

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

**Parametrización en la generación de energía eléctrica de la
Central Hidroeléctrica Pucará**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Electricidad
mención sistemas eléctricos de potencia

Autores

Galo Mauricio Mayorga Bacca
Angela Pamela Yallico Tapia

Tutor

Ing. Víctor Hugo Hidalgo Díaz, DSc.

**LATACUNGA –ECUADOR
2022**

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**Parametrización en la generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará**” presentado por **Mayorga Bacca Galo Mauricio** y **Yallico Tapia Angela Pamela**, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, Noviembre, 25, 2022



.....
Ing. Víctor Hugo Hidalgo Díaz, DSc.
CC.:171547675-8

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “**Parametrización en la generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará**”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, Noviembre, 25, 2022.

.....
MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado
CC: 0502656424
Presidente del tribunal

.....
MSc. Quinatoa Caiza Carlos Iván
CC: 0503287864
Lector 2

.....
MSc. Porras Reyes Jefferson Alberto
CC: 0704400449
Lector 3

DEDICATORIA

A mi amada esposa por brindarme siempre su amor respeto y aliento incondicional; a mi pequeña e inocente hija por llegar a ser esa motivación de superación día a día; a mis abuelos y padres por todo el apoyo, confianza y esfuerzo que pusieron para lograr concluir un objetivo más.

Mauro

AGRADECIMIENTO

A Dios por dejarme ser parte de esta hermosa travesía que se llama vida; de una manera muy especial a mi esposa e hija por darme la mejor experiencia de vida familiar; y a todo mi círculo familiar que sin el apoyo en su momento de cada uno de ellos no podría estar logrando este nuevo objetivo.

Mauricio Mayorga

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho amor a la
razón de mi vida, mis hijos.

Pame

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme disfrutar el día a día, a mis padres por su apoyo incondicional y a mi familia por su paciencia y comprensión.

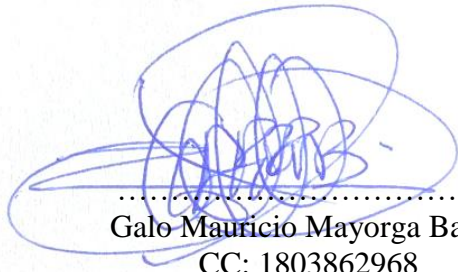
De manera especial mucha gratitud a las personas que apoyaron directa e indirectamente para el desarrollo de este trabajo investigativo.

Pamela Yallico

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, Noviembre, 25, 2022



.....
Galo Mauricio Mayorga Bacca
CC: 1803862968



.....
Angela Pamela Yallico Tapia
CC: 0201330024

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, Noviembre, 25, 2022



.....
Galo Mauricio Mayorga Bacca
CC: 1803862968



.....
Angela Pamela Yallico Tapia
CC: 0201330024

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“Parametrización en la generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará”** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, Noviembre, 25, 2022



.....
MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado
CC: 0502656424
Presidente del tribunal

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Título: Parametrización en la generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará

Autor: Galo Mauricio Mayorga Bacca
Angela Pamela Yallico Tapia

Tutor: Víctor Hugo Hidalgo Díaz, DSc.

RESUMEN

La Central Hidroeléctrica Pucará está compuesta por dos grupos de Turbina-Generador-Transformador de 40MVA cada uno. Por lo expuesto, el trabajo investigativo se efectúa teniendo en cuenta que se desconoce el comportamiento de los generadores y su utilización empírica basada en configuraciones de fábrica. El objetivo del proyecto es realizar un análisis de parámetros de la etapa de generación mediante la comparación de datos históricos en el periodo 2015 al 2020. La investigación utiliza métodos investigativo y deductivo mediante un análisis comparativo de parámetros con los que se determina cuáles intervienen en la generación eléctrica utilizando la información recopilada in situ, que corresponde a la operación de la central durante el período comprendido desde el año 2015 hasta el año 2020. Este análisis establece la importancia de los parámetros específicos que influyen en la etapa de generación como son: el caudal, potencia activa, potencia reactiva, corriente del estator y apertura de los inyectores. Con la determinación de los parámetros, se analiza el funcionamiento de la etapa de generación comparando el comportamiento de cada parámetro producidos en la central durante el tiempo analizado, con los valores nominales que caracterizan la Central Hidroeléctrica Pucará desde el año de implementación de la misma. Mediante el análisis de los parámetros de importancia en la etapa de generación se pudo verificar el funcionamiento de las dos unidades de generación y determinar la eficiencia real de 51,30 % la Central Hidroeléctrica Pucará en el período 2015 a 2020.

PALABRAS CLAVE: Generador; caudal; potencia activa; potencia reactiva; corriente; apertura inyectores; eficiencia.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Topic: "PARAMETERIZATION IN THE ELECTRICAL ENERGY GENERATION OF PUCARÁ HYDROELECTRIC POWER STATION"

Author: Mayorga Bacca Galo Mauricio
Yallico Tapia Angela Pamela

Tutor: Víctor Hugo Hidalgo Díaz, DSc.

ABSTRACT

The Pucará Hydroelectric Power Station is made up by 40MVA Turbine-Generator-Transformer two groups each. For these reasons, the research work is made taking into account, what it is unknown the generators behavior and their empirical use based on factory configurations. The project aim is to make a generation stage parameters analysis, through comparing historical data in the 2015 to 2020 period. The research uses research and deductive methods, by comparative parameters analysis, which it is determined that intervene in the electricity generation by using the collected information in situ, which corresponds to the plant operation, during the period from 2015 to 2020. This analysis establishes the specific parameters importance, what influence the generation stage, such as: flow, active power, reactive power, stator current and injectors opening. With the parameters determination, it is analyzed the generation stage operation, by comparing the behavior each produced parameter in the power plant, during the analyzed time, with the nominal values, what characterize the Pucará Hydroelectric Power Plant, since the implementation year, same. Through the important parameters analysis in the generation stage, it could verify the two generation units operation and determine the 51.30% real efficiency from Pucará Hydroelectric Power Station in the period 2015 to 2020.

KEYWORDS: Generator; caudal; active power; reactive power; current; injector opening; efficiency.

Yo, Beltrán Semblantes Marco Paúl con cédula de identidad número: 0502666514 Magister en Lingüística Aplicada a la Enseñanza del idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT: 1020-2021-2354162; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "PARAMETRIZACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PUCARÁ" de: **Mayorga Bacca Galo Mauricio** y **Yallico Tapia Angela Pamela**, aspirantes a Magíster en Electricidad. Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Atentamente,



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC: 0502666514



Latacunga, Noviembre del 2022.

CENTRO
DE IDIOMAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Planteamiento del problema.....	1
Formulación del problema	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.....	3
Justificación.....	3
Hipótesis.....	4
CAPÍTULO I.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA- METODOLÓGICA	5
1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte..	5
1.2 Fundamentación Teórica	6
1.2.1 Generación Hidroeléctrica en el Ecuador	6
1.2.2 Funcionamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas	7
1.2.3 Parámetros Hídricos.....	8
1.2.4 Parámetros Mecánicos	9
1.2.5 Parámetros Eléctricos	10
1.2.6 Parámetros de Control	12
1.2.7 Parámetros de Eficiencia	12
1.3 Fundamentación metodológica.....	13
CAPÍTULO II	15
PROPUESTA.....	15
2.1 Título del proyecto.	15
2.2 Objetivo del proyecto.	15

2.3	Descripción de la propuesta.....	15
2.4	Pérdidas Mecánicas y Eléctricas	17
2.4.1	Pérdidas mecánicas	17
2.4.2	Pérdidas eléctricas.....	20
2.5	Potencias Activa, Reactiva y Aparente	23
2.5.1	Triángulo de Potencia	24
2.6	Curva de capacidad	25
2.7	Metodología.....	26
2.8	Identificación de variables que intervienen en la etapa de generación. .	28
2.9	Tipo de programación aplicada	28
2.10	Conclusiones Capítulo II	28
CAPÍTULO III		30
VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA		30
3.1	Análisis de los resultados	30
3.2	Resultados obtenidos	30
3.2.1	Caudal	30
3.2.2	Potencia Activa y Reactiva	31
3.2.3	Corriente del estator.....	35
3.2.4	Apertura Inyectores.....	37
3.3	Validación técnica	39
3.4	Evaluación de impactos o resultados.....	41
3.5	Conclusiones del III capítulo.....	42
CONCLUSIONES		44
RECOMENDACIONES		45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		46
ANEXOS		49

ANEXO 1.....	49
ANEXO 2.....	55
ANEXO 3.....	63
ANEXO 4.....	64
ANEXO 5.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Rodete Pelton.....	10
Fig. 2 Generador eléctrico.....	11
Fig. 3 Generador sincrónico con rotor de polos salientes.....	11
Fig. 4 Representación esquemática de tuberías y turbinas	20
Fig. 5 Diagrama de Flujo de Potencia de un Generador CA [23].....	22
Fig. 6 Triángulo de Potencia.....	24
Fig. 7 Curva Capacidad Central Hidroeléctrica Pucará.....	26
Fig. 8 Diagrama de la metodología aplicada	27
Fig. 9 Caudal Año 2015 – 2020.....	31
Fig. 10 Potencia Activa Unidad Generación 1.....	32
Fig. 11 Potencia Reactiva Unidad Generación 1	33
Fig. 12 Potencia Activa Unidad Generación 2.....	34
Fig. 13 Potencia Reactiva Unidad Generación 2	35
Fig. 14 Corriente VS Temperatura Estator del Generador 1	36
Fig. 15 Corriente VS Temperatura Estator del Generador 2	37
Fig. 16 Diagrama Unidad de Generación	38
Fig. 17 Apertura de inyectores.....	39
Fig. 18 Lazo de control del regulador de velocidad.....	40
Fig. 19 Lazo de control del sistema de excitación	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas.....	3
Tabla 2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas [21]	13
Tabla 3. Datos de la Central Hidroeléctrica Pucará	16
Tabla 4. Cuadro técnico de ingreso a Embalse Pisayambo.....	17
Tabla 5. Cuadro técnico Embalse Pisayambo	18
Tabla 6. Especificaciones técnicas de los generadores Central Hidroeléctrica Pucará.....	21
Tabla 7. Eficiencia Generador 1.....	33
Tabla 8. Eficiencia generador 2.....	35
Tabla 9. Temperatura VS Corriente Estator Generador 1	36
Tabla 10. Temperatura VS Corriente Estator Generador 2.....	37
Tabla 11. Costo energía generada	41
Tabla 12. Costo energía no generada en UG 1.....	42
Tabla 13. Costo energía no generada en UG 2.....	42

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El presente proyecto de investigación, se desenvuelve en el área de conocimiento Electricidad y Energías Renovables; anclado bajo la línea de investigación de la Maestría en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental, bajo la sublínea de: Conversión y uso racional de la energía eléctrica. El desarrollo de este trabajo es de gran importancia para el crecimiento del sector hidroeléctrico nacional debido a la obtención de parámetros incidentes en el funcionamiento óptimo de la Central Hidroeléctrica Pucará.

El proyecto hidroeléctrico fue concebido para aprovechar una zona lacustre, localizada en la Cordillera Oriental de los Andes, aproximadamente a 35 km del cantón Pillaro Provincia de Tungurahua, la extensión global de la zona de influencia del proyecto es de 250 km². La laguna de Pisayambo constituye el embalse de la central, y se encuentra a una altitud de 3.537 m.s.n.m. con una extensión de 8 km² y a una distancia aproximadamente de 160 km al sureste de Quito [1].

Planteamiento del problema

En Ecuador se conoce que el 98.03% de energía renovable de generación es hidráulica [2], pero se desconoce el comportamiento de cada uno de los generadores de la central hidroeléctrica lo que provoca una utilización empírica de la maquinaria instalada en dichas centrales, debido a que el gobierno está más enfocado en el rédito económico [3] que en el rendimiento eficaz de las centrales hidroeléctricas [4].

El principal inconveniente al realizar sustitución de equipamiento en las Centrales Hidroeléctricas es que se debe adquirir o fabricar bajo las mismas características físicas y técnicas para poder mantener las calibraciones control, dejando al descubierto una infinidad de posibilidades de fallo, debido a la inexistencia de un análisis de parámetros para optimización del funcionamiento de las mismas [5].

Los sistemas de control [6] mantienen las configuraciones de fábrica o valores predeterminados rudimentariamente que generan desactualización en el reemplazo de componentes y eficiencia energética. En la Central Hidroeléctrica Pucará no existe un estudio para conocer el comportamiento del generador eléctrico mediante un análisis de parámetros. En la Central Hidroeléctrica Pucará no existe un estudio para conocer el comportamiento del generador eléctrico mediante un análisis de parámetros.

Formulación del problema

¿El parametrizar las variables de mayor influencia en la etapa de generación permite conocer la eficiencia del comportamiento de la etapa de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará?

Objetivo General

Parametrizar la etapa de generación mediante la comparación de datos históricos para determinar la eficiencia de la Central Hidroeléctrica Pucará en el periodo 2015 - 2020.

Objetivos Específicos

- Recabar información bibliográfica en libros y publicaciones acerca de las características de pequeñas centrales hidroeléctricas.
- Recopilar la información de la operación de la Central Hidroeléctrica Pucará correspondiente al periodo 2015 – 2020 para identificar las variables que intervienen en la generación de energía eléctrica.
- Analizar los parámetros de mayor importancia mediante la comparación de datos recopilados in situ con datos nominales de la Central Hidroeléctrica Pucará.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos

Las actividades planteadas de acuerdo a los objetivos específicos en relación del objetivo general son las siguientes:

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Objetivos específicos	Actividades	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Recabar información bibliográfica en libros y publicaciones acerca de las características de pequeñas centrales hidroeléctricas.	-Análisis de información bibliográfica sobre parametrización. -Análisis de información sobre PCH	Información del estado del arte de casos de estudio similares.	Revisión bibliográfica del estado del arte.
Recopilar la información de la operación de la Central Hidroeléctrica Pucará correspondiente al periodo 2015 – 2020 para identificar las variables que intervienen en la generación de energía eléctrica.	-Recopilación información de datos históricos de la CHP. -Selección de datos de operación para procesar.	Histórico de datos de operación de los generadores de la Central Hidroeléctrica Pucará.	Conocimiento del funcionamiento de la operación de los generadores.
Analizar los parámetros de mayor importancia mediante la comparación de datos recopilados in situ con datos nominales de la Central Hidroeléctrica Pucará.	-Representación gráfica de los datos de operación de la CHP -Determinación y comparación de parámetros que intervienen en la generación hidroeléctrica.	Eficiencia real de cada generador de la Central Hidroeléctrica Pucará en el periodo 2015-2020.	Interpretación de los resultados

Justificación

La presente investigación se realizará para entender el funcionamiento de la generación eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará con respecto a la variación de condiciones de operación y parámetros [7]. El aporte principal que generará la investigación será proponer un modelo de mejora mediante la determinación de variables que influyen en el proceso de generación eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará. Además, contribuirá a perfeccionar el sistema eléctrico, evitando adquisiciones de maquinaria con características estándares de funcionamiento y produciendo una fácil migración a

sistemas más eficientes. El conocimiento adquirido a partir del análisis de parámetros será útil para determinar los rangos de valores eficaces a los cuales funciona adecuadamente el generador eléctrico de la Central Hidroeléctrica Pucará.

La investigación mediante parámetros beneficiará a la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, Unidad de Negocio Hidro Agoyán de la etapa de producción de la Central Hidroeléctrica Pucará en el cambio de la manera empírica de utilización técnica de la maquinaria.

La metodología que se pretende utilizar está basada en análisis de parámetros [8] que permitirán entender el fenómeno de una manera práctica y conocer a profundidad su desempeño y eficiencia [9].

Hipótesis

¿Conocer las variables de mayor influencia permitirá determinar la eficiencia del comportamiento de la etapa de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará en el periodo 2015-2020?

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA- METODOLÓGICA

1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

En el desarrollo de una investigación paramétrica es necesario tener conocimientos sólidos sobre parámetros que contribuyan al desarrollo de la investigación, que relacione lo investigado con un caso de estudio y que a la vez se pueda proponer una posible mejora en la generación eléctrica.

La parametrización es muy utilizada a nivel investigativo debido a que con ella se puede realizar investigaciones empíricas y teóricas a partir de la abstracción obteniendo así una metodología para conocer el fenómeno mediante la caracterización de elementos o variables que se puedan medir u observar para su posterior análisis y caracterización [8]. Debido a esta concepción al aplicar un análisis paramétrico e indagando las variables que intervienen en el fenómeno se puede obtener una mejor visión del comportamiento de un modelo siguiendo una metodología acorde al objeto de estudio [10].

Los generadores eléctricos son ampliamente utilizados en la generación trifásica de energía eléctrica y se los puede encontrar en aplicaciones de hidroeléctricas con un extenso funcionamiento y utilidad para la central eléctrica debido al control y monitoreo de sus variables de entrada y salida que es realizado con un proceso

automatizado [11]. Por otra parte, los procesos automatizados solo entregan datos para lo cual es necesario obtener variables paramétricas de generación de energía constante que determinen la interacción entre ellas y no sean cambiadas independientemente [12], debido a que parámetros externos pueden influir en el funcionamiento general del circuito de generación.

El principio de parametrizar, también se puede utilizar en generadores síncronos a partir de los datos de impedancia para lograr una buena aproximación en la protección de corrientes de corto circuito durante fallas de la red eléctrica [13], así como también obtener los operadores de entrada y salida de los residuos del generador con conexiones en cascada que representen lo más cercano posible a las características existentes en el sistema [14], o que al simular los resultados relacionen el rendimiento de entrada y salida con generadores eléctricos [15].

1.2 Fundamentación Teórica

En el presente capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre los parámetros que intervienen en la etapa de generación eléctrica, partiendo de la información del generador de la Central Hidroeléctrica Pucará.

1.2.1 Generación Hidroeléctrica en el Ecuador

El potencial hídrico del Ecuador [16] ha proporcionado alternativas sustentables económicas y sociales en el ámbito de los sistemas de generación hidroeléctrica; que basan su principio de funcionamiento en la conversión de energía mecánica en eléctrica, en la que se emplean máquinas sincrónicas fundamentalmente como generador que producen energía eléctrica [17] y es ampliamente utilizado debido a su bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de energías generadas.

Las centrales hidroeléctricas se clasifican según el tipo de utilización de agua y según la altura del salto de agua y pueden ser:

- Centrales de agua fluyente o centrales de pasada.
- Centrales de embalse o regulación.

- Centrales de almacenamiento por bombeo.

La Central Hidroeléctrica Pucará se caracteriza por pertenecer a la categoría de centrales de pasada que aprovecha el caudal y nivel de la laguna Pisayambo que ingresa a casa de máquinas a través de una toma y tubería de conducción donde el flujo será turbinado, una vez obtenida la energía eléctrica, el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.

1.2.2 Funcionamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas

Hace más de tres décadas se inició el desarrollo de tecnologías aplicables en el campo de las energías renovables, y una de las opciones que más atención ha recibido son las centrales hidroeléctricas, precisamente con la finalidad de abastecer energía eléctrica a bajo costo para la industria y comunidades rurales.

Las energías renovables se caracterizan por su proceso de transformación y aprovechamiento en energía útil de recursos autosustentables, entre estas fuentes está la hidráulica como una opción apropiada para aportar energía al sistema.

La energía hidráulica es una energía renovable, que sustituye a los combustibles de origen fósil y nuclear juntos con sus desechos debido a la operación de sus sistemas principales y auxiliares.

La energía hidráulica, tiene un bajo impacto ambiental ya que el agua como combustible no se consume, no empeora su calidad ni se producen emisiones contaminantes.

La energía eléctrica de una central hidráulica se obtiene aprovechando la energía cinética que adquiere el caudal Q al final de una caída H , la cual es transformada por una turbina en energía mecánica y posteriormente un generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

La potencia hidráulica que puede generar una central hidráulica, viene dada por la siguiente expresión:

$$P_H = 9,8HQ [kW] \quad (1)$$

Donde:

P_H = Potencia hidráulica [kW].

Q = Caudal [m^3/s]

H = Altura [m]

Las centrales hidroeléctricas están muy condicionadas por las características que presente el lugar en donde van a ser construidas; además se clasifican según el tipo de utilización de agua y según la altura.

El salto neto o altura neta es otro parámetro fundamental para el diseño, y esta debe ser la altura máxima permitida por la topografía del terreno, teniendo en cuenta los límites que marca la afección del medio ambiente y la viabilidad económica de la derivación.

El trazado de la conducción de agua, se realiza en función de la mayor eficiencia y seguridad de las obras a menor costo, manteniendo una pendiente longitudinal positiva menor que la del río. Se puede reducir la longitud de la conducción por medio de túneles, acueductos, rellenos u otros tipos de obras [18].

1.2.3 Parámetros Hídricos

Cuando se dispone de información se debe determinar el caudal de diseño con base en la curva de caudales y la curva de frecuencia, según el tipo de proyecto hidroeléctrico. Con la información del caudal máximo y mínimo se prevé la estabilidad de la represa y se ubica la casa de máquinas a una altura que evite su inundación. Además, debe conocerse el volumen de sedimentos que lleva al caudal en suspensión para diseñar el

desarenador, la información histórica recomendada para diseñar una central hidroeléctrica debe ser superior a 10 años aproximadamente.

Caudal medio

El caudal medio es el equivalente al promedio de los caudales medidos durante un lapso de tiempo; puede ser diario, mensual o anual.

Caudal de diseño

Este caudal se considera dependiendo del sistema de embalse y los sistemas de pasada o filo de agua. El caudal seleccionado debe garantizar el funcionamiento de la obra durante la mayor parte del año con la mayor potencia diseñada, asegurando, de esta forma una generación constante que permita la amortización de la planta en un tiempo razonable.

1.2.4 Parámetros Mecánicos

Las turbinas hidráulicas pequeñas están siendo muy utilizadas debido a los bajos costos de producción, pero pierden gran parte del rendimiento necesario para que una planta eléctrica trabaje efectivamente [19], tal aplicación se podría utilizar en lugares lejanos o desabastecidos de la población. Mientras que se están realizando investigaciones sobre la utilización de turbinas de pequeña escala de flujo cruzado que presentan alta eficiencia y simple geometría considerando valores óptimos de diseño mediante análisis de parámetros [20].

Turbinas hidráulicas

Una turbo máquina consta fundamentalmente de una rueda con álabes, rodete, que gira libremente alrededor de un eje cuando pasa un fluido por su interior. La forma de los álabes obliga al flujo a variar su cantidad de movimiento, lo que provoca una fuerza, que al desplazarse en el alabe provoca un trabajo. En sí es una máquina destinada a transformar la energía hidráulica de un salto de agua en energía mecánica.

Turbinas de acción.

Se llaman así cuando la transformación de la energía potencial en energía cinética se produce en los órganos fijos anteriores al rodete (inyectores). En consecuencia, el rodete sólo recibe energía cinética.

A esta clase de turbinas pertenecen las turbinas Pelton, Turgo y Michell-Banki.

Turbina Pelton.

Las turbinas pelton se las conoce como turbinas de presión, porque esta es constante en la zona del rodete, de chorro libre, de impulsión o de admisión parcial.



Fig. 1 Rodete Pelton

1.2.5 Parámetros Eléctricos

El generador sincrónico es el encargado de suministrar energía eléctrica a una carga cuya frecuencia depende de la máquina motriz, la corriente y el factor de potencia, dependen de la excitación del campo, de la impedancia del generador y de la carga.

La corriente de armadura producida por la carga crea un campo magnético que gira a velocidad sincrónica, y este reacciona con el campo magnético que es producido por el devanado de campo al aplicar una corriente continua, produciendo el torque electromecánico que se opone al movimiento de la máquina motriz.

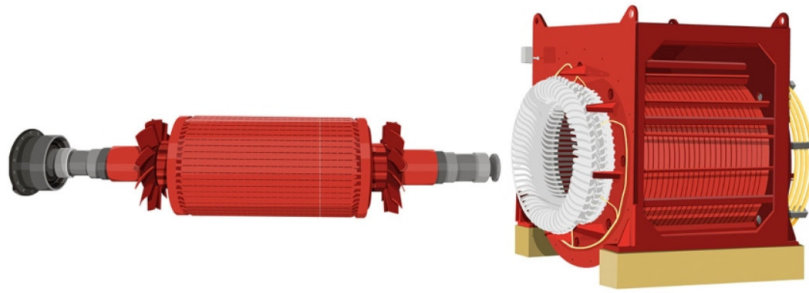


Fig. 2 Generador eléctrico

Generador sincrónico con rotor de polos salientes.

El generador sincrónico de polos salientes se caracteriza por trabajar a bajas velocidades. Se utilizan en centrales hidráulicas.



Fig. 3 Generador sincrónico con rotor de polos salientes

Sistema de excitación.

El devanado de campo del generador sincrónico, se excita mediante la inyección de una corriente continua para producir fuerza magnetomotriz en el rotor. En los devanados de estator circulan corrientes alternas para producir un campo magnético rotatorio que gira en el entrehierro de la máquina con la frecuencia angular de las

corrientes de armadura. De esta forma se obtienen dos campos magnéticos rotatorios que giran a la misma velocidad, uno producido por el rotor y otro por el estator.

Sistema de excitación sin escobillas.

Consiste de una excitatriz de corriente alterna, conectada a un sistema de rectificación rotativo que alimenta con corriente continua al campo principal.

1.2.6 Parámetros de Control

Regulación de voltaje.

La misión de la regulación de voltaje en las centrales eléctricas es: mantener el voltaje terminal del generador dentro de los márgenes de variación permitidos independiente del nivel de carga; regular la potencia reactiva; mantener el sincronismo del generador con la red como se observa en el Anexo 5.

Estabilizador del sistema de potencia (PSS).

La función básica del PSS es añadir amortiguamiento a las oscilaciones del rotor a través del control de excitación. La utilización del PSS permite extender los límites de estabilidad y mejorar la operación de los sistemas eléctricos de potencia.

1.2.7 Parámetros de Eficiencia

La energía hidroeléctrica fue una de las primeras formas usadas para producir electricidad y en la actualidad es la segunda fuente y la forma más generalizada para la obtención de energía eléctrica. Con esta fuente energética se aprovecha la transformación de la energía potencial del agua almacenada en un nivel superior, en energía cinética al fluir a un nivel inferior, para generar trabajo sin causar mayores efectos contaminantes, con un recurso renovable como es el agua. Dentro de sus principales desventajas está la dependencia de niveles de agua dados por condiciones meteorológicas de lluvia y sequía, el alto impacto ecológico en algunos casos y los

altos costos por la necesidad de construcciones de obras civiles como embalses y los estudios previos de factibilidad usualmente efectuados para las grandes centrales.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de embalse así: de agua fluyente, de embalse, de bombeo y mareomotrices. Y según la cantidad de energía hidroeléctrica han sido clasificadas en grandes, medianas y pequeñas centrales [21].

Tabla 2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas [21]

Potencia	Tipo
0,1 - 0,999 MW	Pequeñas centrales PCH
1 - 9,999 MW	Medianas
> 10 MW	Pequeña central

1.3 Fundamentación metodológica

En este apartado se detalla la metodología que se aplicará para la parametrización del generador eléctrico de la Central Hidroeléctrica Pucará, la misma que está acorde al cronograma de actividades establecidas.

Para la recopilación de la información sobre los diferentes parámetros y características del generador eléctrico de la Central Hidroeléctrica Pucará, se utilizó método investigativo como fuentes de carácter documental, consulta de libros, catálogos de fabricantes, artículos o ensayos de revistas y datos históricos.

Para el presente estudio se empleó el método deductivo mediante un análisis comparativo de parámetros, con los que se determina cuales intervienen en la generación eléctrica.

Para la validación del modelo paramétrico desarrollado se utilizó el método experimental, en el cual, se compara la eficiencia de la etapa de generación con datos nominales y reales.

1.4 Conclusiones Capítulo I

- El conjunto de turbina y generador juegan un papel muy importante en el diseño de la planta eléctrica, así como sus sistemas auxiliares, de esta manera, con la finalidad de aprovechar la máxima capacidad de la etapa de generación es necesario conocer la eficiencia actual de la central.
- Se establece un conjunto de parámetros principales para analizarlos de forma deductiva y experimental tales como: caudal, potencia activa, potencia reactiva, corriente y apertura de inyectores.
- Se determina que la Central Hidroeléctrica Pucará está en la categoría de pequeñas centrales por lo tanto los parámetros definidos permitirán realizar un análisis fundamental para la evaluación de la eficiencia de la central.

CAPÍTULO II

PROPUESTA

2.1 Título del proyecto.

Parametrización en la generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará

2.2 Objetivo del proyecto.

Parametrizar la etapa de generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará.

2.3 Descripción de la propuesta.

La Central Hidroeléctrica Pucará está ubicada en el cantón Píllaro, a 3565 m.s.n.m. tiene una potencia instalada de 76 MW y está constituida por dos unidades de generación de 38 MW; a la salida de cada generador se obtiene un voltaje de 13,8 kV, luego pasa por un transformador elevador de 40 MVA de 13,8 kV / 138 kV para así llegar a la subestación Pucará y enlazarse con el Sistema Nacional Interconectado y se evidencia en el Anexo 4.

Los datos generales de la central hidroeléctrica Pucará se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Datos de la Central Hidroeléctrica Pucará

Datos de la Central Hidroeléctrica Pucará		
Ubicación	- Parroquia:	San José de Poaló
	- Cantón:	Píllaro
Fecha de puesta en servicio	- Año	15 de Diciembre de 1977
Niveles de tensión	- Voltaje de generación:	13,8 kV
	- Voltaje servicio auxiliares:	220/110 VCA y 125Vcc.
	- Voltaje S/E Pucará	138 KV
Características Generador	- Polos	14 polos
	- Velocidad	514 rpm
	- Cos Ø	0.95
	- Potencia generación	40 MVA
	- Frecuencia	60 Hz
	- Corriente	1673 A
	- Enfriamiento	Agua

La propuesta planteada es un análisis paramétrico enfocado a la producción de energía eléctrica de la central hidroeléctrica Pucará, en el cual se realizó un análisis cualitativo con resultados para la operación optimizada de la Central Hidroeléctrica Pucará.

Los parámetros favorecen el análisis de las variables existentes en el proceso de generación eléctrica, entre los principales parámetros a analizar se encuentran: el caudal, potencia activa y potencia reactiva, corriente y apertura de los inyectores. Además, el análisis efectuado con las variables que puede representar una mejora para el funcionamiento óptimo de la Central Hidroeléctrica Pucará. Esta propuesta ha sido desarrollada para demostrar que un análisis previo puede garantizar la correcta utilización de los generadores.

Para determinar los parámetros de generación eléctrica se analizaron datos históricos, a partir de los cuales se determinaron los pasos necesarios para lograr las metas planteadas, los cuales fueron:

- Revisión de la información bibliográfica de la etapa de generación.
- Estudio e identificación de variables en la generación eléctrica.
- Representación gráfica de las variables que interfieren en la etapa de generación
- Comparación de parámetros que intervienen en la generación eléctrica.
- Análisis del modelo cualitativo - comparativo con los datos obtenidos en sitio.
- Determinación de posible mejora en la generación eléctrica.

2.4 Pérdidas Mecánicas y Eléctricas

2.4.1 Pérdidas mecánicas

Para la captación y conducción del embalse de la central hidroeléctrica Pucará el caudal del recurso hídrico se toma de los ríos el Roncador, el Milín, el Tambo, Talatag, Quillopaccha y Agualongopungo teniendo un caudal representativo que ingresa al embalse de:

Tabla 4. Cuadro técnico de ingreso a Embalse Pisayambo

Caudales	Enero [m ³ /s]	Julio [m ³ /s]
Caudales con hidrología lluviosa	5.8	13.8
Caudales con hidrología media	5.11	13.6
Caudales con hidrología seca	2.7	9.5

De esta manera se determina que la presa de la central hidroeléctrica Pucará ubicada en pisayambo tiene un volumen total 100 706 000 m³ de los cuales 90 000 000 m³ son de volumen útil.

La presa Pisayambo se encuentra a una altitud de 3565 m.s.n.m. El nivel mínimo de operación es de 3541 m.s.n.m., las características técnicas de la presa Pisayambo se muestran en la tabla xx a continuación:

Tabla 5. Cuadro técnico Embalse Pisayambo

Item	Característica	Unidad
Altura	41.20	[m]
Elevación de Corona	3569.2	[m]
Longitud de Corona	820	[m]
Vertedero (Tipo)	Fijo en abanico	[-]
Capacidad en Vertederos	250	[m ³ /s]

La altura de la entrada de carga se ubica a 3537 m.s.n.m. Consta de dos compuertas rectangulares, una denominada compuerta de servicio, que permite cerrar o abrir el flujo de agua a cada unidad de la central, y otra para el mantenimiento del embalse, cada una con su propio gato hidráulico. Diseñado para caudal 18,6 [m³/s].

Sistema de conducción y casa de máquinas

El conjunto de operación de la central hidroeléctrica Pucará está conformado por:

- Túnel de carga
- Chimenea de equilibrio y cámara de válvulas
- Túnel de carga y tubería de presión
- Casa de máquinas
- Subestación Pucará.
- Grupo electrógeno de emergencia

Túnel de carga

Tiene una longitud de 5475 m con una pendiente del 0,669% con una capacidad de 18.3 [m³/s] con la finalidad de abastecer de caudal suficiente para las dos turbinas pelton que se encuentran en casa de máquinas.

Chimenea de alivio y cámara de válvulas

Entre el túnel de carga y antes de la válvula mariposa de intercepción, dentro del tramo blindado del túnel tenemos la chimenea de equilibrio con una altura de 117.00 m., con un diámetro de 5.00 m blindado y un orificio restringido de 2.40 m. Esta salida en el túnel de carga está diseñada para reducir los golpes de ariete durante la operación de la central hidroeléctrica Pucará.

La válvula mariposa de intercepción entre el túnel de carga y la tubería de presión, tiene un diámetro interior de 2.14 m. se cierra automáticamente al detectar sobre flujo de

agua. Esta válvula está equipada con un sistema de by-pass para llenar y vaciar la tubería de presión antes y después del procedimiento de montaje - desmontaje y mantenimiento de la válvula esférica.

Tubería presión.

La tubería de presión tiene una longitud total de 685.51 m, con tramo inclinado de 541.77 m y una pendiente de 119.18%, con diámetros que varían entre los 2.20 m, en la parte superior y 1.90 m. en la parte inferior. La chapa de acero con que se construyó es de 3/8" en la parte superior y de 13/8" en la parte inferior.

Casa de máquinas.

Longitud de 47.50 m, ancho de 12.00 m y altura de 25.45 m, a la que se ingresa por un túnel de acceso de 234 m de longitud con una pendiente del 9% en donde se albergan las dos unidades de generación eléctrica. Las turbinas son de tipo Pelton de 6 inyectores, de eje vertical, potencia normal de 36.5 MW con un gasto de agua de 9.3 m³/seg.

La Sala de Controles de la Central se encuentra ubicada en la propia Casa de Máquinas. El agua turbinada, es devuelta al Río Yanayacu mediante un túnel y canal de descarga. La tensión de generación es de 13.8 kV, con velocidad de giro nominal de 514 RPM y una potencia de 40.00 MVA.

Los transformadores de potencia para obtener el voltaje de transmisión de 138.00 kV, tienen una capacidad de 40 MVA cada uno [22].

En la Fig. 4 se puede observar la representación esquemática de las tuberías y turbinas de la Central Hidroeléctrica Pucará.

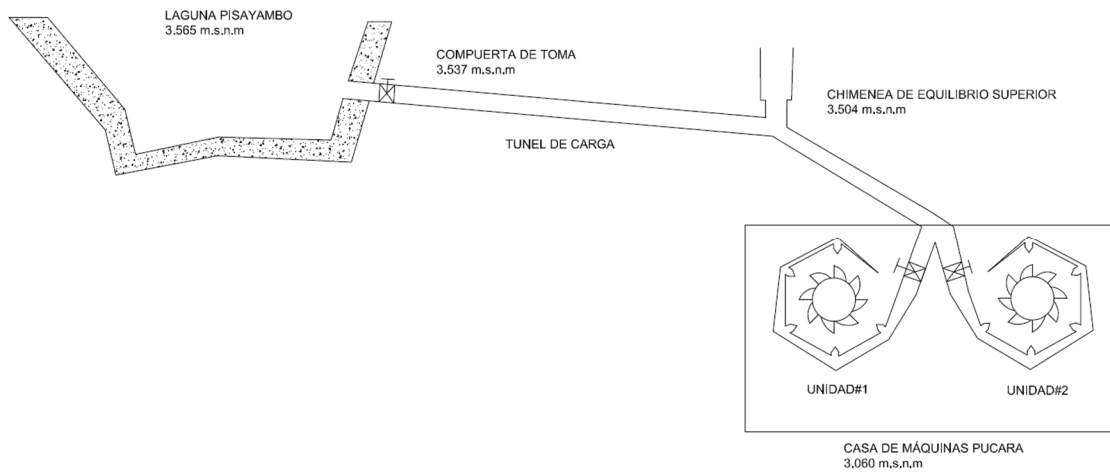


Fig. 4 Representación esquemática de tuberías y turbinas

Subestación Pucará.

La subestación es de tipo convencional con un esquema de barra principal y barra transferencia, teniendo dos posiciones para las unidades, dos posiciones para las líneas, una posición para el acoplador (de transferencia). La subestación pucará se conecta con la subestación Mulaló y con la subestación Ambato mediante líneas de transmisión de un solo circuito a 138 KV [22].

2.4.2 Pérdidas eléctricas.

La central hidroeléctrica Pucará está conformada por dos generadores de los cuales a continuación se presenta sus especificaciones:

Tabla 6. Especificaciones técnicas de los generadores Central Hidroeléctrica Pucará

ESPECIFICACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
Potencia nominal	40	[MVA]
Voltaje Nominal	13.8	[kV]
Intensidad nominal estator	1673	[A]
Factor de potencia	0.95	[Φ]
Frecuencia	60	[Hz]
Revoluciones por minuto	514	[RPM]

Las pérdidas eléctricas producidas por el calentamiento resistivo en el cobre del estator de los generadores de CA se representan como energía no generada y están dadas por la ecuación (2):

$$P= 3I^2*R \quad (2)$$

P = Pérdidas eléctricas estator

I = Corriente de fase

R = Resistencia de fase del inducido

Las pérdidas eléctricas producidas por el calentamiento resistivo en el cobre del rotor de los generadores de CA se representan como energía no generada y están dadas por la ecuación (3):

$$P= I^2*R \quad (3)$$

P = Pérdidas eléctricas rotor

I = Corriente de devanado rotor

R = Resistencia devanado de campo a temperatura normal de operación

Diagrama de flujo para pérdidas de potencia

Los diagramas de flujo de potencia son una de las técnicas más convenientes para determinar las pérdidas del generador. En la Figura 5, se suministra potencia mecánica a la máquina y se restan las pérdidas por dispersión, las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el núcleo. Una vez que se restan estas pérdidas, la energía restante idealmente se convierte de energía mecánica a energía eléctrica en un punto llamado Pconv. y produciendo la misma cantidad de electricidad, sin embargo, esto no es

energía en los terminales en la unidad de generación. Las pérdidas eléctricas I^2R deben restarse antes de llegar a los terminales

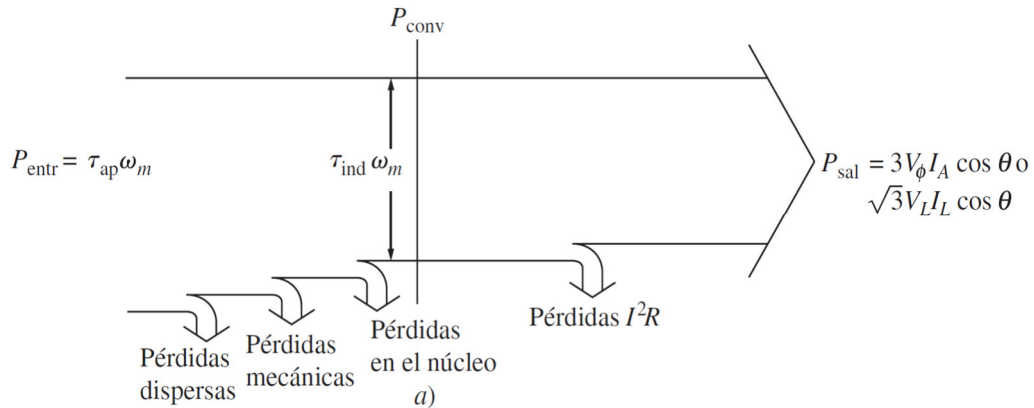


Fig. 5 Diagrama de Flujo de Potencia de un Generador CA [23]

Las pérdidas dispersas y en el núcleo no se consideran representativas en este análisis.

Eficiencia

La potencia de entrada a las máquinas se transforma en forma útil en el otro extremo, aunque siempre hay pérdidas asociadas con el proceso. [23]

La eficiencia de una máquina de CA se define por medio de la ecuación (4):

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100\% \quad (4)$$

Cálculo de la Potencia de Salida

$$P_s = \frac{\sqrt{3} * I * V * fp}{1000}$$

$$P_s = \frac{\sqrt{3} * 1673 [A] * 13800 [V] * 0.95}{1000000}$$

$$P_s = 38 MW$$

Cálculo de la eficiencia

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{38 \text{ MW}}{40 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\eta = 95 \%$$

2.5 Potencias Activa, Reactiva y Aparente

La potencia instantánea que se suministra a la carga en el tiempo t es:

$$p(t) = VI \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) + VI \sin \theta \sin 2\omega t \quad (5)$$

El valor promedio del primer término de la potencia instantánea que siempre es positivo, produce pulsos de potencia en lugar de un valor constante y es la potencia real o activa que está dada por la ecuación (6):

$$P = V * I * \cos \theta \text{ [MW]} \quad (6)$$

El segundo término de la expresión de potencia instantánea es positivo la mitad del tiempo y negativo la otra mitad, así que la potencia promedio suministrada por este término es cero; éste término, representa la potencia que se intercambia de manera continua entre la fuente y la carga se conoce como potencia reactiva.

La potencia reactiva, representa la energía que primero se almacena y luego se libera en el campo magnético de un inductor, o en el campo eléctrico de un capacitor y está dada por la ecuación (7):

$$Q = V * I * \sin \theta \text{ [VAr]} \quad (7)$$

La potencia aparente suministrada a una carga es el producto del voltaje a través de la carga y la corriente en la carga. Ésta es la potencia que “parece” ser suministrada a la carga si se ignoran las diferencias de ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. Por lo tanto, la potencia aparente de una carga está dada por:

$$S = V * I \quad [\text{VA}] \quad (8)$$

2.5.1 Triángulo de Potencia

El triángulo de potencia clarifica las relaciones entre la potencia real, la potencia reactiva, la potencia aparente y el factor de potencia, y si se conocen algunas de ellas nos brinda una manera conveniente de calcular varias cantidades relacionadas con la potencia [23].

Con la información de placa del generador de la Central Hidroeléctrica Pucará se obtiene el siguiente triángulo de potencias

Datos:

$$S = 40 \text{ MVA}$$

$$\text{Cos } \theta = 0.95$$

$$\theta = \text{Cos}^{-1}(0,95)$$

$$\theta = 18.195$$

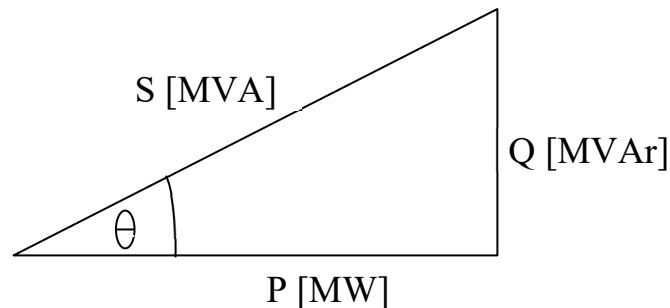


Fig. 6 Triángulo de Potencia

Cálculo de la potencia activa con valores nominales

$$P = \text{Cos } \theta * S$$

$$P = 0,95 * 40 \text{ MVA}$$

$$P = 38 \text{ MW}$$

Cálculo de la potencia reactiva con valores nominales

$$Q = \text{Sen } \theta * S$$
$$Q = \text{Sen } (18,195^\circ) * 40 \text{ MVA}$$
$$Q = 12,49 \text{ MVAr}$$

2.6 Curva de capacidad

Los límites de calentamiento del estator y rotor, junto con cualquier otro límite de un generador síncrono, se pueden expresar en forma gráfica por medio del diagrama de capacidad de un generador. Un diagrama de capacidad es una gráfica de la potencia compleja:

$$S = P + jQ \text{ [VA]} \quad (9)$$

La potencia real de salida del generador está dada por

$$P = 3 * V * I * \text{Cos } \theta \text{ [W]} \quad (9)$$

La potencia reactiva de salida está dada por

$$Q = 3 * V * I * \text{Sen } \theta \text{ [VAr]} \quad (10)$$

y la potencia aparente de salida por

$$S = V * I \text{ [VA]} \quad (11)$$

Es una gráfica de P y Q, con la potencia real P en el eje horizontal y la potencia reactiva Q en el eje vertical. Cualquier punto que se encuentre dentro de ambos círculos es un punto de operación seguro para el generador.

También se puede mostrar restricciones de potencia máxima del motor primario y el límite de estabilidad estática [23]. En la Fig. 7, se puede observar la curva de capacidad que refleja la potencia máxima de operación de los generadores de la Central Pucará con un factor de planta del 0,95 que se corresponde con los valores definidos del regulador de velocidad en el Anexo 5.

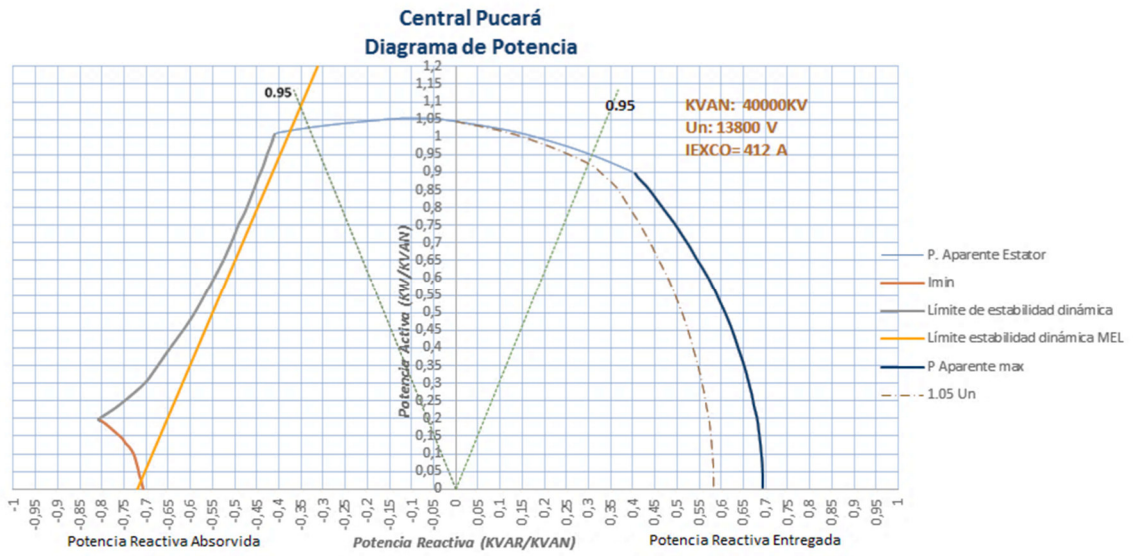


Fig. 7 Curva Capacidad Central Hidroeltrica Pucará

2.7 Metodología

En este apartado se utilizan enfoques investigativo, deductivo y experimental. La presente investigación está basada en un análisis paramétrico que permite entender el funcionamiento de la Central Hidroeltrica Pucará de manera práctica.

En la Fig. 8, se puede observar la metodología aplicada para el desarrollo de la investigación a través del flujograma:

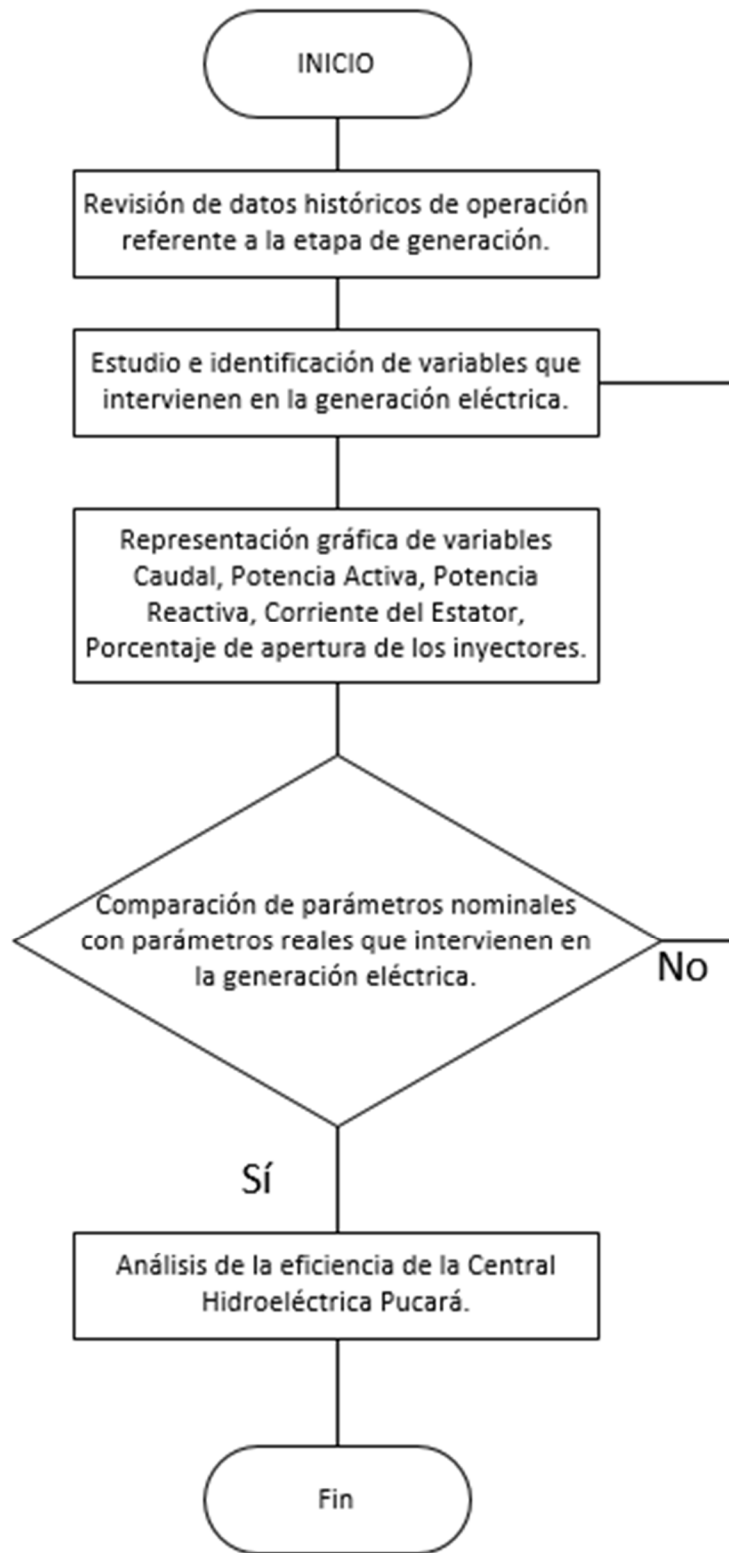


Fig. 8 Diagrama de la metodología aplicada

2.8 Identificación de variables que intervienen en la etapa de generación.

Para la identificación de variables se realizó un análisis cualitativo de la etapa de generación eléctrica; a partir de la información bibliográfica recopilada en el sitio (Anexo 1) , mediante la selección de datos representativos de la investigación:

- Caudal [m^3/s]
- Potencia Activa [MW]
- Potencia Reactiva [MVAR]
- Corriente estator [A]
- Apertura Inyectores [%]

2.9 Tipo de programación aplicada

La comparación de las variables con sus características se representa gráficamente en un modelo de programación del tipo comparativo de tres ejes y que simboliza un modelo analítico para apreciar las cualidades de los parámetros de la etapa de generación en función del tiempo. El software matemático denominado Matlab fue utilizado para el desarrollo de la representación gráfica de parámetros, mediante la aplicación de entorno visual App Designer en donde se representa el comportamiento de las variables previamente mencionadas (Anexo 2). La representación de las curvas se basa en un documento de Excel con los datos promedios de todas la variables identificadas y seleccionadas durante el período 2015 a 2020.

2.10 Conclusiones Capítulo II

Conclusión 1: El modelo paramétrico analítico se basa en la comparación de variables primarias como el caudal, potencia activa, potencia reactiva, corriente del estator y apertura de los inyectores; las cuales influyen directamente en el proceso de la generación hidroeléctrica de la Central Hidroeléctrica Pucará.

Conclusión 2: Se propone el desarrollo de este modelo mediante el análisis de los parámetros que intervienen en la fase de producción de energía eléctrica, utilizando el método descrito, donde se prueban las variables que permitan obtener las condiciones de operación adecuadas de la central hidroeléctrica Pucará con un 95% de eficiencia.

Conclusión 3: Una vez analizadas las variables a considerar en el modelo, se debe complementar la investigación con la validación del comportamiento real de la central hidroeléctrica Pucará.

CAPÍTULO III

VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1 Análisis de los resultados

Durante los últimos años se han ejecutado importantes obras en el sector eléctrico ecuatoriano, encaminadas a garantizar el abastecimiento eléctrico, a través del desarrollo de recursos energéticos locales y priorizando la aplicación de las energías renovables. Se ha tomado como ejemplo para este análisis a la central hidroeléctrica Pucará de donde se seleccionó una muestra de datos para la obtención de parámetros que servirán para sintetizar o resumir la información dada por una gráfica, en otras palabras, dados los parámetros necesarios se puede tener una idea general del comportamiento e interpretación del funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Pucará, todo este análisis servirá y puede ser aplicado a cualquier central hidroeléctrica del país, según los datos de cada central seleccionados de una manera apropiada.

3.2 Resultados obtenidos

Las variables que interfieren en la etapa de generación en la Central Hidroeléctrica Pucará se analizan a continuación.

3.2.1 Caudal

La disposición del caudal a lo largo del período analizado se muestra en la Fig. 9, donde se representa gráficamente el histórico de datos del ingreso del caudal a la Central Hidroeléctrica Pucará, desde el año 2015 se observa una disminución significativa

hasta el año 2016; este particular en la disminución de generación es debido a que en el año 2016 ingresa al Sistema Nacional Interconectado la primera fase de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair aportando con aproximadamente 750 MW, lo cual, deja sin efecto la generación continua y probada de varias central de generación eléctrica en el país. En vista de esto, en el año 2018 arranca el programa de modernización e implementación de un sistema SCADA dejando sin generación aproximadamente 90 días, que el pico negativo de caudal que se aprecia en el 2018. Con la modernización implementada empieza a generar normalmente y según el requerimiento del sistema, pero continúa produciendo energía en porcentajes bajos.

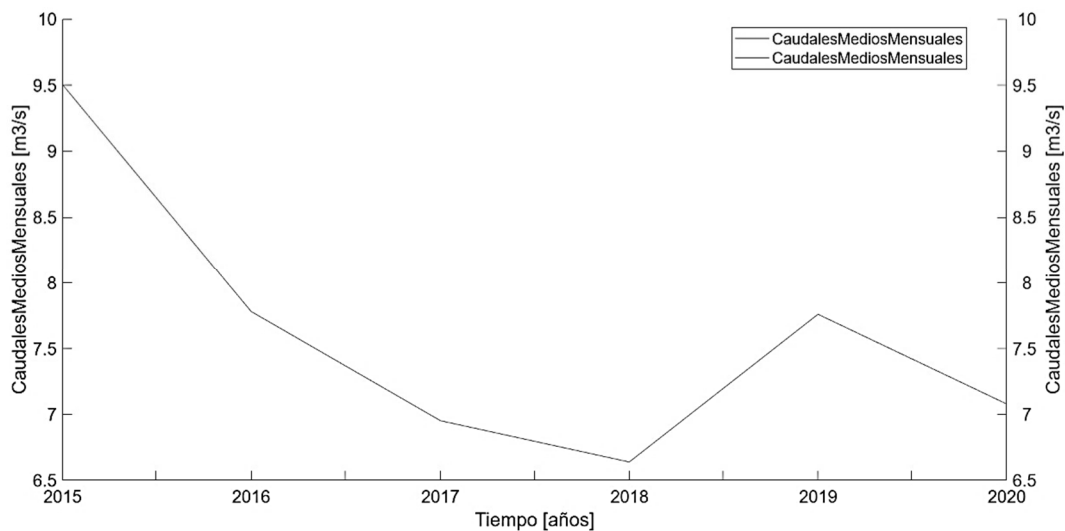


Fig. 9 Caudal Año 2015 – 2020

3.2.2 Potencia Activa y Reactiva

La potencia nominal de la Central Hidroeléctrica Pucará es 38 MW, lo cual permite obtener los datos de eficiencia de cada una de las unidades de generación como se presenta a continuación:

En la Fig. 10, se representa gráficamente el histórico de datos de la potencia activa de la unidad de generación 1, en la cual, se puede observar que desde el año 2015 disminuye la generación potencia de 25 MW a alrededor de 20 MW. Sin embargo, el valor bajo de potencia activa en el año 2017 se debe a que ingresa al sistema 1500MW

suministrados controlados y operados por la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y se puede notar un crecimiento lineal ascendente de potencia activa hasta el 2019, en donde se estabiliza y su tendencia tiene variaciones mínimas entre 18MW y 20MW hasta el año 2020.

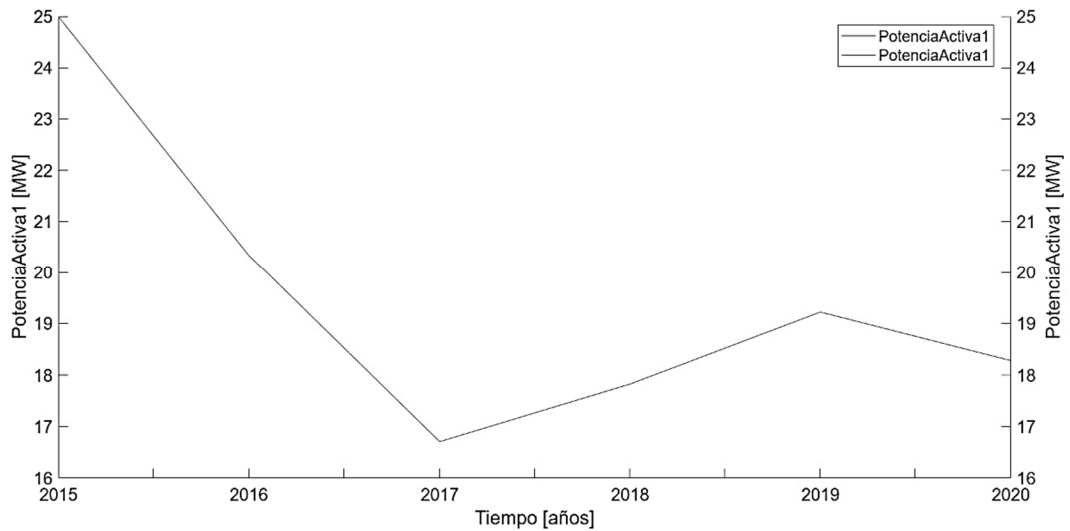


Fig. 10 Potencia Activa Unidad Generación 1

En la Fig. 11, se representa gráficamente el histórico de datos de la potencia reactiva de la unidad de generación 1, en donde, el comportamiento es similar al de las curvas de antes analizadas; desde el 2015 la curva tiene una tendencia mínima a la baja hasta llegar al año 2017, sin embargo desde el 2017 hasta el año 2018 se tiene un pico alto de potencia reactiva en la unidad debido a que ingresa el circuito de transmisión de 500 kV al sistema nacional interconectado, de ahí en adelante, los próximos años este valor tiende a estabilizarse en un rango de 3 MVar a 4 MVar.

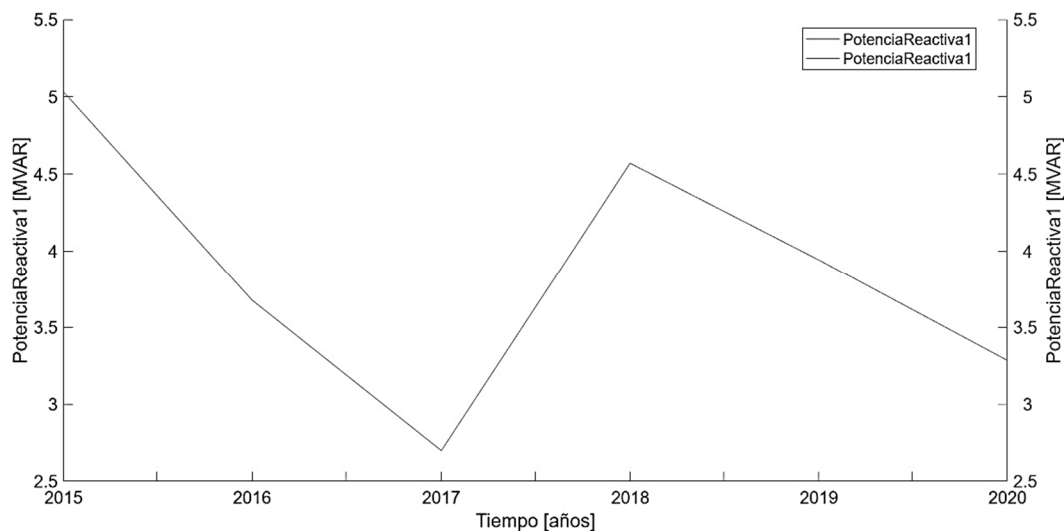


Fig. 11 Potencia Reactiva Unidad Generación 1

La eficiencia y los valores de potencias del generador 1 entre los años 2015 al 2020, se representa en la Tabla 7, los mismos que muestran una eficiencia menor a la representada en la curva de capacidad de la Fig. 7:

Tabla 7. Eficiencia Generador 1

Año	P [MW]	Q [MVAr]	S[MVA]	Eficiencia
2015	25	5,0	25,49	65,79 %
2016	20	3,7	20,33	52,63%
2017	16,7	2,7	16,91	43,95 %
2018	17,8	4,6	18,33	46,84 %
2019	19,2	3,9	19,59	50,53 %
2020	18,3	3,3	18,62	48,16 %

De acuerdo a los cálculos de la eficiencia se puede determinar que la unidad de generación 1 se encuentra operando con un valor promedio de eficiencia de 51,32 %. En la Fig. 12, se representa gráficamente el histórico de datos de la potencia activa de la unidad de generación 2, en la cual, se puede observar que desde el año 2015 disminuye la generación potencia de 24 MW a alrededor de 20 MW. Sin embargo, el valor bajo de potencia activa en el año 2017 se debe a que ingresa al sistema 1500 MW suministrados controlados y operados por la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y se puede notar un crecimiento lineal ascendente de potencia activa hasta el 2019, en

donde se estabiliza y su tendencia tiene variaciones mínimas entre 18 MW y 19 MW hasta el año 2020.

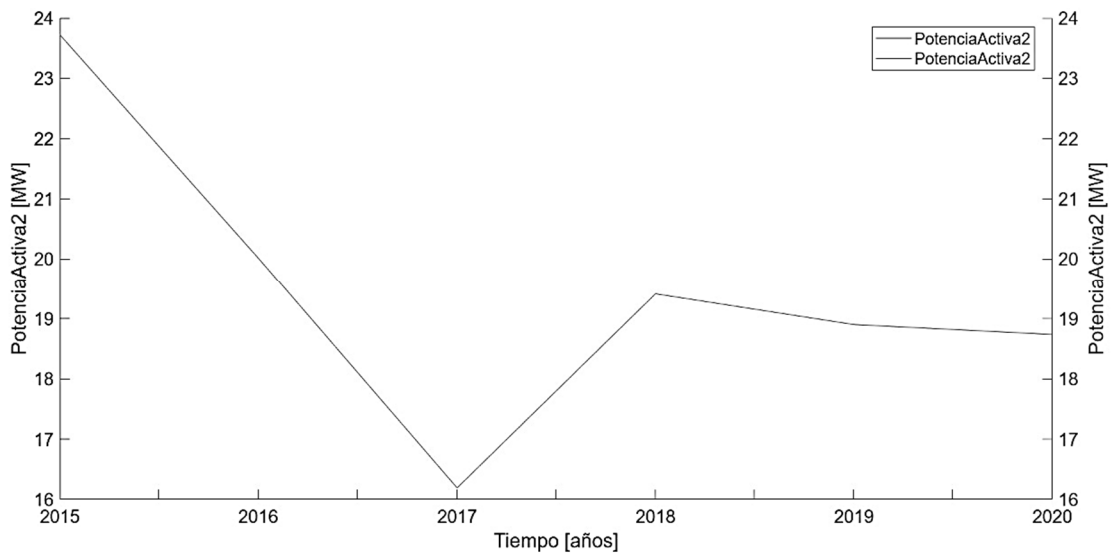


Fig. 12 Potencia Activa Unidad Generación 2

En la Fig. 13, se representa gráficamente el histórico de datos de la potencia reactiva de la unidad de generación 2, en donde, el comportamiento es similar al de las curvas de antes analizadas; desde el 2015 la curva tiene una tendencia mínima a la baja hasta llegar al año 2017, sin embargo desde el 2017 hasta el año 2018 se tiene un pico alto de potencia reactiva en la unidad debido a que ingresa el circuito de transmisión de 500 kV al sistema nacional interconectado, de ahí en adelante, los próximos años este valor tiende a estabilizarse en un rango de 3,5 MVar a 4 MVar.

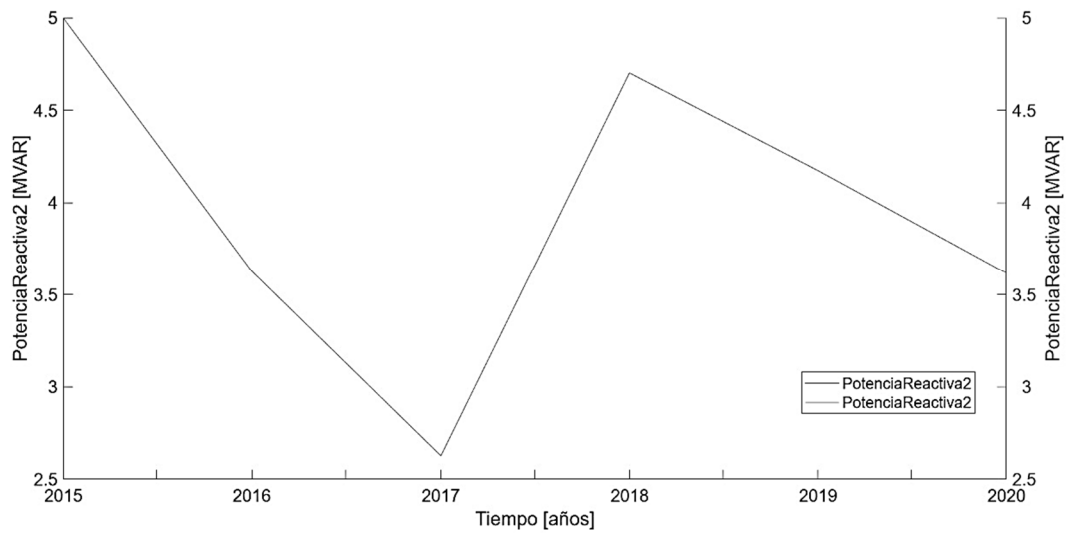


Fig. 13 Potencia Reactiva Unidad Generación 2

La eficiencia y los valores de potencias del generador 2 entre los años 2015 al 2020, se representa en la Tabla 8, los mismos que muestran una eficiencia menor a la representada en la curva de capacidad de la Fig. 7:

Tabla 8. Eficiencia generador 2

Año	P [MW]	Q [VAr]	S[MVA]	Eficiencia
2015	23,7	5,0	24,22	62,37 %
2016	20	3,6	20,32	52,63 %
2017	16,2	2,6	16,40	42,63 %
2018	19,4	4,7	19,96	51,05 %
2019	18,9	4,2	19,36	49,74 %
2020	18,7	3,6	19,04	49,21 %

De acuerdo a los cálculos de la eficiencia se puede determinar que la unidad de generación 1 se encuentra operando con un valor promedio de eficiencia de 51,27 %.

3.2.3 Corriente del estator

En la Fig. 14, se puede observar que la temperatura producida en el estator del generador 1, no afecta significativamente en la corriente eléctrica del estator.

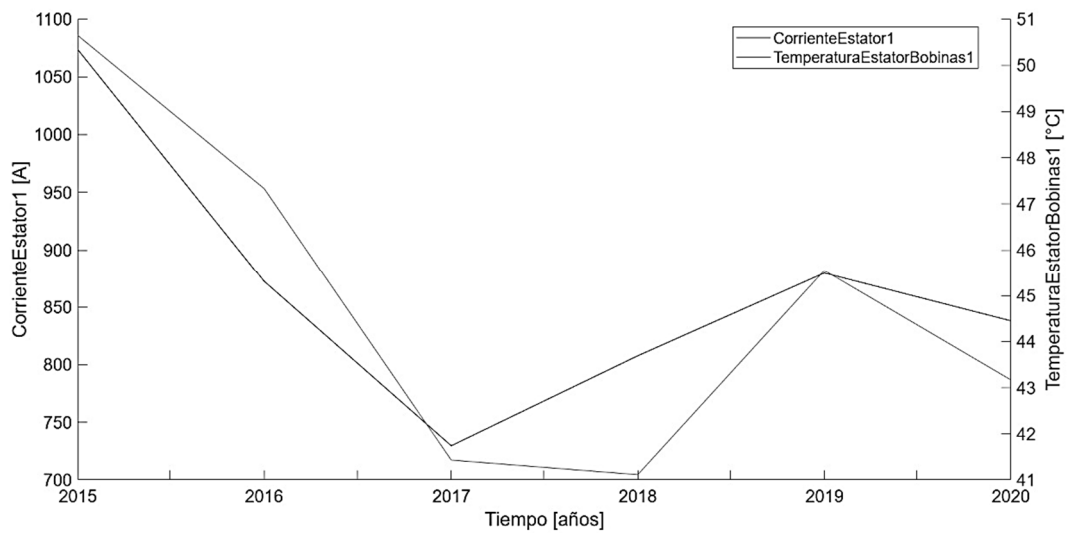


Fig. 14 Corriente VS Temperatura Estator del Generador 1

Los datos presentados en la Tabla 9, son los valores de temperatura y corriente producida en el estator, en la cual se puede observar la variación de la temperatura desde el año 2015 hasta el año 2020; su valor mínimo promedio llega a 41,1 °C mientras que su valor máximo promedio es de 50,6 °C, existiendo una diferencia de 9,5 °C.

Tabla 9. Temperatura VS Corriente Estator Generador 1

Año	I [A]	T [°C]
2015	1073,6	50,6
2016	872,4	47,3
2017	729,6	41,4
2018	807,7	41,1
2019	879,8	45,5
2020	838,1	43,2

En la Fig. 15, se puede observar que la temperatura producida en el estator del generador 2 no afecta significativamente en la corriente eléctrica del estator.

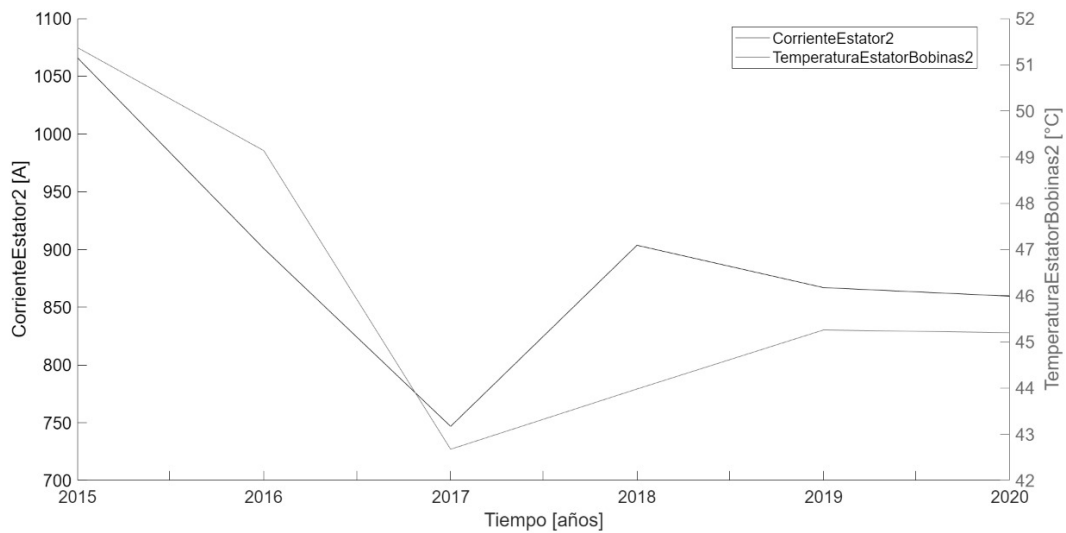


Fig. 15 Corriente VS Temperatura Estator del Generador 2

Los datos presentados en la Tabla 10, son los valores de temperatura y corriente producida en el estator, en la cual se puede observar la variación de la temperatura desde el año 2015 hasta el año 2020; su valor mínimo promedio llega a 47,7 °C mientras que su valor máximo promedio es de 51,4 °C, existiendo una diferencia de 3,7 °C.

Tabla 10. Temperatura VS Corriente Estator Generador 2

Año	I [A]	T [°C]
2015	1066,1	51,4
2016	900,9	49,1
2017	746,9	42,7
2018	903,7	44,0
2019	867,0	45,3
2020	859,6	45,2

3.2.4 Apertura Inyectores

En la Fig. 16, se representa el diagrama de la unidad de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará.

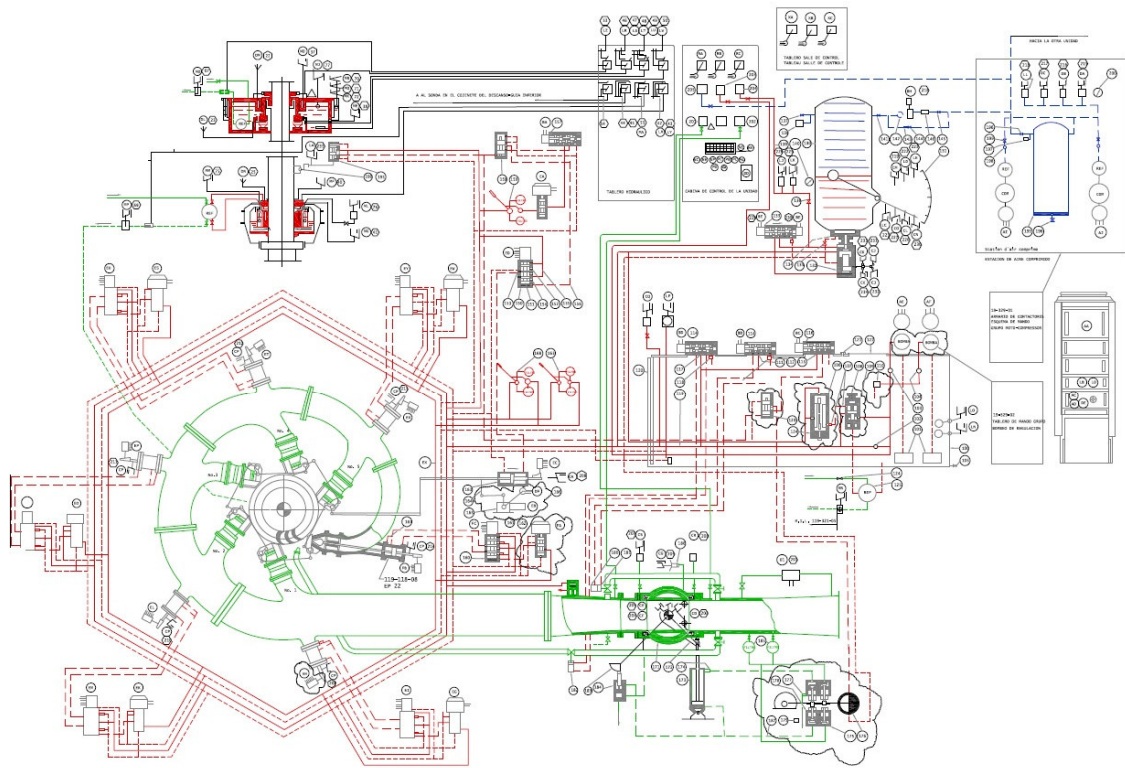


Fig. 16 Diagrama Unidad de Generación

De acuerdo a la representación gráfica en la Fig. 17, se puede observar que cuando los inyectores se aperturan al 90% se obtiene la potencia nominal 38 MW, con base en este análisis, se deduce que no necesariamente se debe llegar al 100% de apertura de los inyectores para alcanzar la potencia nominal de los generadores (Anexo 3).

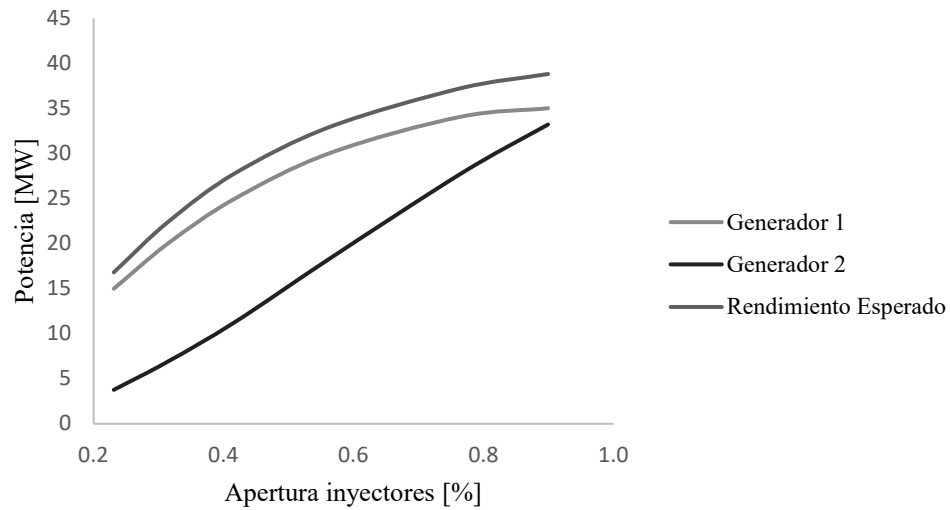


Fig. 17 Apertura de inyectores

La unidad de generación 1 trabaja con un promedio de potencia durante el tiempo desde 2015 hasta el 2020 de 19,56 MW que se ubica en el punto entre el 20 % y 30% de la apertura de los inyectores.

La unidad de generación 2 trabaja con un promedio de potencia durante el tiempo desde 2015 hasta el 2020 de 19,50 MW que se ubica en el punto entre el 20 % y 30 % de la apertura de los inyectores.

3.3 Validación técnica

El análisis de la etapa de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará se basó en cinco parámetros influyentes: Caudal, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Corriente estator, Apertura Inyectores a través de comparaciones de gráficas de funcionamiento de datos de operación in situ con las variables características del generador.

La parametrización representa la solución para una posible mejora de la eficiencia de la Central Hidroeléctrica Pucará debido a que responde a la necesidad de conocer el comportamiento de las unidades de generación en la Central Hidroeléctrica Pucará, con lo cual se puede tomar las decisiones o correctivos necesarios para el funcionamiento eficaz de la central.

Al considerar los cálculos de la eficiencia se puede evidenciar que la Central Hidroeléctrica Pucará no está utilizando su máximo nivel de eficiencia con las dos unidades de generación

Mediante la representación paramétrica de variables que intervienen en la etapa de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará se puede optimizar tiempos de operación entre una y otra unidad de generación, además tener la capacidad de elaborar un plan de acción para maquinaria moderna y acorde a las ideologías futuras de implementación tecnológica.

El gobernador de velocidad encargado de determinar la apertura de la válvula para así controlar la potencia de salida del generador como se muestra en Fig. 18 consiste básicamente en un regulador proporcional de frecuencia R, el cual aumenta la potencia generada en caso de que la frecuencia disminuya [24].

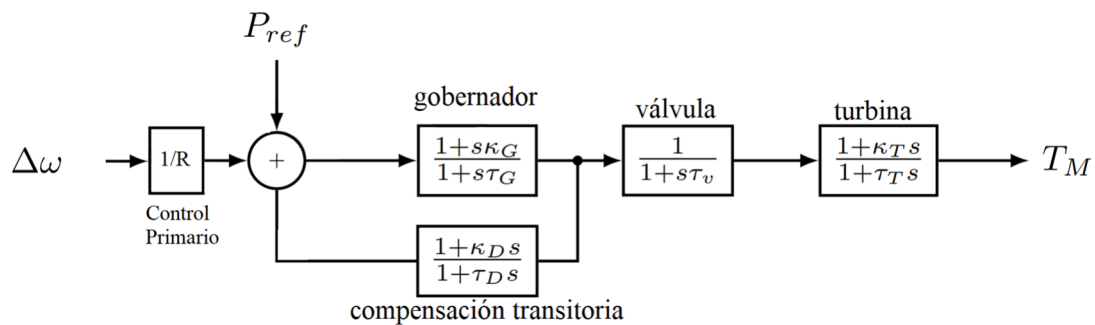


Fig. 18 Lazo de control del regulador de velocidad

Los parámetros establecidos que representan la configuración del gobernador de velocidad de la Central hidroeléctrica Pucará se detalla en el Anexo 5.

El sistema de excitación representa los principales fenómenos asociados a las excitaciones AC y DC, como se muestra en la Fig. 18 el lazo de control del regulador de velocidad también puede aproximar el comportamiento de excitaciones estáticas y utilizar la retroalimentación adicional para mejorar la respuesta dinámica del sistema [25].

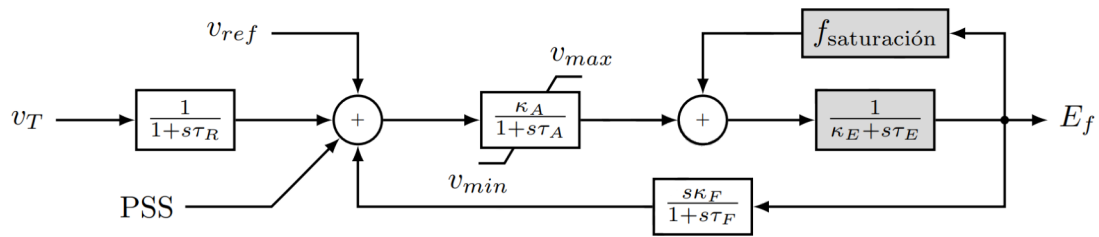


Fig. 19 Lazo de control del sistema de excitación

Los parámetros establecidos que representan la configuración del sistema de excitación de la Central hidroeléctrica Pucarà se detalla en el Anexo 5.

3.4 Evaluación de impactos o resultados

Los impactos que sobresalen en la propuesta desarrollada son:

Producirá un impacto en la eficiencia de la generación de energía eléctrica, debido a que se puede apreciar un modelo comparativo que proporciona información veraz en cuanto a la generación en la Central Hidroeléctrica Pucarà.

En la Tabla 11, se presenta el cálculo del costo de la energía generada con potencia nominal.

Tabla 11. Costo energía generada

Potencia Generador [kW]	horas/día (h)	Energía Generada [kWh]	Costo [USD/kWh]	2021 Costo generado [USD]	kWh
38000	24	912000	0.0334	30460,8	

En la Tabla 12, se presenta el costo de la energía que no se está generando diariamente, acorde a la eficiencia actual con la que se mantiene trabajando el generador 1

Tabla 12. Costo energía no generada en UG 1

Potencia Generador 1 [kW]	Eficiencia [%]	Potencia generada [kW]	Potencia no generada [kW]	horas/día (h)	Energía no Generada [kWh]	Costo 2021 [USD/kWh]	Costo kWh no generado [USD]
38000	51,32	19501	18498	24	443961,6	0,0334	14828,32

En la Tabla 13, se presenta el costo de la energía que no se está generando diariamente, acorde a la eficiencia actual con la que se mantiene trabajando el generador 2

Tabla 13. Costo energía no generada en UG 2

Potencia Generador 2 [kW]	Eficiencia [%]	Potencia generada [kW]	Potencia no generada [kW]	horas/día (h)	Energía no Generada [kWh]	Costo 2021 [USD/kWh]	Costo kWh no generado [USD]
38000	51,27	19482	18517	24	444417	0,0334	14843,55

El costo de no trabajar al 100% la Central Hidroeléctrica Pucará está perdiendo \$29671,87 diarios, que es aproximadamente el costo de generar energía eléctrica con potencia nominal y a plena carga.

3.5 Conclusiones del III capítulo

Conclusión 1: El caudal que ingresa a la tubería se considera constante independientemente de la estación del año que produzca energía, debido al embalse que se dispone y a que el caudal que llega a la Central Hidroeléctrica Pucará no tiene pérdida de afluentes previos a la generación, por lo tanto, se determina que en este caso específico de la Central Hidroeléctrica Pucará el caudal no produce efectos significativos en la etapa de generación.

Conclusión 2: En concordancia con lo expuesto anteriormente, se puede evidenciar que la generación depende directamente de la apertura de los inyectores, debido a que, si se aumenta el caudal de ingreso, pero los inyectores se mantienen en un bajo porcentaje de apertura, no aumenta el rendimiento de la Central Hidroeléctrica Pucará, mientras que, si se aumenta la apertura de los inyectores aumenta el rendimiento de cada generador.

Conclusión 3: Con base en el análisis de resultados obtenidos se considera que la Central Hidroeléctrica Pucará está sub utilizando recursos debido a que sus generadores durante los años analizados trabajan alrededor del 50% de eficiencia promedio.

CONCLUSIONES

- Una vez revisada la información bibliográfica, se puede destacar que la generación hidroeléctrica en el Ecuador en su mayoría corresponde a pequeñas centrales hidroeléctricas con sus parámetros hídricos, eléctricos y de eficiencia que intervienen en la etapa de generación, con lo cual, se pudo identificar que el generador es la máquina primordial dentro de este tipo de proyectos eléctricos para identificar los parámetros que intervienen en el funcionamiento óptimo de los generadores eléctricos de la central Pucará
- Con la información recopilada de los datos operación de los generadores eléctricos de la central hidroeléctrica Pucará; en un periodo de tiempo de 6 años se realizó una comparación de parámetros dentro del cual se identificó que los de mayor importancia son: el caudal, potencia activa, potencia reactiva, corriente del estator y apertura de los inyectores.
- Se determina que antes del análisis realizado se conocía que la eficiencia de la Central Hidroeléctrica Pucará era del 95 %, con el respectivo análisis se determina que las dos unidades de generación tienen una eficiencia promedio de 51,30 %, es decir, no se está utilizando el 46 % de su capacidad total de generación de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- Con el antecedente del 51,30 % de la eficiencia promedio en los generadores eléctricos se recomienda que los grupos de generación opten por la configuración de redundancia aislada N+1.
- Utilizar los parámetros analizados en este trabajo investigativo para el óptimo funcionamiento de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, sobre todo si se tiene un caudal constante.
- Realizar un análisis desde el año 2021 para verificar la estabilidad de la producción energética de la Central Hidroeléctrica Pucará.
- Implementar un plan de mantenimiento con la finalidad de mejorar el rendimiento de cada una de las unidades de generación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CELEC EP, “No Title,” *Unidad de Negocios Hidroagoyán*, 2022. [Online]. Available: <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/centrales/pucara>.
- [2] Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables, “Anual y multianual,” Quito, 2021.
- [3] MEER, *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*, 1st ed. Quito, 2017.
- [4] M. A. Ponce-Jara, M. Castro, M. R. Pelaez-Samaniego, J. L. Espinoza-Abad, and E. Ruiz, “Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade,” *Energy Policy*, vol. 113, no. August 2017, pp. 513–522, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2017.11.036.
- [5] D. Criollo and K. Polo, “DISEÑO Y ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE MÁQUINAS SINCRÓNICAS DE EXCITACIÓN HÍBRIDA MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EN DOS DIMENSIONES,” Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [6] D. S. Navas Molina and M. F. Pérez Gutiérrez, “Automatización de las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Pucará.,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2018.
- [7] D. A. Rodríguez, “Estudio aerodinámico mediante herramientas paramétricas de una aeronave no tripulada para ser implementada en el sector agrícola de la región andina,” Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [8] J. Añorga, N. Valcárcel, and J. Che, “La parametrización en la investigación educativa,” *Varona*, no. 47, pp. 25–32, 2008.
- [9] R. Guapulema, ““Estudio Paramétrico Para Optimización Del Generador De Hielo Tubular Del Laboratorio De Energía De La Escuela De Ingeniería Mecánica – Espoch,”” Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [10] J. Yáñez, “DISEÑO PARAMÉTRICO DE ÁLABES PARA TURBINAS FRANCIS,” Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [11] F. Fernández Morales and J. Duarte, “Monitoreo de las variables eléctricas

- relacionadas con un generador trifásico,” *Entramado*, vol. 10, no. 2, pp. 314–321, 2014.
- [12] N. N. Slyunyaev and A. A. Zhidkov, “On Parameterization of the Global Electric Circuit Generators,” *Radiophys. Quantum Electron.*, vol. 59, no. 3, pp. 199–216, 2016, doi: 10.1007/s11141-016-9689-3.
- [13] J. Martínez, P. C. Kjaer, P. Rodriguez, and R. Teodorescu, “Parameterization of a synchronous generator to represent a doubly fed induction generator with chopper protection for fault studies,” *Wind Energy*, vol. 14, no. 1, pp. 107–118, Jan. 2011, doi: 10.1002/we.406.
- [14] Y. Yang, S. X. Ding, and L. Li, “Parameterization of Nonlinear Observer-Based Fault Detection Systems,” *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 61, no. 11, pp. 3687–3692, 2016, doi: 10.1109/TAC.2016.2532381.
- [15] J. Wang *et al.*, “An optimization study of structural size of parameterized thermoelectric generator module on performance,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 160, no. October 2017, pp. 176–181, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.01.043.
- [16] A. C. Avilés, “Generación Hidroeléctrica en el Ecuador: Posibles Beneficios en los Mercados de Carbono,” 2008.
- [17] M. Alcázar, O. César, and S. C. Peñuelas, “Generación, transporte y distribución de energía eléctrica,” *Univ. Politècnica València*, 2019.
- [18] O. G. M. Panchi, “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas,” in *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*, Editorial Academica Espanola, 2011, p. 164.
- [19] J. M. Macias de la Rica, “Ensayo de micro turbinas hidraulicas para la generacion de energia electrica en zonas desabastecidas,” no. Ii, p. 55, 2012.
- [20] S. Leguizamón and F. Avellan, “Computational parametric analysis of the design of cross-flow turbines under constraints,” *Renew. Energy*, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.03.187.
- [21] C. A. Sierra Vargas, Fabio Emiro; Sierra Alarcón, Adriana Fernanda; Guerrero Fajardo, “Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas_ alternativa real de generación eléctrica,” *Inf. Técnico*, vol. 75, pp. 73–85, 2011.

- [22] CELEC EP - Unidad de Negocios Hidroagoyán, “Información Técnica Pucará,” *Copyright* 2016, 2016. [Online]. Available: <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/centrales/pucara/informacion-tecnica>.
- [23] S. J. Chapman, *Máquinas Eléctricas*, Quinta. México, D.F: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2005.
- [24] E. Development, P. Generation Committee of the IEEE Power, and E. Society, *IEEE Std 1207TM-2011 (Revision of IEEE Std 1207-2004), IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units*, IEEE Std 1., vol. 2011, no. June. New York, NY 10016-5997, 2011.
- [25] IEEE, *IEEE Std 421.5-2016 (Revision of IEEE Std 421.5-2005): IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies.*, IEEE Std 4., vol. 2016. New York, NY 10016-5997, 2016.

PRESION lb/pulg² (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2015 38.9617 38.4854 45.0283 38.343 81.3623 37.9416 37.9771 38.298 38.4904 39.1481 39.6752 39.2065 42.66

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

CAUDAL Lt/mín (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2015 4918.32 4917.102 4881.130 4907.43 4679 4944.27 4981.486 4899.97 4994.693 4900.534 5015.339 4934.674 4907.50

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

NIVEL ACEITE 43 *5MNCU (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2015 15.02 14.70238 14.84808 15.9264 14.8984 14.9152 15.10272 14.8038 15.05681 15.20706 15.1411 15.06995 15.06

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

PRESION ACEITE (BAR) (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2015 30.6897 30.66483 30.69306 32.352 30.7914 30.7921 30.78913 30.6925 30.7789 30.94011 30.8189 30.9234 30.95

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

PRESION AIRE (BAR) (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2015 38.693 38.04731 41.24372 42.3307 37.4189 37.2489 37.325 37.3627 38.097 37.5813 37.2772 37.20995 38.19

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

NIVEL ACEITE (SN) (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2015 -5.20025 -4.17679 -3.3142 -5.2067 -6.6588 -5.4878 -5.83707 -5.49442 -5.84889 -6.44883 -6.5664 -6.2846 -5.56

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

PRESION lb/pulg² (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 39.4833 39.92393 39.6691 39.49026 39.0849 36.85 42.7767 39.5547 39.9086 38.5218 39.0508 38.9493 39.43

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

CAUDAL Lt/mín (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 5193.693 5176.395 5046.67 5145.247 4567.45 5147.6 5290.08 5150.938 5138.797 5228.892 5233.98 5281.88 5130.97

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

NIVEL ACEITE 43 *5MNCU (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 14.17081 14.02976 14.4176 14.25922 15.1875 15.283 14.2771 14.17048 14.37383 15.08602 14.4544 14.4238 14.27

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

PRESION ACEITE (BAR) (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 34.46541 30.97798 31.2104 31.00726 31.2185 31.215 31.0793 30.94194 31.08 32.74492 31.135 31.0659 31.51

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

PRESION AIRE (BAR) (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 38.62997 37.28333 37.2054 37.40222 37.3949 37.393 37.4414 36.96989 37.03278 37.46075 36.9089 37.1183 37.40

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

NIVEL ACEITE (SN) (U)
ANO ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 -4.12649 -3.00476 -3.92896 -3.1306 -4.14219 -4.664 -3.9895 -4.05215 -4.73944 -4.63209 -4.82222 -4.4735 -4.15

DATOS
Alto (A) 6
Número de D 72
Clases (n-1)-3 15

TEMPERATURA ACEITE °C (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 26.3476 28.6511 24.7082 26.6899 25.7784 25.7809 25.8288 25.9162 25.9183 26.4083 26.4083 26.14

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 30.3
Tram (C) 18.7
Amplitud de 0.83

TEMPERATURA ACEITE °C (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 24.8108 25.4023 24.8076 25.8579 24.8176 24.0846 25.576 25.7783 23.8605 23.7833 23.9383 24.7472 24.0685 24.38

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 31.7
Tram (C) 22.8
Amplitud de 0.84

Temp. Interior tablero RAY (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 53.6008 58.4058 40.5111 49.5583 47.5502 48.4017 31.0683 33.4528 34.30687 37.97097 37.6168 37.34073 42.40

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 58.4
Tram (C) 26.3
Amplitud de 2.15

Temp. Interior tablero RAY (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 46.3629 50.1943 45.9088 50.3768 49.4335 41.879 27.2219 37.2294 30.53625 37.7056 38.0683 37.5319 39.37

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 50.2
Tram (C) 27.2
Amplitud de 1.84

Temp. Metal Cojinete Inferior G. (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 57.5968 61.9708 45.7151 55.4667 54.083 55.9833 43.5448 48.9798 25.85 53.1081 56.733 53.3379 51.29

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 87.1
Tram (C) 25.9
Amplitud de 4.38

Temp. Metal Cojinete Inferior G. (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 55.2016 59.3773 53.3206 48.525 49.373 62.344 41.5867 50.76008 48.30625 53.44855 55.45 62.589 51.07

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 60.8
Tram (C) 38.6
Amplitud de 1.59

Temp. Metal Cojinete Guin Superior G. (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 53.3699 59.1674 40.0871 50.7625 50.7773 51.6396 40.89315 47.8617 23.9167 51.7085 52.5405 48.0489 47.70

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 61.1
Tram (C) 25.4
Amplitud de 2.84

Temp. Metal Cojinete Guin Superior G. (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 46.7056 45.2593 49.4104 41.7483 42.1532 44.146 38.2722 44.0746 43.3292 44.94871 46.7625 41.1089 44.34

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 49.8
Tram (C) 38.0
Amplitud de 0.84

Temp. Metal Cojinete Empuje (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 54.6373 61.2079 45.0439 52.3 52.3178 52.1125 40.31452 43.7399 26.90208 51.5 53.7625 48.6892 48.53

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 61.6
Tram (C) 26.9
Amplitud de 2.48

Temp. Metal Cojinete Empuje (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 56.3305 60.1393 52.6677 46.6703 47.3548 50.613 40.6673 51.56855 50.60625 51.66994 54.85 49.892 51.02

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 62.0
Tram (C) 39.5
Amplitud de 1.81

Temp. Aceite Cojinete Empuje (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 27.246 30.0116 29.0323 28.7125 28.2186 27.4021 28.71008 29.5435 23.4929 27.04435 27.6025 27.6845 27.89

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 34.2
Tram (C) 23.4
Amplitud de 0.77

Temp. Aceite Cojinete Empuje (U)
ANO EN FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC MEDIA
2016 34.2306 36.0829 34.1452 31.9717 31.823 32.858 27.6435 29.2004 29.97062 33.3629 34.4917 32.7621 32.37

DATOS
Alto (A) 6
Numero de D 72
Clase I=I+3 15
Temperatura (C) 37.0
Tram (C) 27.3
Amplitud de 0.70

ANEXO 2

Código de Programación

```
classdef CentralHE < matlab.apps.AppBase

    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure                matlab.ui.Figure
        AmbosCheckBox_2         matlab.ui.control.CheckBox
        AmbosCheckBox           matlab.ui.control.CheckBox
        AoDropDown              matlab.ui.control.DropDown
        AoDropDownLabel         matlab.ui.control.Label
        Variable2DropDown       matlab.ui.control.DropDown
        Variable2DropDownLabel  matlab.ui.control.Label
        Variable1DropDown       matlab.ui.control.DropDown
        Variable1DropDownLabel  matlab.ui.control.Label
        UIAxes                  matlab.ui.control.UIAxes
    end

    properties (Access = private)
        vars
        munits
        data
        years
    end

    methods (Access = private)
        function getData(app)
            [f,p] = uigetfile('*.xlsx');
            opts = spreadsheetImportOptions("NumVariables", 14);
            % Specify sheet and range
            opts.Sheet = "INFORMACIÓN";
            %%path = "F:\MatlabDocs\Datos Funcionamiento Promedio
Pucará.xlsx";
            path = strcat(p,f);
            % Specify column names and types
            opts.VariableNames = ["ANO", "ENE", "FEB", "MAR", "ABR", "MAY",
"JUN", "JUL", "AGO", "SEP", "OCT", "NOV", "DIC", "MEDIA"];
            opts.VariableTypes = ["string", "double", "double", "double",
"double", "double", "double", "double", "double", "double", "double"];
            % Specify variable properties
            opts = setvaropts(opts, "ANO", "WhitespaceRule", "preserve");
            opts = setvaropts(opts, "ANO", "EmptyFieldRule", "auto");
            % Import the data
```



```

app.vars = ["CaudalesMediosMensuales", "EnergiaBruta",
"TemperaturaCojinetesU1", "TemperaturaCojinetesU2",...
    "AireRegulacion1", "AireRegulacion2", "AguasAbajo1",
"AguasAbajo2",...
    "AguasArriba1", "AguasArriba2", "Presion1", "Presion2",...
    "Caudal1", "Caudal2", "NivelAceite1", "NivelAceite2",...
    "PresionAceite1", "PresionAceite2", "PresionAire1",
"PresionAire2", ...
    "NivelAceiteSIN1", "NivelAceiteSIN2", "TemperaturaAceite1",
"TemperaturaAceite2",...
    "TempInteriorTablero1", "TempInteriorTablero2",
"TempMetalCojineteInferiorG1", "TempMetalCojineteInferiorG2",...
    "TempMetalCojineteSuperiorG1",
"TempMetalCojineteSuperiorG2", "TempMetalCojineteEmpuje1",
"TempMetalCojineteEmpuje2",...
    "TempAceiteCojineteEmpuje1", "TempAceiteCojineteEmpuje2",
"TempAguaEnBombaDeAgua1", "TempAguaEnBombaDeAgua2",...
    "TempAguaSalidaEnfrAire1", "TempAguaSalidaEnfrAire2",
"TempAguaSalidaCojEmpuje1", "TempAguaSalidaCojEmpuje2",...
    "TempAguaSalidaCojInferior1", "TempAguaSalidaCojInferior2",
"TempAguaSalidaCojTurbina1", "TempAguaSalidaCojTurbina2",...
    "PotenciaActiva1", "PotenciaActiva2", "PotenciaReactiva1",
"PotenciaReactiva2",...
    "VoltajeSalida1", "VoltajeSalida2", "CorrienteEstator1",
"CorrienteEstator2",...
    "VoltajeExcitacion1", "VoltajeExcitacion2",
"CorrienteExcitacion1", "CorrienteExcitacion2",...
    "CaudalGenerado1", "CaudalGenerado2",
"TemperaturaEstatorBobinas1", "TemperaturaEstatorBobinas2",...
    "TemperaturaEstatorNucleo1", "TemperaturaEstatorNucleo2",
"TemperaturaAireCaliente1", "TemperaturaAireCaliente2",...
    "TemperaturaAireFrio1", "TemperaturaAireFrio2",
"TemperaturaCojineteEmpuje1", "TemperaturaCojineteEmpuje2"];
app.munits = ["m3/s", "MWH", "°C", "°C",...
    "Bar", "Bar", "Bar", "Bar",...
    "Bar", "Bar", "lb/pulg2", "lb/pulg2",...
    "lt/min", "lt/min", "43.75MNC/U", "43.75MNC/U",...
    "Bar", "Bar", "Bar", "Bar",...
    "SIN", "SIN", "°C", "°C",...
    "°C", "°C", "°C", "°C",...
    "°C", "°C", "°C", "°C",...
    "°C", "°C", "°C", "°C",...
    "°C", "°C", "°C", "°C",...
    "MW", "MW", "MVAR", "MVAR",...
    "KV", "KV", "A", "A",...
    "V", "V", "A", "A",...
    "m3/s", "m3/s", "°C", "°C",...

```

```

        "°C", "°C", "°C", "°C",...
        "°C", "°C", "°C", "°C"];
    raw_data = struct();

    ic = 5;
    for i=1:68
        if i<=2
            opts.DataRange = 'C'+string(ic)+':P'+string(ic+5);
            ic = ic + 14;
        else
            if mod(i,2)
                opts.DataRange = 'C'+string(ic)+':P'+string(ic+5);
            else
                opts.DataRange = 'U'+string(ic)+':AH'+string(ic+5);
            ic = ic + 14;
        end
        end
        raw_data.(app.vars(i)) = readtable(path, opts, "UseExcel", false);
        end
        %save raw_data
        %load raw_data.mat raw_data;
        clear opts
        app.data = raw_data;
        app.years = raw_data.(app.vars(1)).ANO';
        end

    function plotData(app)
        pause(2)
        f1 = app.Variable1DropDown.Value; n1=f1;
        f2 = app.Variable2DropDown.Value; n2=f2;
        cb1 = find(app.vars==f1); cb2 = find(app.vars==f2);
        if app.AoDropDown.Value == "Todos"
            feat1 = app.data.(f1).MEDIA';
            if app.AmbosCheckBox.Value && cb1>2
                if mod(cb1,2)
                    f1_ = replace(f1,"1","2");
                else
                    f1_ = replace(f1,"2","1");
                end
                feat1_ = app.data.(f1_).MEDIA';
                feat1 = (feat1 + feat1_)/2;
                n1 = f1(1:end-1); %%Title and legend
            end
            feat2 = app.data.(f2).MEDIA';
            if app.AmbosCheckBox_2.Value && cb2>2
                if mod(cb2,2)
                    f2_ = replace(f2,"1","2");
                else

```

```

f2_ = replace(f2,"2","1");
end
feat2_ = app.data.(f2_).MEDIA';
feat2 = (feat2 + feat2_)/2;
n2 = f2(1:end-1); %%Title and legend
end
xvals =
datetime(2015,1,1,"Format","uuuu"):calyears(1):datetime(2020,1,1,"Format","u
uuu");
xlabs = strings(1,12); xlabs(1:2:end) = string(xvals);
else
year = app.AoDropDown.Value;
feat1 = table2array(app.data.(f1)(app.data.(f1).ANO == year, 2:end-1));
if app.AmbosCheckBox.Value && cb1>2
if mod(cb1,2)
f1_ = replace(f1,"1","2");
else
f1_ = replace(f1,"2","1");
end
feat1_ = table2array(app.data.(f1_)(app.data.(f1_).ANO == year, 2:end-1));
feat1 = (feat1 + feat1_)/2;
n1 = f1(1:end-1); %%Title and legend
end
feat2 = table2array(app.data.(f2)(app.data.(f2).ANO == year, 2:end-1));
if app.AmbosCheckBox_2.Value && cb2>2
if mod(cb2,2)
f2_ = replace(f2,"1","2");
else
f2_ = replace(f2,"2","1");
end
feat2_ = table2array(app.data.(f2_)(app.data.(f2_).ANO == year, 2:end-1));
feat2 = (feat2 + feat2_)/2;
n2 = f2(1:end-1); %%Title and legend
end
xvals =
datetime(double(string(year)),1,1,"Format","MMM"):calmonths(1):datetime(doub
le(string(year)),12,1,"Format","MMM");
% xlabs = string(xvals);
xlabs = string(["Ene", "Feb", "Mar", "Abr", "May", "Jun", "Jul", "Ago",
"Sep", "Oct", "Nov", "Dic"]);
%xlabs = strings(1,12); xlabs(1) = '0'; xlabs(end) = '1';
end
% Graphic aesthetics
app.UIAxes.reset;
app.UIAxes.FontSize = 20;
app.UIAxes.BackgroundColor = 'white';
yyaxis(app.UIAxes, 'left');
ylabel(app.UIAxes, sprintf('%s [%s]', n1, app.munits(app.vars==f1)));

```

```

app.UIAxes.YColor = 'k'; %#0072BD';
plot(app.UIAxes, xvals, feat1, 'k');%#b'); %values
app.UIAxes.YTickLabel = num2str(get(app.UIAxes, 'YTick')); %values
yyaxis(app.UIAxes, 'right');
ylabel(app.UIAxes, sprintf('%s [%s]', n2, app.munits(app.vars==f2)));
app.UIAxes.YColor = '#696969';% '#D95319';
plot(app.UIAxes, xvals, feat2, "Color", '#696969');%#r'); %values '#D95319'
app.UIAxes.YTickLabel = num2str(get(app.UIAxes, 'YTick')); %values
%datetick(app.UIAxes, 'x', 12, 'keeplimits');
app.UIAxes.XTickLabel = xlabs;
xlabel(app.UIAxes, 'Tiempo [años]')
grid(app.UIAxes, 'off');
legend(app.UIAxes, n1, n2, "Location", "best");

% Title
%titleString = sprintf('%s [%s] vs %s [%s]', n1, app.munits(app.vars==f1),
n2, app.munits(app.vars==f2));%, app.AoDropDown.Value);
%title(app.UIAxes, titleString);
hold(app.UIAxes, 'off');
end
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Code that executes after component creation
function startupFcn(app)
% OpenGL software % before starting APP Designer
% Loading data
getData(app);
% Showing DropDownLists
app.Variable1DropDown.Items = app.vars;
app.Variable2DropDown.Items = app.vars;
app.Variable2DropDown.Value = app.vars(2);
app.AoDropDown.Items = [{'Todos'} app.years];
% Plotting initial values
plotData(app);
end

% Value changed function: AmbosCheckBox, AmbosCheckBox_2,
% AoDropDown, Variable1DropDown, Variable2DropDown
function Variable1DropDownValueChanged(app, event)
%value = app.Variable1DropDown.Value;
plotData(app);
end

% Callback function

```

```

function AoDropDownValueChanged(app, event)
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Color = [1 1 1];
app.UIFigure.Position = [100 100 640 445];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';

% Create UIAxes
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAxes, 'Title')
xlabel(app.UIAxes, 'X')
ylabel(app.UIAxes, 'Y')
app.UIAxes.FontSize = 15;
app.UIAxes.Position = [29 77 586 354];

% Create Variable1DropDownLabel
app.Variable1DropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Variable1DropDownLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.Variable1DropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Variable1DropDownLabel.Position = [29 43 62 22];
app.Variable1DropDownLabel.Text = 'Variable 1';

% Create Variable1DropDown
app.Variable1DropDown = uidropdown(app.UIFigure);
app.Variable1DropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@Variable1DropDownValueChanged, true);
app.Variable1DropDown.BackgroundColor = [1 1 1];
app.Variable1DropDown.Position = [106 43 228 22];

% Create Variable2DropDownLabel
app.Variable2DropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Variable2DropDownLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.Variable2DropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Variable2DropDownLabel.Position = [29 13 59 22];
app.Variable2DropDownLabel.Text = 'Variable 2';

% Create Variable2DropDown
app.Variable2DropDown = uidropdown(app.UIFigure);

```

```

app.Variable2DropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@Variable1DropDownValueChanged, true);
app.Variable2DropDown.BackgroundColor = [1 1 1];
app.Variable2DropDown.Position = [106 13 228 22];
app.Variable2DropDown.Value = 'Option 2';

% Create AoDropDownLabel
app.AoDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.AoDropDownLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.AoDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.AoDropDownLabel.Position = [473 43 27 22];
app.AoDropDownLabel.Text = 'Año';

% Create AoDropDown
app.AoDropDown = uidropdown(app.UIFigure);
app.AoDropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@Variable1DropDownValueChanged, true);
app.AoDropDown.BackgroundColor = [1 1 1];
app.AoDropDown.Position = [515 43 100 22];

% Create AmbosCheckBox
app.AmbosCheckBox = uicheckbox(app.UIFigure);
app.AmbosCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@Variable1DropDownValueChanged, true);
app.AmbosCheckBox.Text = 'Ambos';
app.AmbosCheckBox.Position = [351 43 60 22];

% Create AmbosCheckBox_2
app.AmbosCheckBox_2 = uicheckbox(app.UIFigure);
app.AmbosCheckBox_2.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@Variable1DropDownValueChanged, true);
app.AmbosCheckBox_2.Text = 'Ambos';
app.AmbosCheckBox_2.Position = [351 13 60 22];

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = CentralHE

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

```

```
% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

% Execute the startup function
runStartupFcn(app, @startupFcn)

if nargin == 0
clear app
end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

% Delete UIFigure when app is deleted
delete(app.UIFigure)
end
end
end
```

ANEXO 3

Pruebas Inyectores

DATOS			HORA						
Item	Descripción	Unidad	08H35	09H30	09H48	10H06	10H20	10H35	10H45
			UNIDAD GENERADORA 1						
1	Potencia Activa	Mw	35,00	34,05	30,05	24,99	20,03	14,98	10,04
2	Potencia Reactiva	MVar	0	0	0	0	0	0	0
3	Velocidad	r.p.m.	515,9	515,8	515,9	516,2	515,9	516,0	515,4
4	Caudal Turb. Casa Máquinas	m ³ /s	8,92	8,55	7,57	6,39	5,15	3,86	2,61
5	Caudal Turb. Cámara Válvulas	m ³ /s	14,90	15,70	15,70	12,75	10,27	7,76	5,39
6	Presión Tubería Cámara Válvulas	Kg/cm ²	2,81	2,98	3,30	4,10	4,40	4,60	4,90
7	Altura Agua Cámara Compuertas	m	15,60	15,75	15,53	15,32	15,19	15,10	15,02
8	Presión A/Abajo Vál. Esférica	bar	42,5	42,5	42,7	44	44,7	45	45,3
9	Presión A/Arriba Vál. Esférica	bar	42,5	42,3	43,6	44,55	45	45,3	45,8
10	Diferencial de presión	Inch	247,6	228,4	177,7	127,8	83,6	47,9	23,5
11	Límite de apertura inyectores	%	97,3	90,7	76,8	63	50,1	38,7	27,6
12	Porcentaje apertura Inyector 1	%	0,899	0,764	0,564	0,418	0,315	0,231	0,158
13	Porcentaje apertura Inyector 2	%	0,896	0,760	0,561	0,413	0,311	0,226	0,153
14	Porcentaje apertura Inyector 3	%	0,889	0,751	0,552	0,412	0,300	0,216	0,143
15	Porcentaje apertura Inyector 4	%	0,912	0,773	0,574	0,427	0,326	0,243	0,169
16	Porcentaje apertura Inyector 5	%	0,907	0,772	0,573	0,426	0,325	0,238	0,166
17	Porcentaje apertura Inyector 6	%	0,913	0,775	0,576	0,428	0,329	0,243	0,170
			UNIDAD GENERADORA 2						
1	Potencia Activa	Mw	34,5	34,01	30,02	24,95	20,06	14,96	10,06
2	Potencia Reactiva	MVar	0	0	0	0	0	0	0
3	Velocidad	r.p.m.	518,6	518,8	518,5	519,1	518,8	518,9	518,4
4	Caudal Turb. Casa Máquinas	m ³ /s	10,11	9,54	8,45	6,66	5,34	4,02	2,79
5	Caudal Turb. Cámara Válvulas	m ³ /s	14,90	15,70	15,70	12,75	10,27	7,76	5,39
6	Presión Tubería Cámara Válvulas	Kg/cm ²	2,81	2,98	3,30	4,10	4,40	4,60	4,90
7	Altura Agua Cámara Compuertas	m	15,6	15,75	15,53	15,32	15,19	15,1	15,02
8	Presión A/Abajo Vál. Esférica	bar	41,9	42,2	43	43,8	44,3	44,6	45
9	Presión A/Arriba Vál. Esférica	bar	41,5	41,9	42,7	43,45	43,8	44,2	44,6
10	Diferencial de presión	Inch	318,1	281,1	205,8	137,5	88,2	50,3	24,5
11	Límite de apertura inyectores	%	97,3	91,5	77,3	63,4	49,3	37,9	26,3
12	Porcentaje apertura Inyector 1	%	0,934	0,783	0,567	0,419	0,310	0,224	0,148
13	Porcentaje apertura Inyector 2	%	0,938	0,775	0,576	0,428	0,319	0,229	0,155
14	Porcentaje apertura Inyector 3	%	0,923	0,779	0,567	0,420	0,310	0,224	0,149
15	Porcentaje apertura Inyector 4	%	0,923	0,769	0,572	0,424	0,317	0,229	0,151
16	Porcentaje apertura Inyector 5	%	0,915	0,768	0,560	0,413	0,309	0,216	0,143
17	Porcentaje apertura Inyector 6	%	0,919	0,771	0,566	0,418	0,308	0,221	0,149
18	Apertura física Inyector 1	mm	16,70	14,50	10,80	8,20	6,30	4,70	3,45
19	Apertura física Inyector 2	mm	17,25	14,85	11,30	8,85	7,30	5,60	4,15
20	Apertura física Inyector 3	mm	17,60	15,40	11,75	9,10	7,10	5,60	4,40
21	Apertura física Inyector 4	mm	17,10	14,80	11,05	8,35	6,70	5,45	4,20
22	Apertura física Inyector 5	mm	16,80	14,60	10,90	8,35	6,40	4,90	3,70
23	Apertura física Inyector 6	mm	17,20	15,00	11,45	8,80	6,90	5,95	4,10
24	Nivel de embalse 07H00	m.s.n.m.	3252,39	3252,39	3252,39	3252,39	3252,39	3252,39	3252,39
25	Nivel de embalse 13H00	m.s.n.m.	3252,34	3252,34	3252,34	3252,34	3252,34	3252,34	3252,34

Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4	Inyector 5	Inyector 6	Caudal 1	Caudal 2	Caudal 3	Caudal 4	Caudal 5	Caudal 6	Potencia 1	Potencia 2	Nominal	Eficiencia G1	Eficiencia G2	Diferencia	
0,899	0,896	0,889	0,912	0,907	0,913	8,92	8,92	8,92	8,92	8,92	8,92	35,00	33,21	444	38,81	0,90	0,86	0,05
0,764	0,760	0,751	0,773	0,772	0,775	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	34,05	27,20	444	37,20	0,92	0,74	0,17
0,564	0,561	0,552	0,574	0,573	0,576	7,57	7,57	7,57	7,57	7,57	7,57	30,05	18,34	444	32,94	0,91	0,56	0,36
0,418	0,413	0,412	0,427	0,426	0,428	6,39	6,39	6,39	6,39	6,39	6,39	24,99	11,30	444	27,80	0,90	0,41	0,49
0,315	0,311	0,300	0,326	0,325	0,329	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	20,03	6,91	444	22,41	0,89	0,31	0,59
0,231	0,226	0,216	0,243	0,238	0,243	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	14,98	3,76	444	16,80	0,89	0,22	0,67

ANEXO 4

Registro Fotográfico



Laguna Pisayambo.



Túnel de acceso a casa de máquinas Pucará.



Túnel de casa de máquinas Pucará.



Piso principal casa de máquinas pucará.



Recinto de transformadores de excitación y servicios auxiliares U1 y U2.



Recinto del eje de la turbina U1.



Piso de válvulas.



Válvula esférica



Rodete de la turbina pelton.

ANEXO 5

Reguladores de Velocidad y Sistema de Excitación Central Hidroeléctrica Pucará

2 UNIDADES DE 40 MVA - TURBINAS PELTON

- REGULADOR DE VELOCIDAD: U1

- Marca: NEYRPIC_R
- Modelo: 1500
- OE: 33 530 320

Los módulos NEYRPIC 1500 y EXT- NEYRPIC 1500 están asociados para controlar un deflector y 6 inyectores

Parámetro	Valor
Alimentación principal	125 VDC +10 / -15%
Alimentación Auxiliar	127 VAC +10 / -15% 60Hz

PARAMETROS

N°	Nombre	Observaciones	Defecto	Min	Max	ajuste
1	CF-DEC	Déclage sur L'entrée consigne analogique	0	-10	10	-0.101
2	CF-GAIN	Gain sur L'entrée consigne analogique	1	0	10	2.487
3	CF-MDEF	Seuil maxi de défaut consigne analogique	1.25	-2047	2047	1.25
4	CF-SDEF	Seuil mini de défaut consigne analogique	-1	-2047	2047	-0.3

6	CF-TRA1	Tiempo de evolución del consignador (grupo acoplado)	60	5	500	100
7	CF-TRA2	Tiempo de evolución del consignador (grupo en vacío)	30	5	500	100
16	JD-S24	Umbral de conmutación 2&4 chorros (+0/-0.05)	0.30	0	1	0.3
17	JD-S46	Umbral de conmutación 4&6 chorros (+0/-0.05)	0.6	0	1	0.6
23	JD-Tfqe	Constante de tiempo sobre el caudal estimado	1	0.2	100	1.0
25	LO-DEM	Limitador de apertura en el arranque	0.4	0	1	0.25
26	LO-RAB	Limitador de apertura de rebatimiento	0.2	0	1	0.3
28	LO-TR	Tiempo de rampa del limitador incremental	10	5	500	100
29	RV-Bp	Estatismo permanente	0.05	0	0.1	0.05
30	RV-Bt1	Estatismo transitorio grupo acoplado	0.6	0.01	10	0.5
31	RV-Bt2	Estatismo transitorio en marcha en vacío	0.7	0.01	10	0.6
43	RV-Td1	Constante de tiempo integral PI grupo acoplado	3	0	100	5.5
44	RV-Td2	Constante de tiempo integral PI en marcha en vacío	4	0	100	s/d
46	SF-DEC	Déclage sur la sortie fréquence	0.2	0	10	0.199

47	SF-GAIN	Gain sur la sortie fréquence	0.4	0	10	0.399
48	SL-DEC	Déclage sur la sortie limite d'ouverture	0.2	-10	10	0.202
49	SL-GAIN	Gain sur la sortie limite d'ouverture	0.8	0	10	0.795
50	SY-TST	Utilización GENERADOR BF de STATUS si =0	0	0	3	s/d
56	VT-GLI	Coefficient de glissement (sec)	-10	-100	100	-10
57	VT-Ins	Insensibilidad del tacómetro principal (%)	0	0	10	0.0
58	VT-N	Ganancia del acelerotacómetro principal	5	0.1	10	s/d
61	VT-SRAB	Umbral de velocidad de rebatimiento (%): En disyuntor abierto, si la velocidad es superior a VT-SRAB, la apertura estará limitada a LO-RAB	0.5	0	1	0.399
67	VT-Tnd1	Constante de tiempo acelerómetro deflector grupo acoplado	0.125	0.05	10	0.5
68	VT-Tnd2	Constante de tiempo acelerómetro deflector en marcha en vacio	0.5	0.05	10	1.0
69	VT-Tni1	Constante de tiempo acelerómetro inyector grupo acoplado	0.125	0.05	10	0.4
70	VT-Tni2	Constante de tiempo acelerómetro deflector en marcha en vacio	0.5	0.05	10	2.0

- **REGULADOR DE VELOCIDAD: U2**

- o Marca: NEYRPIC_R
- o Modelo: 1500
- o OE: 33 530 320

Los módulos NEYRPIC 1500 y EXT- NEYRPIC 1500 están asociados para controlar un deflector y 6 inyectores

Parámetro	Valor
Alimentación principal	125 VDC +10 / -15%
Alimentación Auxiliar	127 VAC +10 / -15% 60Hz

PARAMETROS

N°	Nombre	Observaciones	Defecto	Min	Max	ajuste
1	CF-DEC	Déclage sur L'entrée consigne analogique	0	-10	10	-0.099
2	CF-GAIN	Gain sur L'entrée consigne analogique	1	0	10	2.486
3	CF-MDEF	Seuil maxi de défaut consigne analogique	1.25	-2047	2047	1.25
4	CF-SDEF	Seuil mini de défaut consigne analogique	-1	-2047	2047	-0.3
6	CF-TRA1	Tiempo de evolución del consignador (grupo acoplado)	60	5	500	100
7	CF-TRA2	Tiempo de evolución del consignador (grupo en vacío)	30	5	500	100

16	JD-S24	Umbral de conmutación 2&4 chorros (+0/-0.05)	0.30	0	1	0.3
17	JD-S46	Umbral de conmutación 4&6 chorros (+0/-0.05)	0.6	0	1	0.6
23	JD-Tfqe	Constante de tiempo sobre el caudal estimado	1	0.2	100	1.0
25	LO-DEM	Limitador de apertura en el arranque	0.4	0	1	0.25
26	LO-RAB	Limitador de apertura de rebatimiento	0.2	0	1	0.3
28	LO-TR	Tiempo de rampa del limitador incremental	10	5	500	100
29	RV-Bp	Estatismo permanente	0.05	0	0.1	0.05
30	RV-Bt1	Estatismo transitorio grupo acoplado	0.6	0.01	10	0.5
31	RV-Bt2	Estatismo transitorio en marcha en vacío	0.7	0.01	10	0.6
43	RV-Td1	Constante de tiempo integral PI grupo acoplado	3	0	100	5.5
44	RV-Td2	Constante de tiempo integral PI en marcha en vacío	4	0	100	s/d
46	SF-DEC	Déclage sur la sortie fréquence	0.2	0	10	0.197
47	SF-GAIN	Gain sur la sortie fréquence	0.4	0	10	0.402
48	SL-DEC	Déclage sur la sortie limite d'ouverture	0.2	-10	10	0.201
49	SL-GAIN	Gain sur la sortie limite d'ouverture	0.8	0	10	0.795

50	SY-TST	Utilización GENERADOR BF de STATUS si =0	0	0	3	s/d
56	VT-GLI	Coefficient de glissement (sec)	-10	-100	100	-10
57	VT-Ins	Insensibilidad del tacómetro principal (%)	0	0	10	0.0
58	VT-N	Ganancia del acelerotacómetro principal	5	0.1	10	s/d
61	VT-SRAB	Umbral de velocidad de rebatimiento (%): En disyuntor abierto, si la velocidad es superior a VT-SRAB, la apertura estará limitada a LO-RAB	0.5	0	1	0.399
67	VT-Tnd1	Constante de tiempo acelerómetro deflector grupo acoplado	0.125	0.05	10	0.5
68	VT-Tnd2	Constante de tiempo acelerómetro deflector en marcha en vacío	0.5	0.05	10	1.0
69	VT-Tni1	Constante de tiempo acelerómetro inyector grupo acoplado	0.125	0.05	10	0.4
70	VT-Tni2	Constante de tiempo acelerómetro deflector en marcha en vacío	0.5	0.05	10	2.0

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN:

El excitador está alimentado por el alternador a través del transformador de excitación y los puentes de rectificación.

Características principales del excitador:

Tipo RYK 139-15

Auto ventilación por rotación del conjunto

Nominal: inductor

$U_{fn} = 40 \text{ V}$

$I_{fn} = 42 \text{ A}$

Tope:

$U_{ft} = 77 \text{ V}$

$I_{ft} = 86 \text{ A}$

Relación : 2.05 I_{fn} durante 4 segundos.

Excitación sin carga : Inductor

$I_{fo} = 20 \text{ A}$

TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN:

Tipo: trifásico seco

Tensión primaria : $13.8 \text{ kV}/\sqrt{3}$

Tensión secundaria: $3 \times 165 \text{ V}$

Potencia: 9 kVA

Frecuencia: 60 Hz

Conexión del transformador en $Yzn1$

REGULADOR DE TENSION:

- Marca: MICROREC
- Tecnología: K4.1
- OE: 33530890
- Arquitectura: 1/1 con manual analógico

Parámetro	Valor	Min./Max.
○ Corriente de excitación sin carga	20.00 A	0/1000
○ Corriente de excitación nominal	42.00 A	0/2000
○ Corriente de excitación de tope	86.00 A	0/5000
○ Corriente de tiempo del excitador sin carga	0.50 s	0/15
○ Tensión de excitación máx. en Van	111.00 V	0/1000
○ Tensión de excitación nominal	40.00 V	0/500
○ Corriente de rotor sin carga	0.00 A	0/4000
○ Corriente de rotor nominal	0.00 A	0/+20000
○ Frecuencia	60.00 Hz	0/120
○ Potencia activa	38.00 MW	0/3000
○ Potencia aparente	40.00 MVA	0/3000
○ Constante de tiempo de generador sin carga	4.70 s	0/50
○ Tensión de estator nominal	13.80 kV	0/30
○ Reactancia sincronía	1.44 pu	0/4
○ Corriente de estator nominal	1.673 kA	0/150
○ Potencia reactiva nominal	12.49 MVAR	0/2000
○ Factor de potencia nominal	0.950	0/+1

VIAS DE REGULACION:

Vía automática:

Campo de ajuste de la consigna automática:	90% a 110% de I_{fn}
Limitación normal de la corriente de excitación:	110% de I_{fn}
Limitación de tope de la corriente de excitación:	205% de I_{fn}
Tiempo de excitación de tope:	4 s.
Duración de prohibición del tope:	15 min.
Limitación de flujo (U/F):	$0.88 \cdot U_n / F_n$ y $1.12 \cdot U_n / F_n$
Estabilizador de potencia eléctrica:	+/-5% de S_n
Limitación de Su excitación:	Ajustado en el sitio
Limitación de la corriente del Estator:	110% de I_n
Limitación de la tensión del estator:	112% de U_n
Ajuste de la compensación del estatismo:	-20% a +10%
Tiempo de respuesta del regulador:	menos de 20 ms

Vía manual:

Campo de ajuste de la consigna manual:	50% de la corriente sin carga a 110% de I_{fn}
--	---

Característica común:

Campo de variación de la frecuencia:	45 Hz a 65 Hz
--------------------------------------	---------------