

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS DEL IMPACTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS EN  
LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SAN JACINTO, EN FUNCIÓN DE LA  
VARIABILIDAD DEL NIVEL DE AGUA EN EL EMBALSE Y EL CAUDAL, CON  
EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA.”**

**Por:**

**ILSEN LIZETH TELLEZ RUEDA**

Proyecto de grado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requerimiento para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

**SEMESTRE I-2025**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DEL IMPÁCTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS EN  
LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SAN JACINTO, EN FUNCIÓN DE LA  
VARIABILIDAD DEL NIVEL DE AGUA EN EL EMBALSE Y EL CAUDAL, CON  
EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA”**

**Por:**

**ILSEN LIZETH TELLEZ RUEDA**

Proyecto de grado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requerimiento para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

**SEMESTRE I-2025**

### **Dedicatoria**

Este trabajo dedico con todo mi cariño a mis padres, Eva Dina y Juan Carlos por su apoyo y comprensión que supieron brindarme para alcanzar esta meta en mi vida.

A mi familia, Luis Miguel, Carlos Uziel y Jhonatan Lisandro, por brindarme su comprensión y apoyo en todo momento.

Y por último a mi hermana Carla y mi Suegra María por el apoyo en los momentos más necesitados.

**Dedicatoria**

**Agradecimiento**

**Resumen**

**ÍNDICE**

**Página**

## **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

|       |                                        |   |
|-------|----------------------------------------|---|
| 1.1   | INTRODUCCIÓN. ....                     | 1 |
| 1.2   | ANTECEDENTES.....                      | 2 |
| 1.3   | EL PROBLEMA. ....                      | 3 |
| 1.3.1 | Planteamiento del problema. ....       | 3 |
| 1.3.2 | Formulación del problema. ....         | 3 |
| 1.3.3 | Sistematización del problema. ....     | 3 |
| 1.4   | OBJETIVOS. ....                        | 4 |
| 1.4.1 | Objetivo General. ....                 | 4 |
| 1.4.2 | Objetivos Específicos.....             | 4 |
| 1.5   | JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 1.5.1 | Justificación teórica.....             | 4 |
| 1.5.2 | Justificación metodológica.....        | 5 |
| 1.5.3 | Justificación práctica.....            | 5 |
| 1.6   | HIPÓTESIS A INVESTIGAR. ....           | 5 |

## CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA

|       |                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1   | MARCO TEÓRICO.....                                                             | 6  |
| 2.1.1 | PÉRDIDAS, POTENCIAS Y RENDIMIENTOS.....                                        | 6  |
| 2.2   | MARCO CONCEPTUAL.....                                                          | 8  |
| 2.2.1 | Energía hidráulica. ....                                                       | 8  |
| 2.2.2 | Potencial hidroeléctrico de Bolivia. ....                                      | 10 |
| 2.2.3 | Centrales hidroeléctricas. ....                                                | 12 |
| 2.2.4 | Componentes de una central hidroeléctrica con agua embalsada. ....             | 14 |
| 2.2.5 | Clasificación de centrales hidroeléctricas. ....                               | 18 |
| 2.2.6 | Turbinas hidráulicas. ....                                                     | 20 |
| 2.2.7 | Clasificación.....                                                             | 21 |
| 2.2.8 | Ventajas y desventajas entre grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas..... | 33 |
| 2.2.9 | Diagrama colinar. ....                                                         | 34 |
| 2.3   | MARCO ESPACIAL. ....                                                           | 36 |
| 2.3.1 | Presa. ....                                                                    | 36 |
| 2.3.2 | Colchonetas inflables. ....                                                    | 37 |
| 2.3.3 | El dique de la Tablada. ....                                                   | 38 |
| 2.3.4 | Central hidroeléctrica. ....                                                   | 39 |
| 2.4   | MARCO TEMPORAL.....                                                            | 40 |

### **CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO**

|        |                                                           |    |
|--------|-----------------------------------------------------------|----|
| 3.1    | PROYECTO MÚLTIPLE SAN JACINTO.....                        | 41 |
| 3.2    | COMPONENTES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DEL (PMSJ). .... | 41 |
| 3.2.1  | Obra de toma.....                                         | 41 |
| 3.2.2  | Túnel de Carga. ....                                      | 42 |
| 3.2.3  | Chimenea de Equilibrio. ....                              | 42 |
| 3.2.4  | 2.3.8. Cámara de Válvulas. ....                           | 43 |
| 3.2.5  | Tubería Forzada. ....                                     | 45 |
| 3.2.6  | Caudalímetro.....                                         | 47 |
| 3.2.7  | Turbinas.....                                             | 50 |
| 3.2.8  | Tubo de aspiración. ....                                  | 51 |
| 3.2.9  | Canal de Desagüe.....                                     | 52 |
| 3.2.10 | Diagrama Colinar.....                                     | 54 |
| 3.2.11 | Sistema Scada. ....                                       | 55 |
| 3.2.12 | Mantenimiento.....                                        | 56 |
| 3.3    | PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA. ....                     | 57 |
| 3.4    | INFORMACIÓN TÉCNICA. ....                                 | 57 |

### **CAPITULO IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

|       |                                                                            |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | ANÁLISIS Y RESULTADOS.....                                                 | 61 |
| 4.1.1 | Análisis energético disponible con la variación del nivel del embalse..... | 61 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.2 Cálculo de la Potencia Teórica .....                                                       | 64 |
| 4.1.3 Potencia Real.....                                                                         | 69 |
| 4.1.4 Interpretación de la curva de potencia. ....                                               | 73 |
| 4.1.5 Rendimiento de las turbinas. ....                                                          | 76 |
| 4.1.6 Producción Diaria de Energía Eléctrica en la Central Hidroeléctrica<br>de San Jacinto..... | 86 |

## **CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 5.1 CONCLUSIONES. ....    | 91 |
| 5.2 RECOMENDACIONES. .... | 92 |

- BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.
- ANEXOS

ANEXO 1: POTÉNCIA REAL, TEMPERATURA, NIVEL DEL EMBALSE

ANEXO 2: NIVELES DEL EMBALSE DESDE 2021-2025 8:00 A.m.

ANEXO 3: INFORMACIÓN TÉCNICA

ANEXOS 4: DIAGRAMA COLINAR

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Rueda Hidráulica Accionando Molino.....                                               | 9  |
| <b>Figura 2:</b> Potencial Hidroeléctrico de Bolivia.....                                              | 11 |
| <b>Figura 3:</b> Capacidad de Generación Hidráulica en Bolivia a fines del 2015 (Ae,2015). ....        | 12 |
| <b>Figura 4:</b> Central de Agua Fluyente. ....                                                        | 13 |
| <b>Figura 5:</b> Central de agua Embalsada. ....                                                       | 14 |
| <b>Figura 6:</b> Componentes de una central hidroeléctrica. ....                                       | 15 |
| <b>Figura 7:</b> Instalación de una Turbina Hidráulica. ....                                           | 21 |
| <b>Figura 8:</b> Turbinas PELTON con dos inyectores ....                                               | 23 |
| <b>Figura 9:</b> Esquema de una Turbina PELTON.....                                                    | 23 |
| <b>Figura 10:</b> Turbina MICHELL-BANKI. ....                                                          | 24 |
| <b>Figura 11:</b> Esquema de la turbina TURGO. ....                                                    | 25 |
| <b>Figura 12:</b> Sección de una turbina FRANCIS Típica.....                                           | 27 |
| <b>Figura 13:</b> Sección de perfil de una Turbina FRANCIS. ....                                       | 28 |
| <b>Figura 14:</b> Turbina HÉLICE.....                                                                  | 30 |
| <b>Figura 15:</b> Turbina KAPLAN.....                                                                  | 31 |
| <b>Figura 16:</b> Esquema de la Turbina DÉRIAZ ....                                                    | 32 |
| <b>Figura 17:</b> Turbina BULBO. ....                                                                  | 33 |
| <b>FIGURA 18:</b> Eficiencia de La Turbina Francis en Función de Descarga del agua<br>y la altura..... | 35 |
| <b>Figura 19:</b> Presas de San Jacinto.....                                                           | 36 |
| <b>Figura 20:</b> Presas Inflables. ....                                                               | 37 |
| <b>Figura 21:</b> Presas Inflables. ....                                                               | 38 |
| <b>Figura 22:</b> Dique de la Tablada.....                                                             | 38 |
| <b>Figura 23:</b> Ubicación de las obras ejecutadas.....                                               | 39 |
| <b>Figura 24:</b> Obra de toma.....                                                                    | 41 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 25:</b> Chimenea de Equilibrio. ....                     | 43 |
| <b>Figura 26:</b> Válvulas. ....                                   | 44 |
| <b>Figura 27:</b> Pantalón. ....                                   | 44 |
| <b>Figura 28:</b> Tuberías Forzadas. ....                          | 46 |
| <b>Figura 29:</b> Tuberías Forzadas. ....                          | 47 |
| <b>Figura 30:</b> Instalación del Caudalímetro. ....               | 47 |
| <b>Figura 31:</b> Ubicación del Caudalímetro. ....                 | 48 |
| <b>Figura 32</b> Tablero gnal. de control línea Tarija.....        | 48 |
| <b>Figura 33:</b> Plano referencial del sistema. ....              | 49 |
| <b>Figura 34:</b> Ubicación de las Turbinas. ....                  | 51 |
| <b>Figura 35:</b> Ubicación del Tubo de Aspiración.....            | 51 |
| <b>Figura 36:</b> Tubo de Aspiración. ....                         | 52 |
| <b>Figura 37:</b> Canal de salida del agua. ....                   | 52 |
| <b>Figura 38:</b> Canal de desagüe.....                            | 53 |
| <b>Figura 39:</b> Canal de restitución. ....                       | 53 |
| <b>Figura 40:</b> Diagrama Colinar.....                            | 54 |
| <b>Figura 41:</b> Sistema Scada de la Central Hidroeléctrica. .... | 55 |
| <b>Figura 42:</b> Sistema de Mantenimiento.....                    | 56 |
| <b>Figura 43:</b> Croquis de la Posición de las Turbinas.....      | 58 |
| <b>Figura 44:</b> Croquis de los Niveles del Embalse. ....         | 59 |
| <b>Figura 45:</b> Variación del Nivel del Embalse Anual 2021 ..... | 62 |
| <b>Figura 46:</b> Variación del Nivel del Embalse Anual 2022 ..... | 62 |
| <b>Figura 47:</b> Variación del Nivel de Embalse Anual 2023. ....  | 63 |
| <b>Figura 48:</b> Variación del Nivel de Embalse Anual 2024. ....  | 63 |
| <b>Figura 49:</b> Variación del Nivel de Embalse Anual 2025. ....  | 64 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 50:</b> CURVA DE POTENCIA UNIDAD “1” 2025. ....          | 74 |
| <b>Figura 51:</b> CURVA DE POTENCIA UNIDAD “2” 2025. ....          | 74 |
| <b>Figura 52:</b> CURVA DE POTENCIA UNIDAD “1” 2024. ....          | 75 |
| <b>Figura 53:</b> CURVA DE POTENCIA UNIDAD “2” 2024. ....          | 75 |
| <b>Figura 54:</b> RENDIMIENTO UNIDAD "1" 2024.....                 | 78 |
| <b>Figura 55:</b> RENDIMIENTO VS CAUDAL DE LA UNIDAD "2" 2024..... | 80 |
| <b>Figura 56:</b> RENDIMIENTO VS CAUDAL UNIDAD "1" 2025. ....      | 83 |
| <b>Figura 57:</b> RENDIMIENTO VS CAUDAL UNIDAD "2" 2025.....       | 85 |
| <b>Figura 58:</b> PRODUCCIÓN DIARIA ÉPOCA DE LLUVIA. ....          | 88 |
| <b>Figura 59:</b> PRODUCCIÓN DIARIA EN ÉPOCA DE ESTIAJE.....       | 90 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1:</b> Clasificación Según la Potencia para Bolivia.....                              | 19 |
| <b>Tabla 2:</b> Ventaja y desventajas entre grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas. .... | 34 |
| <b>Tabla 3:</b> Características del Túnel de Carga .....                                       | 42 |
| <b>Tabla 4:</b> Características de la Chimenea de Equilibrio .....                             | 42 |
| <b>Tabla 5:</b> Características de la Cámara de Válvulas. ....                                 | 43 |
| <b>Tabla 6:</b> Características de las Tuberías Forzadas. ....                                 | 45 |
| <b>Tabla 7:</b> Características de Diseño de las Turbinas.....                                 | 50 |
| <b>Tabla 8:</b> Tabla de Alturas de Nivel.....                                                 | 60 |
| <b>Tabla 9:</b> Potencia Teórica Unidad “1” 2024. ....                                         | 65 |
| <b>Tabla 10:</b> Potencia Teórica Unidad “2” 2024.. ....                                       | 66 |
| <b>Tabla 11:</b> Potencia Teórica Unidad “1” 2025. ....                                        | 67 |
| <b>Tabla 12:</b> Potencia Teórica Unidad “2” 2025. ....                                        | 68 |
| <b>Tabla 13:</b> Potencia Real 2024. ....                                                      | 71 |
| <b>Tabla 14:</b> Potencia Real 2025. ....                                                      | 72 |
| <b>Tabla 15:</b> RENDIMIENTO DE LA UNIDAD “1”2024.....                                         | 76 |
| <b>Tabla 16:</b> Valores de Operación Óptima Unidad “1” 2024 .....                             | 78 |
| <b>Tabla 17:</b> RENDIMIENDO DE UNIDAD “2” 2024 .....                                          | 79 |
| <b>Tabla 18:</b> Valores de Operación Óptima Unidad “2” 2024.....                              | 80 |
| <b>Tabla 19:</b> RENDIMIENTO DE LA UNIDAD “1” 2025.....                                        | 82 |
| <b>Tabla 20:</b> Valores de Operación Óptima Unidad”1”2025 .....                               | 83 |
| <b>Tabla 21:</b> RENDIMIENTO UNIDAD “2” 2025 .....                                             | 84 |
| <b>Tabla 22:</b> Valores de Operación Óptima Unidad “2”2025 .....                              | 85 |
| <b>Tabla 23:</b> Producción Diaria en Época de Lluvia. ....                                    | 87 |
| <b>Tabla 24:</b> Producción Diaria en Época de Estiaje.....                                    | 89 |