consistentemente con los objetivos de generación de energía establecidos?

Tabla 16. Objetivos de la central

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	3	6%
En desacuerdo	2	4%
Neutral	9	18%
De acuerdo	11	22,0%
Totalmente de acuerdo	25	50,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 39. Los objetivos a cumplir



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 50% de los encuestados indican que está totalmente de acuerdo con que la central sí cumple con todos los objetivos de generación de energía establecidos, un 22% de acuerdo, un 18% de manera neutral, un 4% en desacuerdo, un 6% totalmente en desacuerdo con los objetivos.

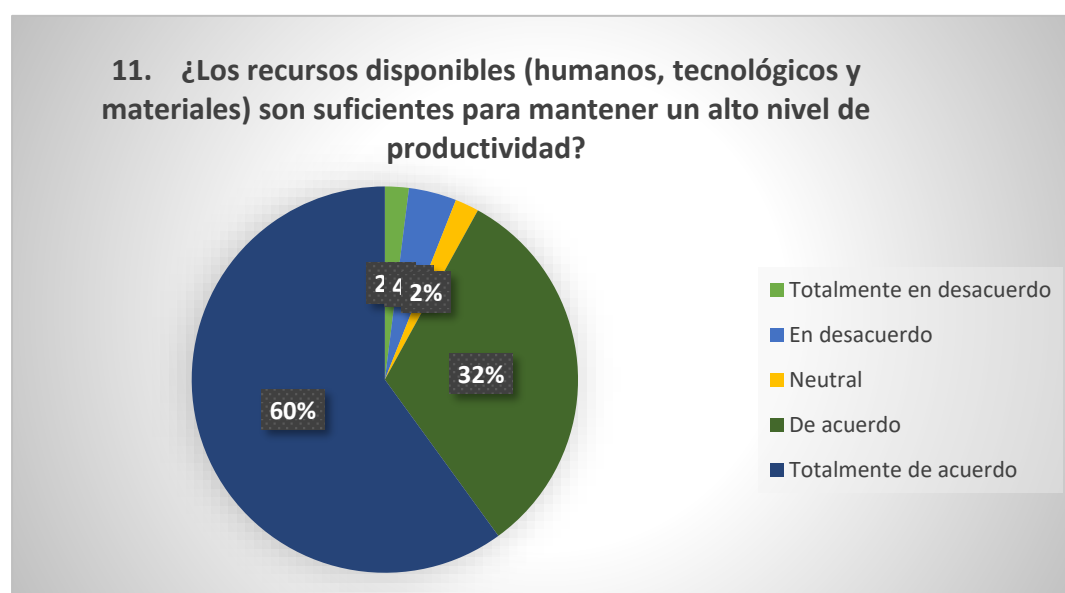
11. ¿Los recursos disponibles (humanos, tecnológicos y materiales) son suficientes para mantener un alto nivel de productividad?

Tabla 17. Recursos disponibles

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	1	2%
En desacuerdo	2	4%
Neutral	1	2%
De acuerdo	16	32,0%
Totalmente de acuerdo	30	60,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 40. Recursos Disponibles



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 60% de las encuestas indican que los recursos disponibles sí son suficientes para mantener un alto nivel de productividad, mientras que un 32% está de acuerdo, por lo que solo un 2% está neutralmente acerca de los recursos.

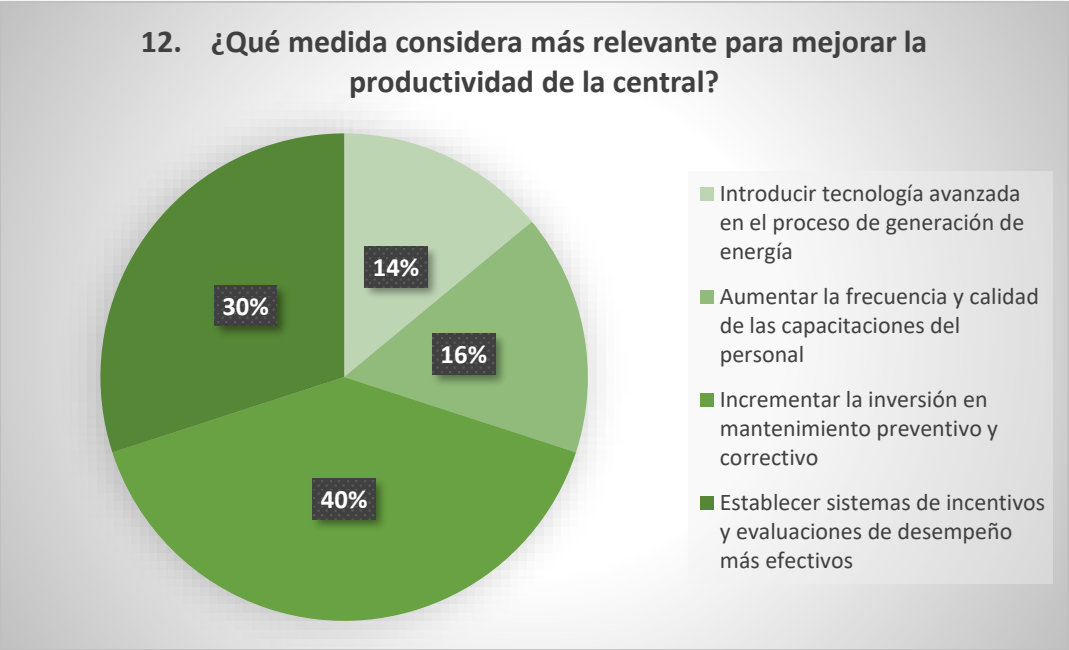
12. ¿Qué medida considera usted que es más relevante para mejorar la productividad de la central?

Tabla 18. Medidas relevantes para mejorar la productividad

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Introducir tecnología avanzada en el proceso de generación de energía	7	14%
Aumentar la frecuencia y calidad de las capacitaciones del personal	8	16%
Incrementar la inversión en mantenimiento preventivo y correctivo	20	40%
Establecer sistemas de incentivos y evaluaciones de desempeño más efectivos	15	30,0%
Total	50	100,0%

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 41. Medidas relevantes para mejorar la productividad



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Interpretación: El 40% de los encuestados considera que las medidas que mejorarían la productividad en la central son a través del incremento de la inversión en el mantenimiento preventivo y correctivo; el 16% aumenta la frecuencia y calidad de las capacitaciones del personal, un 30% establece sistemas de incentivos y evaluaciones del desempeño, un 14% considera introducir la tecnología avanzada en los procesos de generación de energía.

4.2. Propuesta

Basándose en los resultados de los análisis que se realizaron por el instrumento de las encuestas al personal, por otro lado, el análisis de varios documentos se determina que los factores que más incide en la productividad de la hidroeléctrica es la relación del caudal, la altura, conllevando a mejorar la eficiencia y productividad. Dentro de este marco, a través de diversas simulaciones, se evalúa el impacto al variar el caudal, la altura y la sedimentación para evitar la deficiencia energética, cuyo objetivo de la propuesta es proponer estrategias para mejorar la eficiencia y productividad hidroeléctrica minimizando el impacto económico durante una escasez energética.

4.2.1. Factores que afectan la productividad

Los factores que se consideraran son los siguientes:

Tabla 19. Descripción de los factores que afectan la productividad

Factores	Descripción
Caudal del agua	Es importante el caudal para poder generar la potencia que se requiere; del caudal de diseño es 286,6 m ³ /s para poder generar 1500 MW
Nivel de embalse	La carga o nivel permite las variaciones en la generación, por lo que su variabilidad del impacto en la productividad.
Eficiencia de turbinas y generadores	La eficiencia de las turbinas Pelton y los generadores impactan directamente al producir energía eléctrica, calculando la eficiencia. Por lo tanto, la relación de los parámetros del caudal y carga son determinante en la productividad.

Erosión	Una erosión agresiva reduce la capacidad de generar electricidad, por los daños que se ocasionan; su relación con la productividad se realiza a través de la variación de carga.
Mantenimiento y reparaciones	Otras de las causas es las paralizaciones por mantenimiento o reparaciones, que hacen que la planta no genere energía en su totalidad, por lo cual su incidencia en la productividad ha estimado con el manejo de los indicadores anteriores.
Factores climáticos	Cambios climáticos o eventos extremos de las lluvias influyendo en el caudal, a su vez en la disponibilidad del agua, o en ocasiones, en la escasez.

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Mediante este cuadro podemos indicar que todos estos factores afectan la productividad, de los cuales se va a considerar mediante los cálculos dándoles valor a cada uno de ellos para conocer hasta qué punto se puede ser el límite para que se pueda dar potencia a las turbinas, en cuanto a la altura de la caída el límite es de 620 metros lo cual hace que se considere una gran cantidad de energía siendo el rango específico, en caso de que la caída sea demasiado baja, disminuye la eficiencia debido a una energía menor en la cual no se puede convertir en electricidad, y lo que podría reducir la vida útil de la central viéndose afectada porque el diseño no está para ser manejado con esa altura, por el desnivel, en el cual deberían ser aseguradas las turbinas y generadores. Para aquello implicaría cambios en la turbina, ajustando la configuración del sistema.

Finalmente, se establecerá variaciones que se pueden dar en caudal, altura, eficiencia y la sedimentación, lo cual permite estimar los indicadores económicos por

afectación en la productividad, a continuación, cada uno de ellos detallara su función medible.

Variación del caudal

Con respecto a la variación del caudal, es importante implementar un sistema que monitoree continuamente el flujo del caudal del río Coca, por medio de los sensores y estaciones meteorológicas. Al desarrollar estos modelos, podemos mediante datos existentes, predecir el caudal a corto, mediano y largo plazo antes las proyecciones climáticas que en diversas épocas del año son inestables.

En función de lo planteado, es importante evaluar la factibilidad de construir embalses para regular el caudal con la finalidad de mitigar efectos en las variaciones; mediante los protocolos de operación, permitirá ajustarse la producción de la energía, priorizando eficiencia.

Fórmula

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{n}$$

Procedimiento

Datos:

Q= Caudal $m^{3/5}$

N = Eficiencia (75% a 90%)

γ = Gamma

H= Altura

Reemplazo de valores:

Q= 287.5 $m^{3/5}$

n= 0,75%

γ = 1000 kg/m^3

H= 620 m

$$a) \quad P = \frac{287.5 \frac{m^3}{seg} (1000 \frac{kg}{m^3}) (620 m)}{0,75}$$

$$P = 237253333,33 \text{ KG/SEG}$$

b)

$$P = \frac{282m^{3/5} (1000kg / m^3.) (620m)}{0,75}$$

$$P = 233,120000 \text{ KG/ SEG.}$$

Datos

$$Q = 282 \text{ m}^{3/5}$$

$$n = 0,75\%$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H = 620 \text{ m}$$

$$\text{c) } P = \frac{277 \text{m}^{3/5} (1000 \text{kg} / \text{m}^3) (620 \text{m})}{0,75}$$

$$P = 228986666,67 \text{ KG/ SEG}$$

Datos

$$Q = 277 \text{ m}^{3/5}$$

$$n = 0,75\%$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H = 620 \text{ m}$$

$$\text{d) } P = \frac{89 \text{m}^{3/5} (1000 \text{kg} / \text{m}^3) (620 \text{m})}{0,75}$$

$$P = 73573333,33 \text{ KG/SEG}$$

Datos

$$Q = 89 \text{ m}^{3/5}$$

$$n = 0,75\%$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H = 620 \text{ m}$$

Variación del caudal diariamente

Tabla 20. Variación de Caudal diariamente

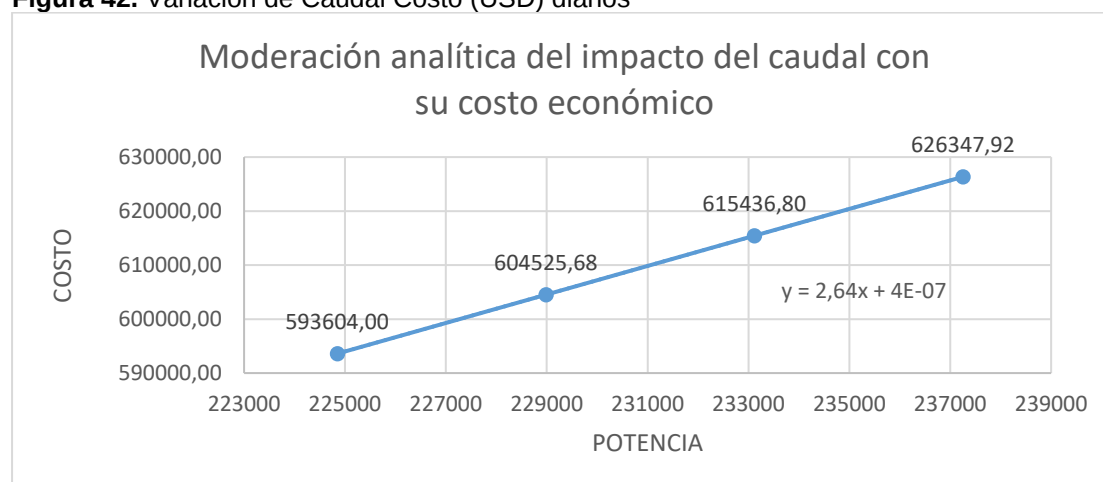
VARIACIÓN DE CAUDAL DIARIAMENTE/ ECONOMICO			
CAUDAL	POTENCIA (KW)		ΔP
287	237253		0
282	233120		4133
277	228987		8266
272	224850		12403

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 21. Variación de caudal (KW/USD)

IMPACTO ECONOMICO DE CAUDAL		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
237253	626347,92	0
233120	615436,80	10911,12
228987	604525,68	21822,24
224850	593604,00	32743,92

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 42. Variación de Caudal Costo (USD) diarios

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Variación de caudal mensualmente

Tabla 22. Variación de caudal mensualmente

VARIACIÓN DE CAUDAL MENSUALMENTE/ ECONOMICO		
Q	POTENCIA (KW)	ΔP
287	237253	0
282	233120	4133
277	228987	8266
272	224850	12403

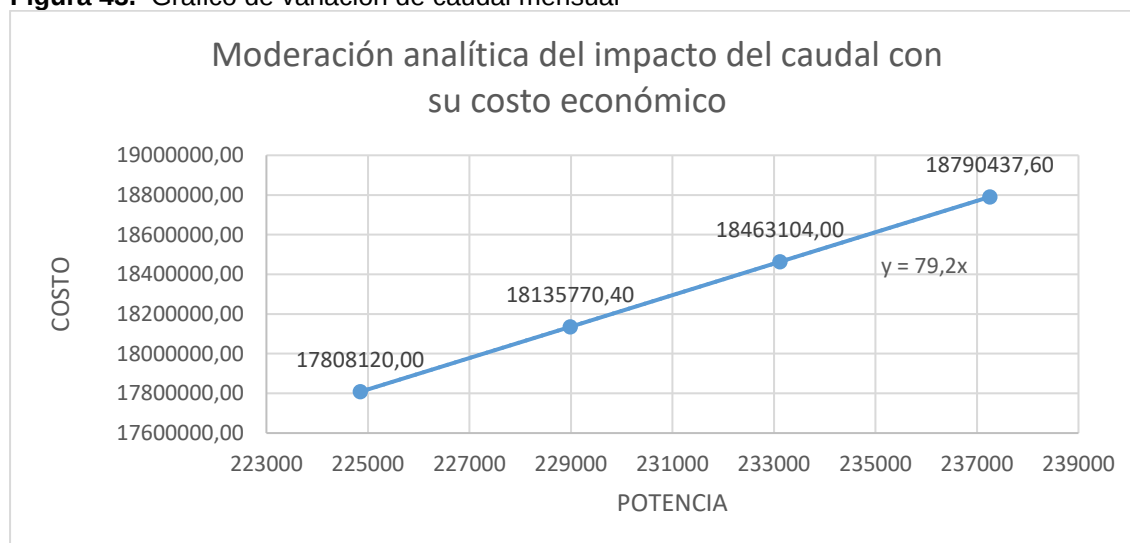
Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 23. Variación de caudal (KW/ USD)

IMPACTO ECONOMICO DE CAUDAL		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
237253	18790437,60	0
233120	18463104,00	327333,6
228987	18135770,40	654667,2
224850	17808120,00	982317,6

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 43. Gráfico de variación de caudal mensual



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

El impacto del caudal en la producción de energía; la central genera 1500MW. Sin embargo, varía por el caudal, aunque cuando el caudal reduce, disminuye la capacidad de generación. En los costos operativos de producción por KWh es bajo (1,13 centavos de dólar); al reducir la producción por el caudal, los costos operativos aumentarían por cada unidad generada. En el combustible se permite un ahorro de 450 millones de dólares al año; pese a aquello, la producción disminuye y el ahorro se ve afectado. Por lo tanto, se requerirá de una termoeléctrica para cubrir la demanda.

Los costos potenciales de la variación del caudal, si la producción disminuye por el caudal menor, los ingresos para poder vender la energía se reducirán, afectando los costos de inversión, estimándose a los 2.700 millones de dólares. Al disminuir la producción, Ecuador podría necesitar recurrir a otras entidades que le puedan vender energía para poder abarcar todo el país. Finalmente, la variación del caudal de Coca Codo Sinclair genera un impacto significativo económicamente, afectando la rentabilidad del proyecto.

Altura de caída

Este análisis permite evaluar las necesidades en mejorar las estructuras, darle mantenimiento, ya sea en la presa o canal, ayuda a reducir pérdidas de agua; por otro

lado, mediante los sistemas de control del sedimento, evita que se acumule en la presa.

a)

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{n}$$

$$P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (620m)}{0,75}$$

$$P= 237.25333,33 \text{ KG/SEG}$$

$$H= 620m$$

b)
$$P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (620m)}{0,75}$$

$$H= 600$$

$$P= 229600000 \text{ KG/SEG}$$

c)
$$P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (580m)}{0,75}$$

$$P= 221946666,67 \text{ KG/SEG}$$

$$H= 580$$

d)
$$P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (580m)}{0,75}$$

$$P= 214293333,33 \text{ KG/ SEG}$$

$$H= 560$$

Variación de altura diariamente

Tabla 24. Variación de altura diariamente

VARIACIÓN DE ALTURA DIARIAMENTE/ECONOMICO			
ALTURA	POTENCIA (KW)		ΔP
620	237253		0
600	229600		7653
580	221946		15307
560	214293		22960

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

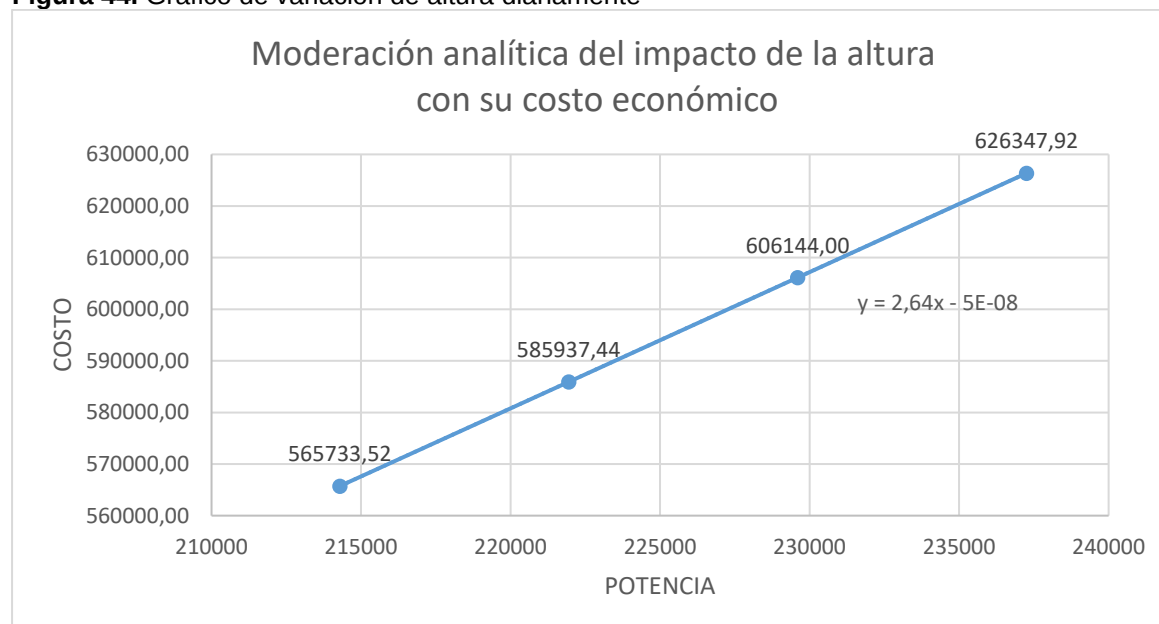
Tabla 25. Variación de altura diariamente

IMPACTO ECONOMICO DE ALTURA		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO

237253	626347,92	0
229600	606144,00	20203,92
221946	585937,44	40410,48
214293	565733,52	60614,4

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 44. Gráfico de variación de altura diariamente



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Variación de altura mensual

Tabla 26. Variación de altura mensual

VARIACIÓN DE ALTURA MENSUALMENTE/ ECONOMICO		
H	POTENCIA (KW)	ΔP
620	237253	0
600	229600	7653
580	221946	15307
560	214293	22960

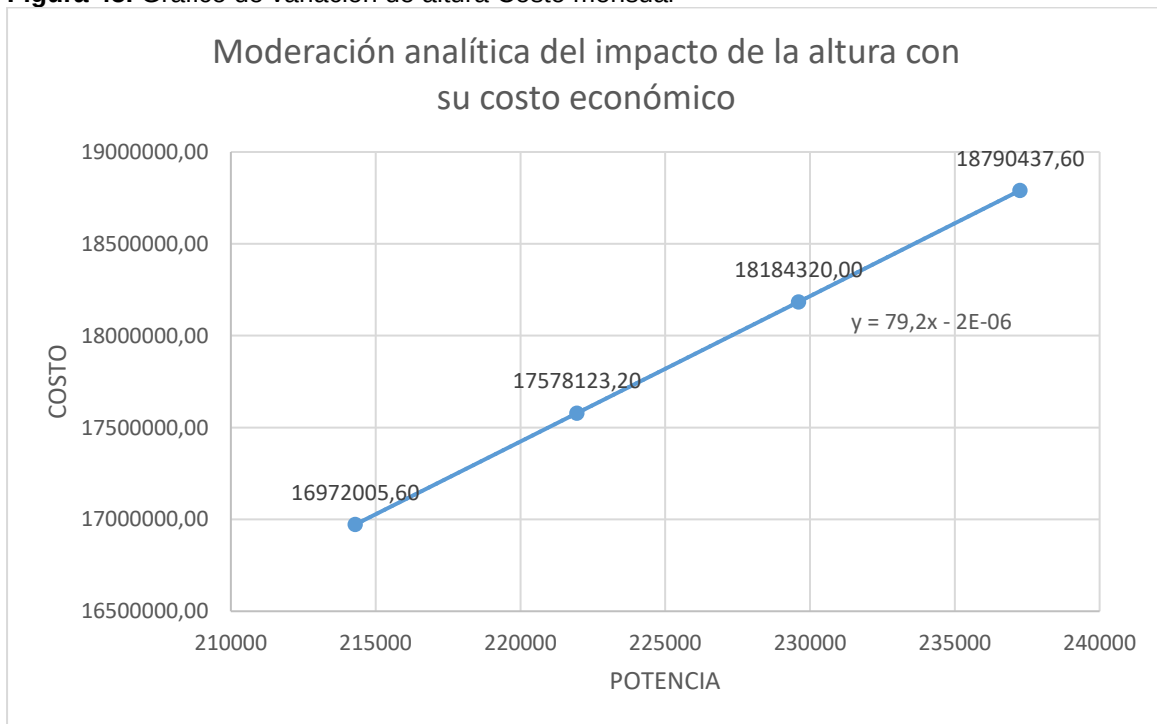
Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 27. Variación de altura (kw/ usd)

IMPACTO ECONOMICO DE ALTURA		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
237253	18790437,60	0
229600	18184320,00	606117,6
221946	17578123,20	1212314,4
214293	16972005,60	1818432

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 45. Gráfico de variación de altura Costo mensual



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

En resumen, si existiera la disminución de la altura de la caída, afectaría la potencia generada y la eficiencia en su sistema, lo que se requeriría un ajuste en el diseño y la operación para evitar daños en la central.

Eficiencia de la central

Uno de los componentes más importantes es evaluar las turbinas existentes, verificar el estado para corroborar si se requieren las mismas o se opta por reemplazarlas por modelos más actuales o eficientes, dado que la velocidad de aquellas optimiza la producción de energía en diferentes condiciones. Visto de esta forma, se necesita contar con un programa de mantenimiento preventivo hacia las turbinas; al monitorear se podrá corregir los problemas, evitando mayores fallas en la hidroeléctricas, por consiguiente, contar con el personal que opera y mantiene esta área.

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{n}$$

Resolvemos:

$$a) \quad P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (620m)}{0,75}$$

$$P = 237253333,33 \text{ KG/SEG} \quad N= 75\%$$

$$b) \quad P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (620m)}{0,80}$$

$$P = 222425,000 \text{ KG/SEG} \quad N= 80\%$$

$$c) \quad P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (620m)}{0,85}$$

$$P = 209,341,176,47 \text{ KG/SEG} \quad N= 85\%$$

$$d) \quad P = \frac{287m^{3/5} (1000kg / m^3) (620m)}{0,90}$$

$$P = 197711,111 \text{ KG/SEG}$$

Variación de eficiencia diariamente

Tabla 28. Variación de eficiencia diariamente

VARIACIÓN DE EFICIENCIA DIARIAMENTE/ ECONOMICO			
EFICIENCIA	POTENCIA (KW)	ΔP	
75	237253	0	
80	233420	3833	
85	209340	27913	
90	197710	39543	

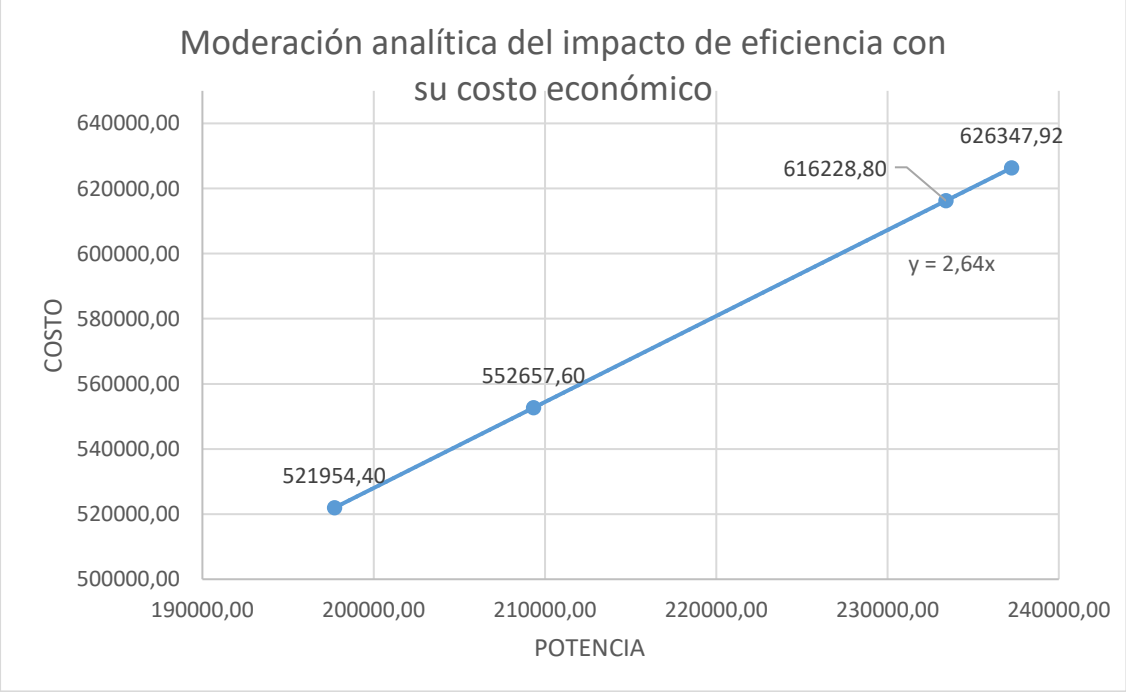
Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 29. Variación de eficiencia (kw/ usd)

IMPACTO ECONOMICO DE EFICIENCIA		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
237253,00	626347,92	0
233420,00	616228,80	10119,12
209340,00	552657,60	73690,32
197710,00	521954,40	104393,52

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 46. Gráfico variación eficiencia diaria



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Variación de eficiencia mensual

Tabla 30. Variación de eficiencia mensual

VARIACIÓN DE EFICIENCIA MENSUALMENTE/ ECONOMICO		
Q	POTENCIA (KW)	ΔP
75	237253	0
80	233420	3833
85	209340	27913
90	197710	39543

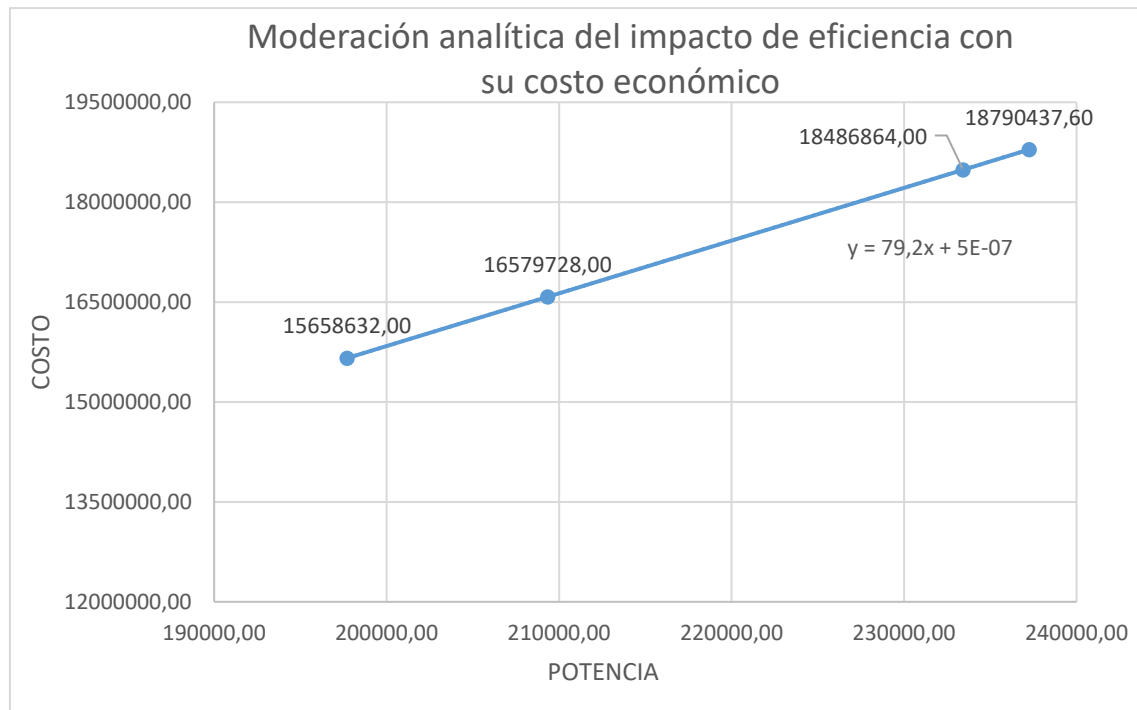
Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 31. Variación de eficiencia (kw/usd)

IMPACTO ECONOMICO DE EFICIENCIA		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
237253,00	18790437,60	0
233420,00	18486864,00	303573,6
209340,00	16579728,00	2210709,6
197710,00	15658632,00	3131805,6

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 47. Gráfico variación de eficiencia mensual



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Sedimento

$$P = \frac{(Q_{ini} - Q_{sed})(H_{ini} - H_{sed})}{N}$$

Q efectivo= (Qini- Qsed) Qsed= Qinid * 0,05

TDH= (Tdhinid- Tdhsed) Qsed= 287*0,05= 14

Hsed= 5 N=75% =0,75

$$P = \frac{(287 \text{ m}^3 / \text{seg} - 14,35 \text{ m}^3 / \text{seg}) (620 - 5) (1000)}{0.75}$$

$$P = 223573000 \text{ Kg} / \text{seg}$$

Variación con sedimento diariamente

Tabla 32. Variación con sedimentos diariamente

VARIACION CON SEDIMENTOS DIARIAMENTE/ ECONOMICO		
SEDIMENTO	POTENCIA (KW)	ΔP

5	223573	0
10	217892	5681
15	212274	11299
20	206072	17501

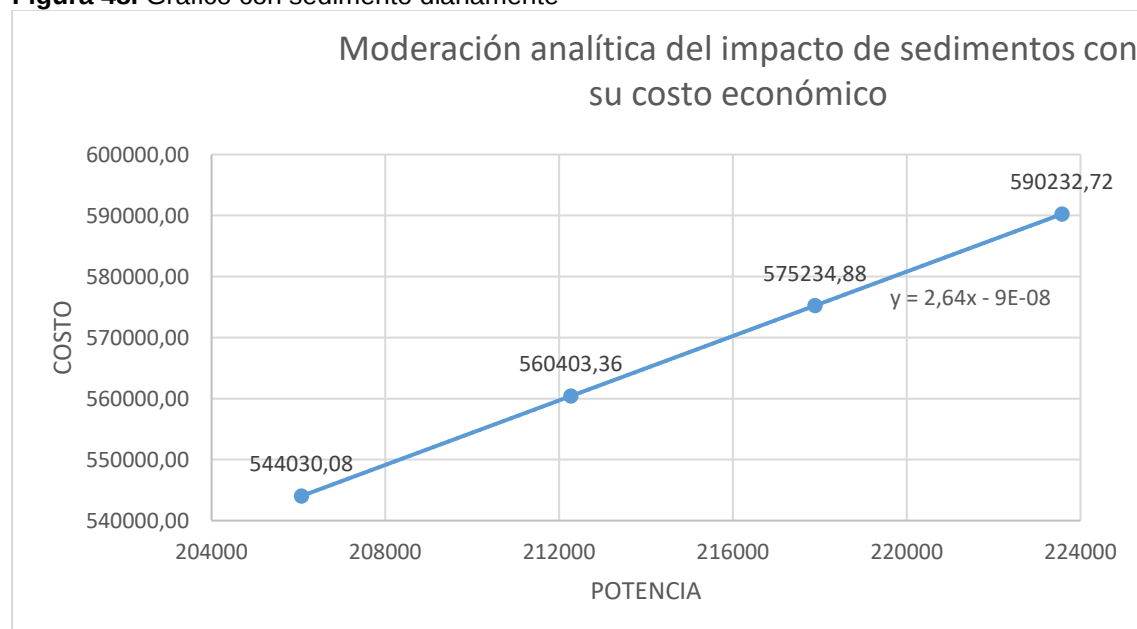
Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 33. Variación con sedimentos (kw/usd)

IMPACTO ECONOMICO CON SEDIMENTOS		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
223573	590232,72	0
217892	575234,88	14997,84
212274	560403,36	29829,36
206072	544030,08	46202,64

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 48. Gráfico con sedimento diariamente



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Variación con sedimento mensual

Tabla 34. Variación con sedimento mensual

CON SEDIMENTOS MENSUALMENTE/ ECONOMICO				
SEDIMENTO	POTENCIA (KW)	ΔP	COSTO (USD)	
5	223573	0	17706981,60	
10	217892	5681	17257046,40	
15	212274	11299	16812100,80	
20	206072	17501	16320902,40	

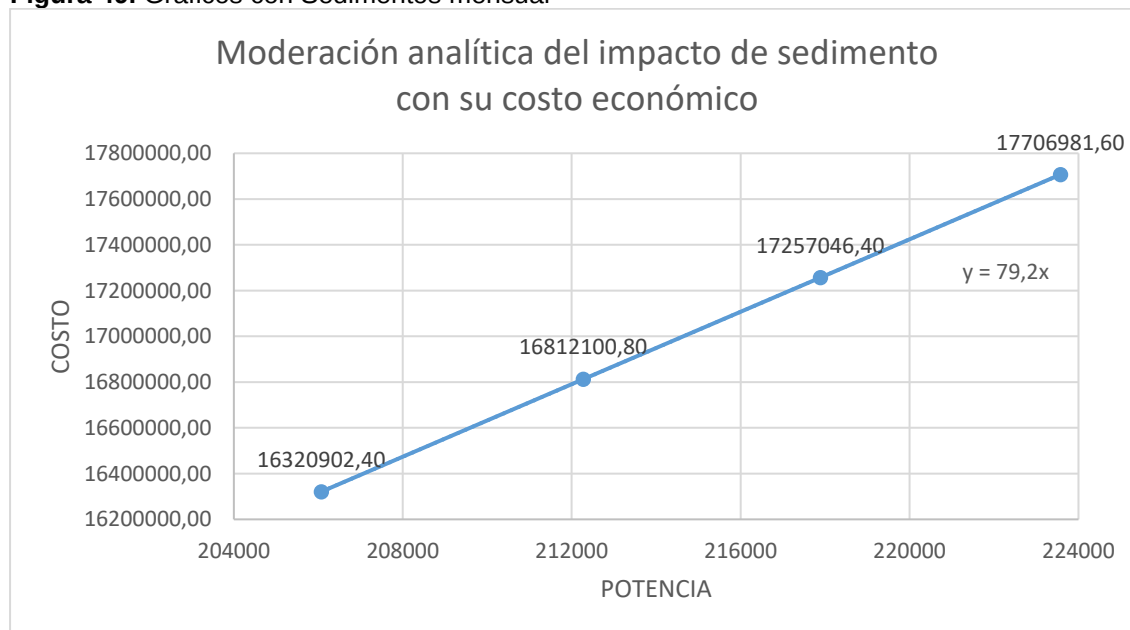
Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 35. Variación con sedimento (kw/usd)

IMPACTO ECONOMICO CON SEDIMENTOS		
POTENCIA (KW)	COSTO (USD)	ΔCOSTO
223573	17706981,60	0
217892	17257046,40	449935,2
212274	16812100,80	894880,8
206072	16320902,40	1386079,2

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Figura 49. Gráficos con Sedimentos mensual



Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Al cuantificar el impacto que se espera mediante esta propuesta en el aumento de producción de energía, reduciendo costos operativos y mejorando la calidad de la electricidad, así mismo analizar todos los beneficios de la propuesta ayuda a disminuir emisiones de gases en invernadero y la conservación de la hidroeléctrica. Mediante este cronograma se da a conocer las actividades que se requieren en toda la central y en cada una de sus áreas, delegando responsabilidades en los plazos establecidos.

La hidroeléctrica Coca Codo Sinclair presenta varios impactos ambientales de manera positiva: Un menor impacto ambiental comparado con un embalse grande; esto ayuda a evitar inundaciones y pérdidas de biodiversidad en la Amazonía. Por otro lado, generar agua limpia permitirá utilizar agua como combustible, que contribuirá a una energía limpia, reduciendo el combustible fósil y por ende, las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Un caudal óptimo es de 222 m³/s para Coca Codo Sinclair operando a plena capacidad, maximizando los ingresos por generación. Con un caudal bajo de 649.8 m³/s la producción de energía disminuye, lo que podría aumentar los costos unitarios de producción debido a la menor eficiencia. Con un caudal muy alto podría requerir inversiones adicionales en infraestructura para manejar el exceso de agua, lo que aumentaría los costos.

4.3. Estrategias para mejorar la productividad

4.3.1 Impacto en la productividad y, por ende, en el factor económico que deja de ingresar por efecto de un deficiente comportamiento del caudal, carga, sedimento.

4.3.2 Mantenimiento y optimización de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair

Para el mantenimiento preventivo y correctivo se requiere implementar programas de mantenimiento para reducir la necesidad de reparaciones mediante un cronograma constante en la que se asegure la disponibilidad de las unidades generadoras, en la que se minimice el tiempo de inactividad. Por consiguiente, utilizar un sistema de monitoreo continuo que permita detectar cualquier fallo a tiempo, lo que conlleva en la planificación en caso de presentarse, y cómo proceder ante la condición existente.

Al mismo tiempo, se requiere de una revisión y actualización de las maquinarias, su estado de vida útil, ajustando los planes de mantenimiento para evitar riesgos económicos, asegurando la energía a nivel general. Priorizar disponibilidad de repuestos sobre las maquinarias que necesitan cambios necesarios. Por otro lado, capacitar al personal que maneja u opera las máquinas, a su vez manejar la posibilidad a un futuro a invertir en tecnologías avanzadas, para asegurar la eficiencia.

Al Implementar políticas para mejorar la electricidad generada, reduce pérdidas. Sin embargo, es importante que las licitaciones se realicen de manera rápida para evitar que contratiempos en los contratos.

Por último, es conveniente acotar que existe una obra para poder construir un dique permeable, el cual va ayudar con la erosión, cuyo costo es de 17 millones de dólares, que beneficiará a mitigar la erosión regresiva que existe, protegiendo la captación de la central.

Figura 50. Evaluación del Mantenimiento



Fuente: Primicias (2024)

A continuación, se da a conocer un resumen sobre el programa de mantenimiento preventivo para minimizar los tiempos de inactividad por parte de hidroeléctrica, así como verificar que las turbinas operen con el rendimiento establecido.

Tabla 36. Programa de Mantenimiento Preventivo

Actividad a desarrollar en el mantenimiento		Frecuencia	Objetivo		Herramientas / técnicas
Inspección presencial (visualmente)		Mensual	Identificar fallas existentes	las	Cámaras termográficas
Lubricación de Cojinetes		Trimestral	Reducir desgaste, lubricación.	el	Lubricantes de calidad, sistema

			de lubricación automática.
Análisis de aceites	Bimestral	Detectar la contaminación y el desgaste prematuro.	Mediante el software especializado ver el equipo de análisis de los aceites.
Pruebas del funcionamiento	Semestral	Verificar el rendimiento de cada una de las turbinas.	Equipos que miden el flujo y presión a través del software que monitorea.
Mantenimiento centrado (RCM)	Anualmente	Identificar y priorizar estados o componentes críticos.	Análisis FMEA, con software en mantenimiento.
Capacitación del personal	Trimestral	Mejorar los conocimientos del personal.	Cursos, talleres de simulaciones dentro del entrenamiento.
Monitoreo Remoto	Continuo/ diario	Detectar problemas en tiempo real.	Sensores y sistema de monitoreo, a través del análisis predictivo.
Revisión de los sistemas de control	Semestral	Asegurar la precisión eficiencia en los sistemas.	Equipos de diagnóstico especializados, actualización de los softwares.
Planificación de repuestos	Anual	Garantizar la disponibilidad de	Software del inventario,

	los repuestos a análisis del tiempo.	consumo periódico de los repuestos.
--	--------------------------------------	-------------------------------------

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Esta tabla es un resumen específico de los programas de mantenimientos preventivos que se establecerían en la central para minimizar el tiempo de inactividad de la hidroeléctrica, con la finalidad de mejorar y asegurar que el rendimiento de energético no se deteriore, provocando escasez energética.

4.4. Evaluación Económica

Análisis de los costos y beneficios de la inversión

Para poder dar a conocer los costos y beneficios de la inversión de la hidroeléctrica, es importante conocer todos los presupuestos e incluir la mano de obra. A continuación, se detallará la estructura abarcando los principales rubros, sin comprometer la calidad del proyecto y, por ende, la energía producida.

Tabla 37. Costos de Construcción

Descripción	Costo estimado	Costo reducido	Detalle
Obras Civiles	\$511.39 millones	\$450 millones	Mediante la optimización de los materiales y con mano de obra local.
Equipamiento Electromecánico	\$260.40 millones	\$230 millones	Negociando los precios con los proveedores
	\$77.18 millones		
Administración e Ingeniería	138.05 millones	\$65 millones	A través de la implementación de los procesos eficientes.
Imprevistos		\$120 millones	Mediante la planificación y las gestiones de riesgos.

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 38. Costos de mano de Obra

Descripción	Costo estimado	Detalle
Costo de mano de obra directa	\$150 millones	Utilización de mano de obra local y capacitada.
Costo de mano de obra indirecta	\$30 millones	En los procesos administrativos, optimizarlos al máximo.

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 39. Otros Costos

Descripción	Costo estimado	Detalle
Fiscalización y supervisión	\$15 millones	Utilización de mano de obra local y capacitada.
Costos ambientales y sociales	\$50 millones	

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Beneficios del ahorro Económico de la productividad

Tabla 40. Beneficios del proyecto

Generación de Energía	
Capacidad Instalada	1500 MW
Producción estimada Anual	8700 GWh
Ahorros y Ventajas Económicas	
Importación de combustible	\$450 millones anuales
Reducción de emisiones CO2	4.7 Millones de toneladas anuales
Impacto Social	
Empleo Generado	7,739 puestos de trabajos para la construcción

Mejoramiento en Infraestructura	20,000 habitantes en áreas cercanas
Ingresos por Exportación	
Exportación de energía a otros países	Varía dependiendo a la capacidad que soliciten.

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Tabla 41. Beneficios del ahorro económico

Rubro	Descripción
Ahorro en combustible	\$450 millones anualmente
Reducción de CO2	\$4.7 millones de toneladas anuales
Generación de empleo	7,739 puestos de trabajo directos
Infraestructura mejorada	20,000 habitantes beneficiados
Exportación	30 millones de energía costo adicional

Elaborado por: Cacao & Coloma (2024)

Considerando todas aquellas estrategias expuestas anteriormente, se puede estimar un aumento en la eficiencia, permitiendo obtener un ahorro adicional del 5% hasta el 10% en los costos operativos actuales. Por otro lado, aumentando la producción del 5% en energía, generando un ingreso significativo de 8,734 GWh a 9,171 GWh a un costo de \$0.08 por kWh, dando un aumento en dólares de \$35.4 millones anualmente.

CONCLUSIONES

Es importante realizar un análisis de todos estos factores que atribuyen a la afectación de la productividad en la central de Coca Codo Sinclair porque nos ayuda a minimizar el impacto económico que se generaría frente a una escasez energética.

El desempeño de la productividad de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair se ve afectado por varios factores técnicos, ambientales, sociales. Es importante llevar a cabo evaluaciones periódicas de monitoreo y control de todos los factores ambientales que afectan la sedimentación y el caudal para poder optimizar su rendimiento.

Una de las estrategias para mejorar su eficiencia se debe contar con un mantenimiento estricto en las fechas y tiempos adecuados; más bien deben ser preventivos, asegurando las operaciones diarias a través de una eficiente gestión hacia la hidroeléctrica, evitando problemas a futuro.

RECOMENDACIONES

Organizar una planificación semestral para el correcto mantenimiento de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, en el cual se permita verificar el estado de las máquinas y el correcto uso de las mismas; a su vez, realizar la inspección sobre las condiciones climáticas para evitar la escasez del agua con la finalidad de tomar las medidas a tiempo para corregir esos errores técnicos que se generarían a futuro.

Proponer medidas adicionales en las que se pueda diversificar las fuentes de energía y el uso eficiente de las mismas. Simultáneamente, las líneas de investigación para profundizar el análisis de todos estos factores que afectan la productividad de Coca Codo Sinclair.

Implementar un monitoreo continuo para identificar problemas técnicos a tiempo, garantizando el funcionamiento en equipos e infraestructura para el cumplimiento de la productividad exacta de energía.

Brindar capacitaciones constantes para el personal que opera y realiza el monitoreo continuo, asegurando que tengan los conocimientos necesarios para cumplir con sus responsabilidades en cada área asignada.

Optimizar estrategias para la gestión del agua con el fin de considerar los factores de variabilidad con el caudal del río Coca.

Implementar planes de contingencia para la erosión del río Coca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FlowGuard Mx . (12 de Enero de 2024). *FlowGuard*. <https://www.flowguard.com/blog-sp/importancia-diametro-interno-en-la-tuberia-de-agua-potable>
- Chp, I. (9 de Noviembre de 2013). *Scribd*. <https://es.scribd.com/doc/182771657/Potencia-de-una-central-hidroelectrica>
- Contraloría General del Estado. (2020). *Fallas en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón dificultan su puesta en marcha*. <https://www.contraloria.gob.ec/SalaDePrensa/NoticiasPorSectores/23961#:~:text=El%20examen%20especial%2C%20aprobado%20en,altos%20vol%C3%BAmenes%20de%20agua%20filtrada>.
- Coronel , C. (2023). Las variables y su operacionalización. *Scielo*, 27, 8. <http://scielo.sld.cu/pdf/amc/v27/1025-0255-amc-27-e8775.pdf>
- Corporación Eléctrica del Ecuador . (2019). *Celec ep*. <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/historia/>
- Corporación Eléctrica del Ecuador. (2023). *CELEC EP*. <https://www.celec.gob.ec/cocacodo/informacion-tecnica/central-hidroelectrica-coca-codo-sinclair/>
- De la Fuente, Fernandez, S. (2011). Análisis Factorial. 34. <https://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/MULTIVARIANTE/FACTORIAL/analisis-factorial.pdf>
- El comercio. (30 de Septiembre de 2021). *El comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/celec-hidroelectrica-sinohydro-fiscalizacion-asambea.html>
- Enciclopedia de energía*. (s.f.). https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Presi%C3%B3n

- Enel Green Power. (s.f.). *Enel Green Power*.
<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>
- International Hydropower Association . (2022). *International Hydropower Association*.
<https://www.hydropower.org/iha/discover-history-of-hydropower>
- IRENA. (2022). *International Renewable Energy Agency*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf
- Krippendorff, K. (1980). Metodología de análisis de contenido. En *Metodología de análisis de contenido* (p. 28). Paidós.
- Las primicias. (4 de Febrero de 2021). *Las primicias*.
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/celec-estudios-captacion-coca-codo/>
- Manzano, M. (2022). *Situación actual del sector eléctrico ecuatoriano y sus desafíos [Tesis de posgrado. Universidad Andina Simón Bolívar]*.
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/9043/1/T3958-MRI-Manzano-Situacion.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Ecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables*. <https://www.rekursyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). *CENTRAL HIDROELÉCTRICA “COCA CODO SINCLAIR”*. <https://www.rekursyenergia.gob.ec/central-hidroelectrica-coca-codo-sinclair/#:~:text=La%20Central%20Hidroel%C3%A9ctrica%20Coca%20Codo,2016%2C%20ha%20aportado%20al%20S.N.I.>
- Mosquera, A. (11 de 2018). *La Fuente*. <https://periodismodeinvestigacion.com/wp-content/uploads/2018/11/PPT-ALECSEY-LF.pdf>

- Naranjo, S. (2024). Una perspectiva del desarrollo hidroeléctrico en Ecuador: pasado, presente y futuro. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 39(1), 63-77. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476077146005/html/>
- Ondarse Alvarez , D. (5 de Febrero de 2025). *Enciclopedia. Concepto* . <https://concepto.de/materiales/>
- Orozco, M. (9 de Mayo de 2024). *Primicias*. Primicias: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/coca-codo-sinclair-sedimentos-cortes-luz/>
- Parra, R. (2020). *Aporte de fuentes no renovables para limitar el factor de emisión de CO2 eléctrico en Ecuador*. https://www.researchgate.net/publication/340437035_CONTRIBUTION_OF_NON-RENEWABLE_SOURCES_FOR_LIMITING_THE_ELECTRICAL_CO2_EMIS_SION_FACTOR_IN_ECUADOR
- Perez Porto, J., y Gardey, A. (9 de Agosto de 2021). *Definición*. <https://definicion.de/dimension/>
- Primicias. (2023). *Coca Codo Sinclair: llena de fallas y en la mira de la Fiscalía*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/fisuras-coca-codo-sinclair-irreparables-ecuador/#:~:text=La%20central%20de%20captaci%C3%B3n%2C%20cuyo,r%C3%ADo%20desde%20febrero%20de%202020>.
- Ramírez, O., y Crespin, S. (2023). *Implementación de un sistema de energía limpia para la mejora de vivienda en zona rural [Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana]*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24710/1/UPS-GT004278.pdf>
- Redacción Primicias. (3 de Octubre de 2023). *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-rationamientos-energia-electrica/>

Repsol. (7 de Abril de 2024). *Repsol Global*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/central-hidraulica/index.cshtml>

Repsol Global . (s.f.). *Repsol Global*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-hidraulica/index.cshtml>

Rhoton, S. (16 de Noviembre de 2023). *Significados, Equipo* . <https://www.significados.com/velocidad/>

Sinclair, J. (1 de Abril de 2017). *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/josephhsinclair-geologo-amazonia-ecuador-historia.html>

Sinohydro. (2024). *Sinoydro*. <https://sinohydroecuador.com/el-mantenimiento-en-coca-codo-sinclair-termino-sin-novedades/>

Tapia, E. (20 de Septiembre de 2024). *¿Qué está pasando con Coca Codo Sinclair, la mayor hidroeléctrica de Ecuador, en medio de los cortes de luz?* Primicias: <https://www.primicias.ec/economia/coca-codo-sinclair-hidroelectrica-baja-generacion-cortes-luz-78949/>

Vlaby *Future scientist*. (20 de Septiembre de 2023). <https://vlaby.com/en/details/207/Beziehung%20zwischen%20Lageenergie%20und%20H%C3%B6he>

Zambrano Romero , W. J. (2023). Sistema de producción de energía hidroeléctrica mediante una rueda hidráulica. *Dialnet*, 8(3), 24. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i3>

ANEXOS

Anexo 1 Formato de la encuesta

Factores Ambientales

1. ¿Considera que las condiciones climáticas, como lluvias intensas o sequías, afectan significativamente las operaciones de la central?
☐ Totalmente en desacuerdo
☐ En desacuerdo
☐ Neutral
☐ De acuerdo
☐ Totalmente de acuerdo

2. ¿El fenómeno de la erosión y sedimentación cerca del río Coca ha generado problemas importantes para la infraestructura de la central?
☐ Totalmente en desacuerdo
☐ En desacuerdo
☐ Neutral
☐ De acuerdo
☐ Totalmente de acuerdo

3. ¿Qué impacto ambiental considera más problemático para la central hidroeléctrica?
☐ Cambios climáticos extremos que dificultan la operación
☐ Incremento en los sedimentos que afectan la calidad del agua
☐ Erosión progresiva que compromete estructuras
☐ Deficiencias en la gestión de residuos generados en la central

Factores Tecnológicos

4. ¿Cree que los equipos tecnológicos utilizados en la central son modernos y adecuados para las operaciones?
☐ Totalmente en desacuerdo
☐ En desacuerdo
☐ Neutral
☐ De acuerdo

☐ Totalmente de acuerdo

5. ¿Los sistemas de monitoreo y control (SCADA) son eficientes para detectar y prevenir fallos operativos?

☐ Totalmente en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Neutral

☐ De acuerdo

☐ Totalmente de acuerdo

6. ¿Qué área tecnológica necesita mayor inversión en la central?

☐ Actualización de las turbinas y generadores principales

☐ Mejora en los sistemas de comunicación y seguridad interna

☐ Implementación de herramientas de análisis predictivo de fallos

☐ Incremento en la capacidad de monitoreo remoto y automatización

Factores Operativos

7. ¿Considera que el personal recibe capacitación suficiente para optimizar las operaciones de la central?

☐ Totalmente en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Neutral

☐ De acuerdo

☐ Totalmente de acuerdo

8. ¿La comunicación entre los equipos de trabajo es efectiva para resolver problemas operativos?

☐ Totalmente en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Neutral

☐ De acuerdo

☐ Totalmente de acuerdo

9. ¿Cuál considera que es el mayor desafío operativo en la central?

- ☐ Falta de personal capacitado para roles críticos
- ☐ Procesos de mantenimiento insuficientes o poco frecuentes
- ☐ Limitaciones en los procedimientos para manejar emergencias
- ☐ Problemas relacionados con el desgaste de la infraestructura existente

Productividad

10. ¿La central logra cumplir consistentemente con los objetivos de generación de energía establecidos?
- ☐ Totalmente en desacuerdo
 - ☐ En desacuerdo
 - ☐ Neutral
 - ☐ De acuerdo
 - ☐ Totalmente de acuerdo
11. ¿Los recursos disponibles (humanos, tecnológicos y materiales) son suficientes para mantener un alto nivel de productividad?
- ☐ Totalmente en desacuerdo
 - ☐ En desacuerdo
 - ☐ Neutral
 - ☐ De acuerdo
 - ☐ Totalmente de acuerdo
12. ¿Qué medida considera más relevante para mejorar la productividad de la central?
- ☐ Introducir tecnología avanzada en el proceso de generación de energía
 - ☐ Aumentar la frecuencia y calidad de las capacitaciones del personal
 - ☐ Incrementar la inversión en mantenimiento preventivo y correctivo
 - ☐ Establecer sistemas de incentivos y evaluaciones de desempeño más efectivos