

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Análisis del flujo de potencia del sistema
eléctrico horno N.º 4 por incremento de motores
mediante el software ETAP para garantizar la
continuidad de suministro eléctrico-Planta
Condorcocha**

Carlos Raydo Huayta Asencio

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2017

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de "[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)"

ASESORA

ING. ROSARIO MÁRQUEZ ESPÍRITU

DEDICATORIA

A Dios por guiar mis senderos, permitir que siga en el buen camino, afianzar mis convicciones y mis aspiraciones y estar al cuidado de mí y a los que más quiero.

A mis padres por haberme dado la vida, por sus cuidados, de fundar su confianza en mí brindándome su apoyo y su amor; a mí esposa por su comprensión y amor incondicional, a mis hijos por las alegrías bondades y comprensiones siendo su mayor deseo mi superación.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| PORTADA | i |
| ASESORA | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| ÍNDICE | iv |
| LISTA DE TABLAS | vii |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN..... | ix |
| INTRODUCCIÓN..... | x |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.2.1. PROBLEMA GENERAL | 2 |
| 1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS..... | 2 |
| 1.3. OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| 1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO | 3 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 3 |
| 1.4.1. JUSTIFICACIÓN GENERAL | 3 |
| 1.4.2. IMPORTANCIA..... | 4 |
| 1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 5 |
| 1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL | 5 |
| 1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | 5 |
| 1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES..... | 5 |
| 1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE | 5 |
| 1.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE..... | 5 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN | 6 |
| 2.2. MOTOR ELÉCTRICO..... | 7 |
| 2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES SEGÚN EL TIPO DE CORRIENTE UTILIZADA EN SU ALIMENTACIÓN | 8 |
| 2.2.2. MOTORES ASÍNCRONOS | 9 |
| 2.2.3. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ASÍNCRONO | 10 |
| 2.2.4. CONSTITUCIÓN DEL MOTOR ASÍNCRONO | 11 |
| 2.2.5. MOTORES ASÍNCRONOS DE ROTOR BOBINADO | 11 |
| 2.2.6. MOTORES ASÍNCRONOS TIPO DE JAULA DE ARDILLA | 12 |
| 2.2.7. ARRANQUES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN DE ROTOR BOBINADO | 13 |
| 2.3. VARIADOR DE FRECUENCIA..... | 18 |
| 2.3.1. ETAPAS OPERATIVAS Y CONTROL DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD | 20 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.4. | CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA | 20 |
| 2.4.1. | MOTORES DE INDUCCIÓN DE PEQUEÑA Y GRAN CAPACIDAD | 21 |
| 2.4.2. | MOTORES OPERANDO EN VACÍO | 21 |
| 2.4.3. | MOTORES SOBREDIMENSIONADOS | 21 |
| 2.4.4. | HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO VOLTAICO | 22 |
| 2.4.5. | CONSECUENCIAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA | 22 |
| 2.5. | CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE EL USO DE CONDENSADORES | 24 |
| 2.5.1. | MÉTODOS DE COMPENSACIÓN | 25 |
| 2.5.2. | TIPOS DE COMPENSACIÓN | 26 |
| 2.6. | FLUJO DE POTENCIA | 30 |
| 2.6.1. | MODELO DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA | 30 |
| 2.6.2. | FORMULACIÓN DE LAS ECUACIONES POR EL MÉTODO DE NEWTON - RAPHSON | 34 |
| 2.7. | CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE CORTOCIRCUITO | 38 |
| 2.7.1. | CRITERIO Y METODOLOGÍA | 38 |
| 2.7.2. | CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN | 42 |
| 2.8. | SOFTWARE DE ANÁLISIS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA ETAP | 45 |
| 2.8.1. | FLUJO DE CARGA | 45 |
| 2.8.2. | DATOS DE ENTRADA | 46 |
| 2.8.3. | DATOS DE SALIDA (RESULTADOS) | 47 |
| CAPÍTULO III ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO | | 49 |
| 3.1. | GENERALIDADES | 49 |
| 3.1.1. | ANTECEDENTES | 49 |
| 3.2. | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO. | 50 |
| 3.2.1. | EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO IV. | 52 |
| 3.2.2. | PARÁMETROS DE LA RED EQUIVALENTE | 53 |
| 3.3. | DEMANDA CONSIDERADA | 54 |
| 3.3.1. | METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DEMANDA. 55 | |
| 3.3.2. | DEMANDA CONSIDERADA PARA LAS SIMULACIONES | 56 |
| 3.4. | PERFIL DE TENSIONES | 56 |
| 3.5. | ANÁLISIS DE FLUJO DE POTENCIA | 57 |
| 3.5.1. | METODOLOGÍA | 58 |
| 3.5.2. | CASOS SIMULADOS | 59 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA DEL FLUJO DE POTENCIA ELÉCTRICA | | 61 |
| 4.1. | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 61 |
| 4.1.1. | RESULTADOS DE PERFIL DE TENSIÓN EN BARRAS-SITUACIÓN ACTUAL – CASO 01 61 | |
| 4.1.2. | SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES-SITUACIÓN ACTUAL | 63 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1.3. | RESULTADOS DE PERFIL DE TENSIÓN EN BARRAS - CASO 02..... | 65 |
| 4.1.4. | RESULTADOS DE SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA - CASO 02..... | 66 |
| 4.1.5. | RESULTADOS DE PERFIL DE TENSIÓN EN BARRAS – (CASO 03)..... | 68 |
| 4.1.6. | RESULTADOS DE SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA – (CASO 03) | 69 |
| 4.1.7. | COMPARACIÓN DE CARGABILIDAD TRANSFORMADOR 20 MVA T1 | 71 |
| 4.2. | ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO | 72 |
| 4.2.1. | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO | 72 |
| 4.3. | PRUEBAS DE HIPÓTESIS GENERAL | 73 |
| 4.4. | PRUEBAS DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS..... | 77 |
| 4.5. | DISCUSION DE RESULTADOS | 78 |
| | CONCLUSIONES..... | 80 |
| | RECOMENDACIONES | 81 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 82 |
| | ANEXOS..... | 85 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Parámetros del Transformador de Potencia | 52 |
| Tabla 2. Motores eléctricos en baja tensión en 440 V | 52 |
| Tabla 3. Motores Media Tensión en 6.6 kV | 53 |
| Tabla 4. Equivalentes de Red | 54 |
| Tabla 5: Demandas-Barra 6.6 kV | 55 |
| Tabla 6. Demandas-Alimentadores 6.6 kV | 56 |
| Tabla 7. Tensiones en S.E. Condorcocha-Barra 138 kV | 57 |
| Tabla 8. Tensiones en Barras-Situación Actual. (Caso 01) | 62 |
| Tabla 9. Sobrecarga de los Transformadores..... | 64 |
| Tabla 10. Tensiones en Barras – (Caso 02) | 65 |
| Tabla 11. Sobrecarga de los Transformadores-Caso 02..... | 67 |
| Tabla 12. Tensiones en Barras – (Caso 03) | 68 |
| Tabla 13. Sobrecarga de los Transformadores-Caso 03..... | 70 |
| Tabla 14. Comparación de Cargabilidad del Transformador de 20 MVA (T1) | 71 |
| Tabla 15. Resultado de las Máximas Corrientes de Cortocircuito Trifásicas-Barra 6.6 Kv | 72 |
| Tabla 16. Tensiones en Barra-Situación Actual..... | 74 |
| Tabla 17. Comparación de Perfil de Tensión en Barra 6.6 kV (HN4-6.6)..... | 75 |
| Tabla 18. Máximas Corrientes de Cortocircuito Trifásicas-Barra 6.6 kV | 78 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Flujo de potencia de un motor | 7 |
| Figura 2. Motor asíncrono | 9 |
| Figura 3. Efecto de un campo giratorio sobre una espira en cortocircuito | 9 |
| Figura 4. Funcionamiento de un motor asíncrono | 10 |
| Figura 5. Estator y rotor de motor eléctrico asíncrono | 11 |
| Figura 6. Despiece del motor de rotor bobinado..... | 12 |
| Figura 7. Sección de motor eléctrico síncrono Jaula de ardilla | 13 |
| Figura 8. Arranque por resistencia en el motor..... | 13 |
| Figura 9. Circuito de potencia y mando de arranque directo | 15 |
| Figura 10. Circuito de potencia y mando de arranque estrella-triángulo | 16 |
| Figura 11. Variador de frecuencia | 18 |
| Figura 12. Diagrama de voltaje vs frecuencia..... | 19 |
| Figura 13. Esquema de etapas de un convertidor de frecuencia | 20 |
| Figura 14. Corrección del factor de potencia mediante el uso de condensadores..... | 24 |
| Figura 15. Compensación individual | 27 |
| Figura 16. Compensación grupal | 28 |
| Figura 17. Compensación central | 29 |
| Figura 18. Modelo π de una línea de transmisión..... | 31 |
| Figura 19. Desfasaje de la línea de transmisión | 32 |
| Figura 20. Modelo de los transformadores de potencia..... | 33 |
| Figura 21. Diagrama unifilar de un transformador de dos devanados..... | 38 |
| Figura 22: Diagrama unifilar de un transformador de tres devanados..... | 39 |
| Figura 23. Transformaciones triángulo - estrella..... | 40 |
| Figura 24: Representación de los transformadores de tres devanados | 41 |
| Figura 25: Datos de Entrada y Salida Software ETAP 12.6 | 48 |
| Figura 26: Diagrama Unifilar Simplificado Condorcocha | 51 |
| Figura 27. Barra de referencia para obtención de Red Equivalente..... | 53 |
| Figura 28. Perfil de Carga S.E. Horno IV-Barra 6.6 kV..... | 55 |
| Figura 29. Perfil de Tensiones S.E. Condorcocha-Barra 138 kV..... | 57 |
| Figura 30. Parámetros en el Anexo 02 | 58 |
| Figura 31. Perfiles de Tensión en Barras-Situación Actual (Caso 01)..... | 63 |
| Figura 32. Sobrecarga de los Transformadores Situación Actual..... | 64 |
| Figura 33. Perfiles de Tensión en Barras – (Caso 02)..... | 66 |
| Figura 34. Sobrecarga de los Transformadores-Caso 02..... | 67 |
| Figura 35. Perfiles de Tensión en Barras-Caso 03 | 69 |
| Figura 36. Sobrecarga de los Transformadores-Caso 03..... | 70 |
| Figura 37. Comparación de Cargabilidad del Transformador de 20 MVA (T1) | 71 |
| Figura 38. Comparación de Máximas Corrientes de Cortocircuito | 73 |
| Figura 39. Comparación de Perfil de Tensión en Barra 6.6 kV (HN4-6.6)..... | 76 |
| Figura 40. Comparación de Máximas Corrientes de Cortocircuito | 78 |

RESUMEN

La presente tesis analiza los flujos de potencia y corrientes de corto circuito, con la finalidad de demostrar que el incremento de carga, debido a la ampliación del Horno IV, no afecta a las instalaciones de la Planta de UNACEM S.A.A garantizando la operación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – SEIN.

Para realizar el estudio de investigación se desarrolló un diagnóstico del equipamiento ubicado en la Planta Condorcocha realizando análisis de flujo de potencia, análisis de corrientes de cortocircuito, determinando los posibles inconvenientes debido al incremento de carga y definiendo las soluciones de implementación en cada situación. Para las respectivas simulaciones se ha tomado en consideración la configuración del Sistema Eléctrico de la Planta Condorcocha (Horno IV) para determinar la situación actual y para la situación proyectada en máximas, media y mínimas demandas, utilizando la base de datos proporcionada por el COES para condiciones de máxima, media y mínima demanda como información de referencia.

En el capítulo I, denominado planteamiento de la investigación, se detalla el planteamiento y formulación del problema, los objetivos que se pretenden lograr, con la respectiva justificación de la investigación.

En el capítulo II, se realizó el marco teórico plasmando los temas que comprende la investigación como, conceptos y formulaciones de motores, flujo de potencia y cortocircuito.

En el capítulo III, se dan a conocer las características que tiene el sistema eléctrico de distribución, se detalla el análisis del sistema eléctrico mediante el análisis de flujo de potencia en condiciones normales con situación actual y considerando la ampliación, se determinan también los parámetros eléctricos para el cálculo de cortocircuito.

Finalmente en el capítulo IV se realiza la interpretación de los resultados obtenidos con el programa computacional ETAP versión 12.6.

INTRODUCCIÓN

Unión Andina de Cementos (UNACEM S.A.A) viene implementando nuevas instalaciones con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica, se ha realizado la construcción del Horno N° 4 considerando 21 alimentadores que suministran de energía eléctrica a: transportadores, zarandas, chancadoras, molienda, procesador calcinador, pre calentador, prensa crudo, ventiladores, accionamientos, enfriadores, desglomerador y separadores; el equipamiento principal de las cargas mencionadas son motores.

Se está proyectando la implementación de nuevas instalaciones (Chancadora y Ventilador Enfriador) con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica.

La presente tesis tiene por finalidad demostrar mediante el análisis del flujo de potencia, la influencia que tiene el incremento de carga debida a la ampliación del Horno IV, de flujo de potencia e incrementos de corrientes de corto circuito del sistema eléctrico Planta Condorcocha, y por consiguiente al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

Para lograr los resultados óptimos se realizó un diagnóstico del equipamiento, las simulaciones de flujo de potencia y fallas de cortocircuito mediante el programa computacional ETAP, versión 12.6; para los diferentes escenarios de análisis. Este software es una herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación y distribución orientada a los sistemas industriales, desarrollada para ingenieros que se desempeñen en las diversas disciplinas de los sistemas eléctricos de potencia. Esta herramienta dispone de una gran cantidad de módulos como son: Redes AC., tendido y rutado de cables, coordinación y selectividad de protecciones, diagramas de control de sistemas AC y DC., análisis de flujo de potencia, análisis de corrientes de cortocircuito, arranque de motores, compensación óptima de capacitores. Cabe mencionar que es una herramienta de análisis totalmente integrada utilizada por miles de ingenieros de diferentes compañías en todo el mundo para diseñar, mantener y operar sistemas eléctricos. Dentro de las empresas e industrias, los operadores y gerentes utilizan el ETAP para supervisar, controlar y optimizar, los sistemas de potencia propios de la actividad en la cual se desempeñan.

ETAP es en virtud, un programa que garantiza la calidad de los análisis con una interfaz amigable que muestra los resultados de forma versátil, lo cual facilita su interpretación.

El Autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Unión Andina de Cementos (UNACEM S.A.A) se dedica a la fabricación y venta de cemento, clínker y concreto premezclado. La empresa se formó en 2012 luego de la fusión entre Cementos Lima S.A.A. y Cemento Andino S.A., creando el mayor productor de cemento en el Perú. UNACEM S.A.A, posee dos plantas, ubicadas en Lima y Junín, las que tienen una capacidad de producción de 6.68 millones de toneladas de clínker y 7.60 millones de toneladas de cemento. Internacionalmente, la firma cuenta con la planta Drake Cement LLC en el condado de Yavapai, Arizona, Estados Unidos, que tiene una capacidad de producción de 600,000 toneladas de clínker y 750,000 toneladas de cemento al año. Al mismo tiempo, UNACEM S.A.A tiene operaciones en Chile, Colombia y Ecuador (BNamericas, 2016).

Luego de la fusión, UNACEM S.A.A, cuenta con dos plantas ubicadas en los departamentos de Lima y Junín. La planta de Atocongo ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo, departamento de Lima, la planta de Condorcocha ubicada en Tarma, departamento de Junín, cuenta con una capacidad aproximada de producción de clínker de 1.9 millones de toneladas anuales, como resultado de la incorporación del Horno IV que a partir de junio 2012 aporta aproximadamente 0.7 millones de toneladas anuales de producción de clínker.

Unión Andina de Cementos S.A.A.(UNACEM S.A.A.) viene implementando nuevas instalaciones con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica, se ha realizado la construcción del Horno N° 4 considerando 21 alimentadores que suministran de energía eléctrica con una potencia de

12.22 MW para: transportadores, zarandas, chancadoras, molienda, procesador calcinador, pre calentador, prensa crudo, ventiladores, accionamientos, enfriadores, desaglomerador y separadores; el equipamiento principal de las cargas mencionadas son motores, ejecutando un análisis de arranque estacionario y dinámico de los motores se garantizará la continuidad del suministro del sistema eléctrico del Horno N° 4.

Para lograr con éxito la continuidad de suministro del sistema eléctrico del Horno N° 4, es necesario analizar los efectos que ocasiona el arranque del motor de la chancadora y de los ventiladores del enfriador que trabajan con voltaje de 6.6 kV, ya que su influencia es importante por su conexión en media tensión, para lo cual es necesario realizar su diseño de ingeniería y analizar la influencia que puede ocasionar en el sistema eléctrico del Horno N° 4, para lo cual se realiza primeramente un análisis de flujo de potencias en el sistema eléctrico con situaciones de contingencia para identificar que todos los parámetros eléctricos son los adecuados. Posterior a ello se analiza las corrientes de cortocircuito en los diferentes tipos de falla (trifásica, monofásica y bifásica tierra) para obtener las máximas y mínimas corrientes de cortocircuito, verificando los incrementos o decrementos en las barras de las subestaciones adyacentes y finalmente el arranque de motor en estado estacionario y dinámico, analizando el incremento de la corriente que se genera y los efectos en el sistema eléctrico.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera influyó en el análisis del flujo de potencia el incremento de motores en la continuidad del suministro eléctrico del sistema eléctrico Horno N° 4, planta Condorcocha en el año 2016?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son los criterios que debemos tener en cuenta en el análisis de corrientes de cortocircuito utilizando el Software ETAP?

1.3. OBJETIVO GENERAL

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar la influencia en el análisis del flujo de potencia por el incremento de motores en la continuidad del suministro eléctrico del sistema eléctrico Horno N° 4, planta Condorcocha en el año 2016.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar los criterios que debemos tener en cuenta en el análisis de corrientes cortocircuito utilizando el Software ETAP.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1. JUSTIFICACIÓN GENERAL

A. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La presente investigación se basa en información tomada de campo que servirá como referencia para el análisis del flujo de potencia en la planta Condorcocha, planteada con procedimientos analíticos en base a bibliografías de temas relacionados de diferentes autores siendo esta base para otros temas de estudio, con la finalidad de garantizar la continuidad de suministro de las instalaciones de la Planta de UNACEM S.A.A y por lo tanto garantizando la operación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – SEIN.

B. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El tema de investigación estará orientado al análisis del funcionamiento y operación del horno N° 4 bajo la influencia de los equipos aledaños y las consecuencias que puede sufrir el sistema en caso no se tomaran las previsiones correspondientes, conclusiones tomadas en base al comportamiento del sistema en conjunto. Esta también influirá en los resultados económicos, que ante los cambios de mejoramiento, se pudieran mitigar como son los tiempos de improductividad y daños materiales ante salidas imprevistas por fallas del sistema eléctrico. El análisis de flujo de potencia determina el equipamiento necesario para la puesta en

operación de la carga proyectada, se hace mención especial en la compensación reactiva local que generalmente se instala en los motores.

C. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La presente investigación está orientada a establecer pautas que se deberán tomar en consideración para el análisis del flujo de potencia de sistemas eléctricos relacionados con el tema en diferentes centros de producción industrial donde las condiciones sean similares, mediante el Software ETAP, versión 12.6, Power Station se obtendrá resultados con precisión y exactitud debido a que el programa está diseñado para análisis de sistemas industriales. Cabe mencionar que el tipo de método de investigación utilizada es la más propicia al tipo de investigación de este material.

1.4.2. IMPORTANCIA

En nuestra era, nosotros vivimos en una sociedad donde los avances tecnológicos están enfocados a optimizar los procesos y asegurar la continuidad de funcionamiento de los centros de producción desde el punto de vista comercial, es por ello que el desarrollo de la investigación tendrá una importancia en el ámbito académico como empresarial, determinadas situaciones que se presentan en las actividades cotidianas de las empresas de producción, esta investigación contendrá análisis basado en datos recopilados reales en función a las condiciones de trabajo que requiere la industria.

El software ETAP 12.6 constituye una herramienta computacional importante y muy potente para el análisis de los sistemas eléctricos industriales, que cuenta con una interfaz amigable con el usuario, que permite la obtención de resultados de forma versátil, razón por la cual es ampliamente utilizada por ingenieros para el análisis, operación y planificación de sistemas eléctricos.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

El incremento de motores, sí influye significativamente en el análisis del flujo de potencia para garantizar la continuidad del suministro eléctrico del sistema eléctrico Horno N° 4, planta Condorcocha en el año 2016.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

En cuanto al análisis de corrientes de cortocircuito utilizando el Software ETAP que criterios adecuados deberá tomarse en cuenta.

1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Flujo de potencia para Sistema Eléctrico del Horno N° 4, planta Condorcocha.

1.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Tensión y corriente del análisis de flujo de potencia del sistema eléctrico de media tensión 6.6 kV.
- Arranque estático y dinámico del motor de chancadora y ventilador en nivel de tensión 6.6 Kv.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se refuerza en investigaciones elaboradas con anterioridad por otros autores, a continuación se describe las conclusiones más importantes:

A. Según Atanasi (2005), se formulan las siguientes conclusiones:

- Esta tesis aplica el estudio a un proceso como es el sistema de bombeo electro sumergible; definen un tipo de variador Altivar ATV 312HO75M3, estudian su composición, estructura, funcionamiento y programación en sus diferentes aplicaciones para llevar a cabo el control de la velocidad.
- Realiza la puesta en marcha del motor asíncrono jaula de ardilla y rotor bobinado con los distintos métodos de arranque. Comprueba que el arranque con variador permite variar la velocidad del motor sobre la operación acelerando hasta velocidades mayores de la nominal así como frenándola hasta velocidades cercanas a cero.

B. En la siguiente tesis se formula la siguiente conclusión (Villacís Salazar & Cárate Gutiérrez, 2011, p. 84):

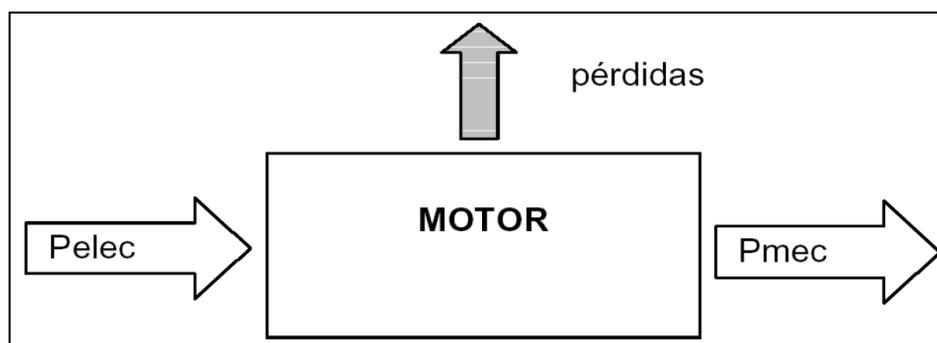
- En esta tesis se determinó que el método más eficaz para controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. Permite conocer a los variadores SINAMICS G110, su composición, estructura y funcionamiento, en sus diferentes etapas para llevar a cabo la variación de la frecuencia y su velocidad.

- C. Con referencia al convertidor de frecuencia, se tiene lo siguiente:
- Este artículo presenta la influencia de los parámetros del convertidor sobre el incremento térmico en diferentes puntos de la máquina. Los motores alimentados con convertidor de frecuencia con una mayor tensión de circuito intermedio, presentan un contenido armónico con mayor amplitud respecto a la fundamental que si se alimentase con convertidores de menor tensión de circuito intermedio (Atanasi, 2005, p. 16).
- D. Según Fernández & Figueredo (2007), para un correcto funcionamiento del control del banco, la diferencia entre los kVAR para la orden de cerrar los interruptores y los kVAR para dar la orden de apertura en la programación del Micro Cap, deberá ser mayor de 900 kVAR, que es el valor de potencia reactiva que el banco de condensadores entrega a la red.

2.2. MOTOR ELÉCTRICO

De acuerdo a López (2014), los motores eléctricos son aquellos que proporcionan potencia para realizar un trabajo. Las máquinas eléctricas sirven para transformar la energía mecánica en eléctrica (generadores) o, inversamente, para transformar la energía eléctrica en mecánica (motores); es decir que las máquinas eléctricas son reversibles y pueden trabajar como generador o como motor.

Figura 1.
Flujo de potencia de un motor



FUENTE: (Mazzeo & Bertolotti, 2010)

Existen una variedad de tamaños y tipos de motores, el número y diversidad de aplicaciones se van desarrollando cada vez más. A nuestro alrededor existen innumerables dispositivos eléctricos que accionan las cosas.

Su aplicación es muy variada: ventiladores, bombas, máquinas modulares de alta complejidad, máquinas que funcionan con una precisión y un par de velocidad muy bajos, máquinas dinámicas sofisticadas, máquinas de gran capacidad, etc.

Todo aquello que, en nuestra vida cotidiana zumba, hace crujidos o chirridos se debe a un motor eléctrico en movimiento.

2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES SEGÚN EL TIPO DE CORRIENTE UTILIZADA EN SU ALIMENTACIÓN

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

- De excitación independiente.
- De excitación serie.
- De excitación o derivación.
- De excitación compuesta.

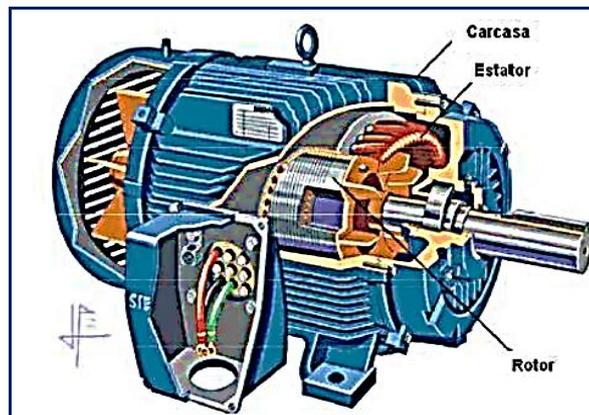
MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos.
- **MONOFÁSICOS**
 - De bobinado auxiliar.
 - De espira en corto circuito.
 - Universal.
- **TRIFÁSICOS**
 - De rotor bobinado.
 - De rotor en corto circuito.

2.2.2. MOTORES ASÍNCRONOS

Los motores asíncronos son máquinas formadas por un rotor que puede ser de tipo jaula de ardilla o bobinado. A continuación, en la Figura 2.2 se puede observar un motor asíncrono, la carcasa, estator y rotor.

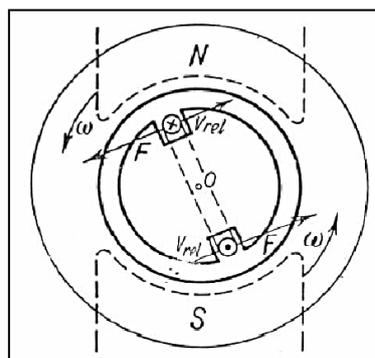
Figura 2.
Motor asíncrono



FUENTE: (I.E.S. Andrés de Valdelvira, 2011)

El nombre de motor asíncrono se utiliza para aquellos cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la de sincronismo. Estas máquinas asíncronas tienen su fundamento en el principio de la acción de un campo magnético giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito.

Figura 3.
Efecto de un campo giratorio sobre una espira en cortocircuito



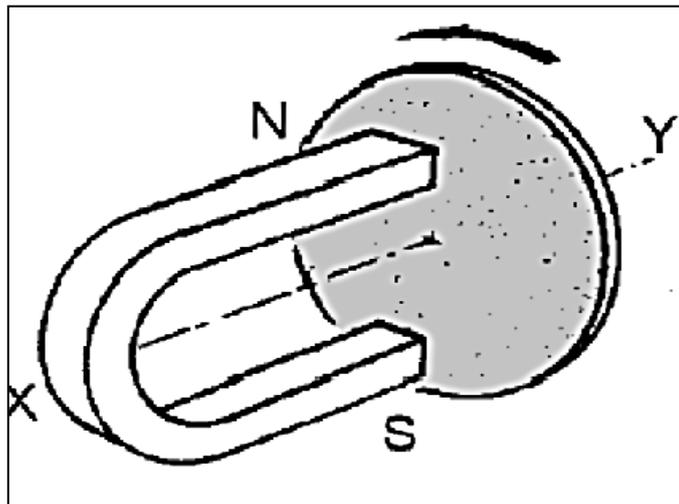
FUENTE: (TECPA, 2016). Los Variadores de Frecuencia

2.2.3. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ASÍNCRONO

Si pudiéramos considerar un imán permanente de polaridad NS y un disco de cobre y que puedan girar libremente alrededor de un mismo eje XY dado al efecto del imán. Cuando el imán, movido por un artificio cualquiera, gira, el campo magnético que es producido, gira de igual forma y barre el disco. Este disco conductor, pero no ferro magnético, es recorrido ahora por corrientes inducidas debidas a la variación de campo a la que está sometido.

De acuerdo al portal web monografías.com acerca de Motores Asíncronos, las máquinas asíncronas, de las que sólo existen motores puesto que los generadores son siempre sincrónicos, son aquellas en las cuales la velocidad de rotación puede ser diferente que la síncrona, siendo ésta última la velocidad con la que gira el campo magnético dentro de la cavidad en la que se aloja el rotor. El motor asíncrono, o de inducción, funciona precisamente gracias a las corrientes inducidas sobre el rotor por ese campo magnético giratorio (Monografías.com, 2016)

Figura 4.
Funcionamiento de un motor asíncrono



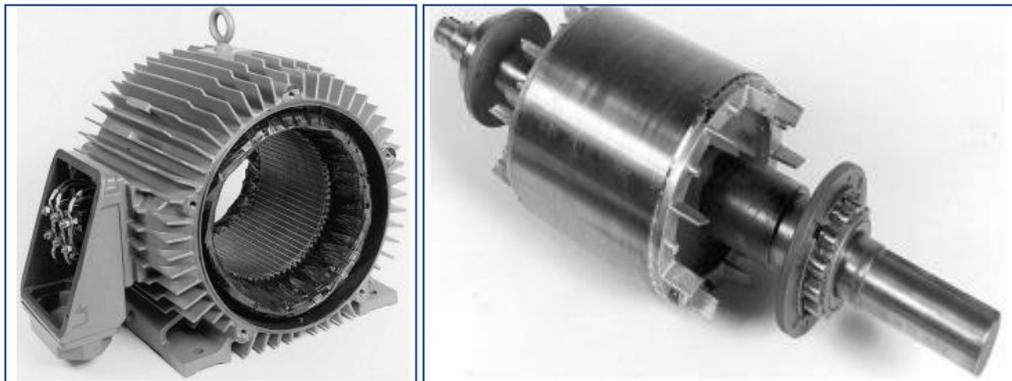
FUENTE: (Hughes, 2006).

2.2.4. CONSTITUCIÓN DEL MOTOR ASÍNCRONO

El circuito magnético es la parte fija del circuito magnético (estator) es un anillo cilíndrico de chapa magnética ajustado a la carcasa que lo envuelve. La carcasa tiene una función puramente protectora.

El circuito eléctrico consta de dos circuitos eléctricos van situados uno en las ranuras del estator (primario) y otro en las del rotor (secundario), que esta cortocircuitado.

Figura 5.
Estator y rotor de motor eléctrico asíncrono

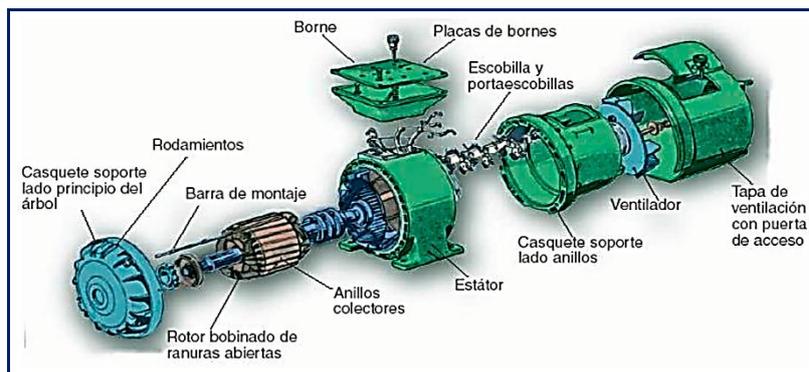


FUENTE: (Hughes, 2006).

2.2.5. MOTORES ASÍNCRONOS DE ROTOR BOBINADO

Los motores de inducción trifásicos de rotor bobinado con sistema motorizado de levantamiento de escobillas son fabricados con sistema electromecánico que permite el cortocircuitamiento de los anillos colectores y el levantamiento de las escobillas luego de la partida. Luego del procedimiento de partida, los motores trabajan en condiciones nominales, con las características de motores de jaula (Weg.net, 2010)

Figura 6.
Despiece del motor de rotor bobinado



FUENTE: (Juracan, 2014).

La ventaja que presentan estos motores en referencia de otros motores asíncronos es su par de arranque, este puede alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal, mientras que la intensidad en el arranque es similar a la del par nominal.

2.2.6. MOTORES ASÍNCRONOS TIPO DE JAULA DE ARDILLA

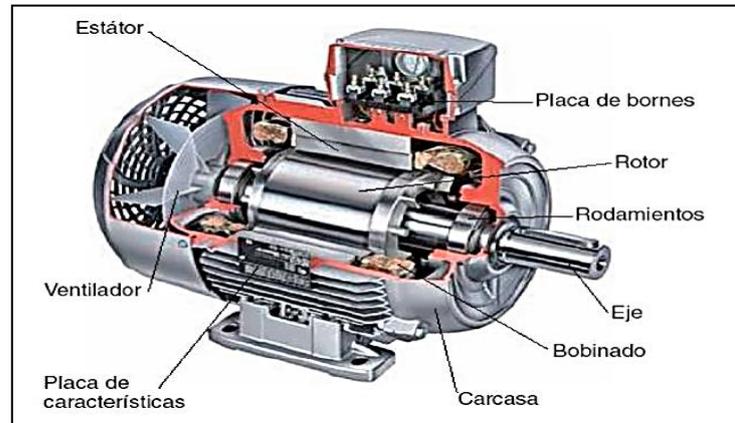
Un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos, las barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas)

La base del rotor se construye con láminas de hierro apiladas. El dibujo muestra solamente tres capas de apilado pero se pueden utilizar muchas más.

Los devanados inductores en el estator de un motor de inducción incitan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, un flujo en las barras conductoras. Alternadamente estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje. En efecto, el rotor se lleva alrededor el campo magnético, pero en un índice

levemente más lento de la rotación. La diferencia en velocidad se llama deslizamiento y aumenta con la carga (Wikipedia, 2016)

Figura 7.
Sección de motor eléctrico síncrono Jaula de ardilla

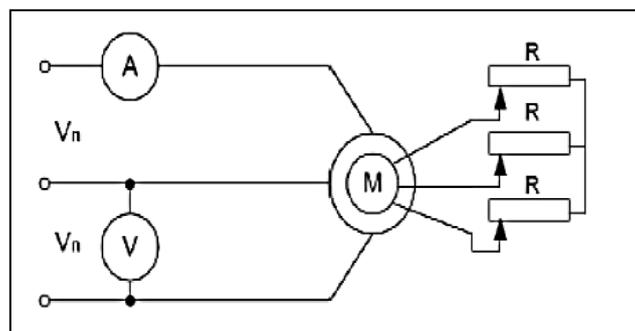


FUENTE: (López, 2014)

2.2.7. ARRANQUES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN DE ROTOR BOBINADO

Arranque intercalando resistencia en el devanado del rotor - Se efectúa intercalando resistencias en el rotor a través de los anillos rozantes. El incremento de resistencia del rotor permite limitar la corriente de arranque e incrementar el par de arranque. A medida que el motor alcanza velocidad se va reduciendo el valor de las resistencias externas hasta que quedan anuladas (López, 2014)

Figura 8.
Arranque por resistencia en el motor



FUENTE: IES. Andrés de Vandelvira (2011)

A. Arranques del motor de inducción jaula de ardilla.

Los motores jaula ardilla al ser conectados absorben una gran intensidad de la red y puede, sobre todo si la sección de la línea de alimentación es insuficiente, provocar una caída de tensión susceptible que afectará a otros abonados o a otros receptores de la misma instalación.

Para evitar y limitar estos inconvenientes, la normativa exige a usar sistemas de arranque con los que se límite la corriente de arranque protegiendo así el motor y la integridad de los receptores.

B. Arranque Directo.

Consiste en conectar el motor directamente a la red en un único tiempo. El motor arranca con sus características naturales.

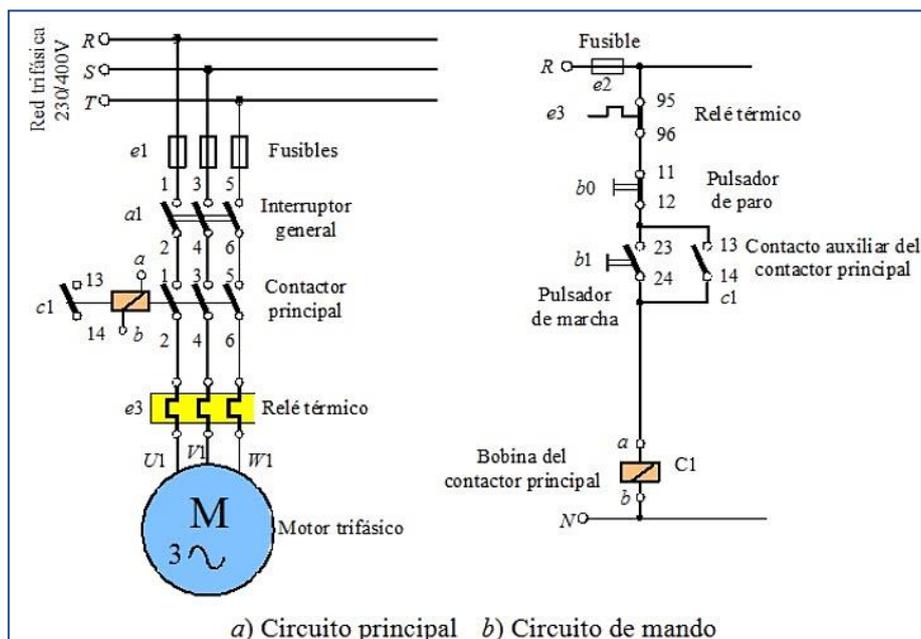
Ventajas:

- Arrancador simple.
- Económico.
- Par de arranque importante.

Inconvenientes:

- Punta de corriente muy importante.
- Arranque brutal.
- Tiempos de arranque: 2 a 3 segundos.
- Aplicaciones habituales: Pequeñas máquinas aunque arranquen a plena carga (Fraile, 2008).

Figura 9.
Circuito de potencia y mando de arranque directo



FUENTE: (Remotelab, 2016).

C. Arranque estrella - triángulo de motores trifásicos de jaula.

Consiste en conectar las bobinas del motor primero en estrella y después en triángulo.

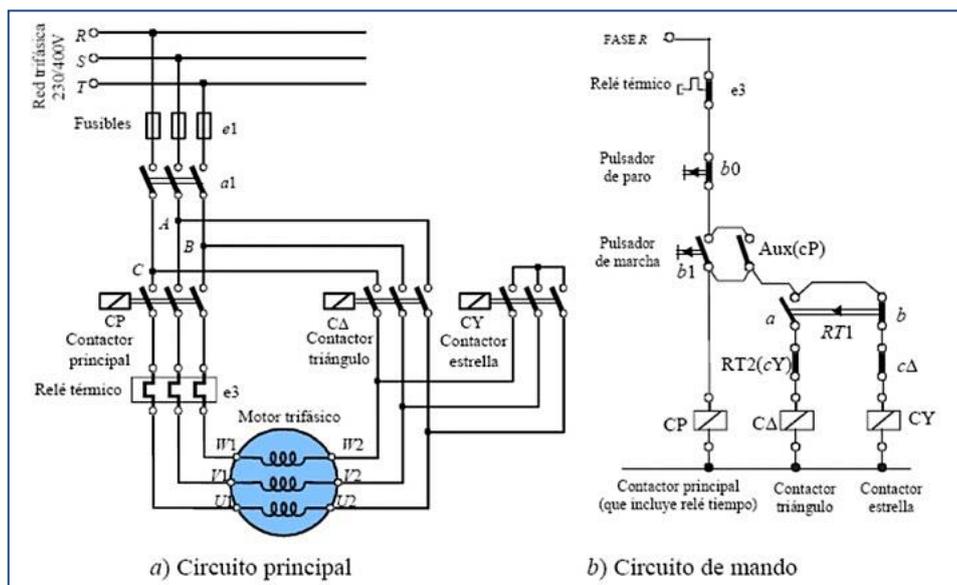
Ventajas:

- Arrancador económico.
- Buena relación par/corriente.

Inconvenientes:

- Par de arranque débil.
- Sin posibilidad de ajuste.
- Corte de alimentación en el cambio de acoplamiento y fenómenos transitorios.
- Motor de 6 bornes.
- Tiempos de arranque: 3 a 7 segundos.
- Aplicaciones habituales: Máquinas de arranque en vacío, ventiladores y bombas centrífugas de poca potencia.

Figura 10.
Circuito de potencia y mando de arranque estrella-triángulo



FUENTE: (Remotelab, 2016)

D. Arranque con resistencias estáticas.

Consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados. Estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red.

Ventajas:

- Posibilidad de ajuste de los valores en el arranque.
- Sin corte de alimentación durante el arranque.
- Fuerte reducción de las puntas de corriente transitorias.

Inconvenientes:

- Débil reducción de la punta de arranque.
- Necesidad de resistencias voluminosas.
- Tiempos de arranque: 7 a 12 segundos.
- Aplicaciones habituales: Máquinas de elevada inercia sin problemas especiales de par ni de corriente en el arranque.

E. Arranque con Autotransformador.

Consiste en alimentar el motor a una tensión reducida mediante un autotransformador, que se pone fuera de servicio cuando termina el arranque.

Ventajas:

- Buena relación par/corriente.
- Posibilidad de los ajustes de los valores en el arranque.
- Sin corte de alimentación en el arranque.

Inconvenientes:

- Necesidad de un autotransformador costoso.
- Implica riesgos en redes con perturbaciones.
- Tiempos de arranque: 7 a 12 segundos.
- Aplicaciones habituales: Máquinas de elevada potencia o inercia, en casos en los que la reducción de la corriente sea un criterio importante.

F. Arranque con Variador de velocidad.

Se realizan basándose en tiristores que forman contactores estáticos. Se configura con un convertidor alterna/continua y un convertidor continua/alterna de velocidad variable entre 0 Hz y la frecuencia de red (Jacho, 2012).

El variador de frecuencia permite la variación de velocidad total desde 0 rpm a la velocidad nominal del motor a par constante; y permite la ausencia de sobreintensidades por transitorios.

Hace innecesarios elementos de protección del motor. A velocidades bajas hay que tener en cuenta que la refrigeración del motor depende de la velocidad del fluido.

Características.

- Corriente de arranque porcentual: Regulable de 25 a 75% (potenciómetro) respecto al arranque directo.
- Corriente de arranque: Regulable.
- Par inicial de arranque porcentual: Regulable de 10 a 70% respecto al arranque directo.

- Par inicial de arranque: Regulable de 0,1 a 0,7 C NOMINAL.
- Mando: Progresivo.

Ventajas:

- Regulable durante la puesta en servicio.
- Dimensiones reducidas.
- Adaptable a cualquier ciclo.

Inconvenientes:

- Limitación en el par y la corriente de arranque.
- Tiempos de arranque: Regulable de 1 a 60 segundos.
- Aplicaciones habituales: Bombas, ventiladores, compresores, transportadores, grúas, envasadoras, etc.

2.3. VARIADOR DE FRECUENCIA

(Jacho, 2012) plantea que es un equipo compuesto de elementos electrónicos de potencia, que acciona un motor jaula de ardilla y realiza su arranque y su parada de manera suave, varía de manera controlada la velocidad del motor, por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor desde la red eléctrica.

Actualmente el sector Industrial ve como la mejor alternativa el uso de estos equipos en su producción debido a los múltiples beneficios que se obtiene con ellos.

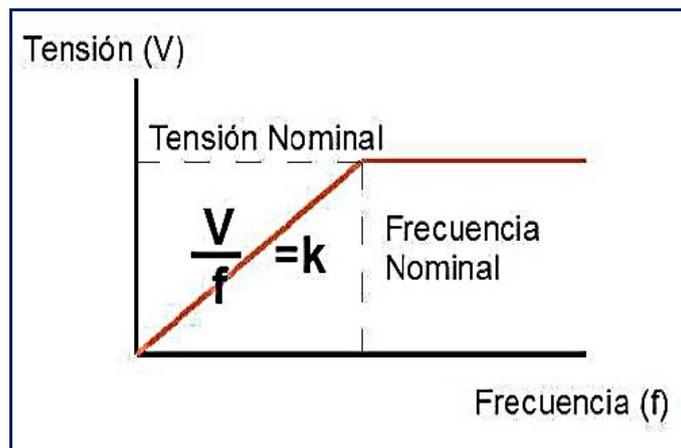
Figura 11.
Variador de frecuencia



FUENTE: (Revistel, 2014)

La principal virtud del variador de frecuencia es regular la velocidad y ahorrar energía eléctrica, garantizando un proceso de fabricación de producto terminado de excelente calidad y ahorro económico para el usuario. El variador de frecuencia tiene la característica de mantener la relación, voltaje/frecuencia = CTE. De esta forma, se produce un desplazamiento de la curva de Torque versus RPM (en sentido del eje X de rpm). Al lograr $V / F = \text{Cte.} = \text{Flujo}$ (en el entrehierro), se logra el máximo torque de arranque con una corriente de arranque también controlada.

Figura 12.
Diagrama de voltaje vs frecuencia



FUENTE: (Jacho, 2012)

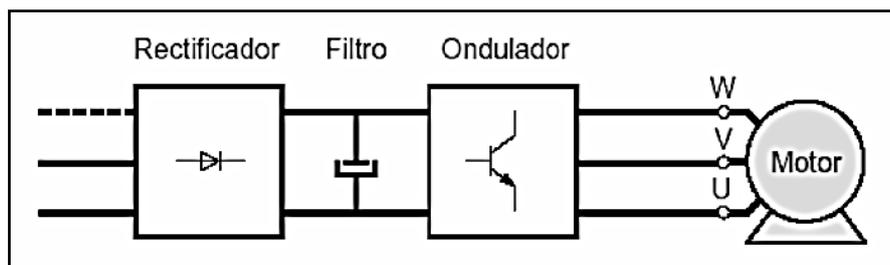
Esto no puede lograrlo un arrancador suave, que sólo puede controlar la tensión, evitando una gran corriente de arranque, pero no al mejor torque.

La forma de variar la velocidad de un motor puede ser: control por PWM (escalar), y por control Vectorial el cual logra el máximo torque poniendo perpendiculares los ejes de Flujo y Corriente (como sucede por naturaleza constructiva en un motor de Corriente continua) (Jacho, 2012, p. 19)

2.3.1. ETAPAS OPERATIVAS Y CONTROL DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Figura 13.
Esquema de etapas de un convertidor de frecuencia



FUENTE: Jacho (2012)

2.4. CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA

Según Llumiquinga (2012), las cargas industriales por su naturaleza eléctrica son reactivas a causa de la presencia principalmente de motores, transformadores, lámparas fluorescentes, etc. Al consumo de potencia activa (kW) se suma el consumo de una potencia reactiva (kVAr), las cuales en conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos.

Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias. Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución.

La potencia reactiva, la cual no produce trabajo directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, (a mayor número de equipo que

consume potencia reactiva, más potencia reactiva se requiere) lo cual produce una disminución significativa del factor de potencia.

Por las razones anteriores para corregir y mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, la corrección del factor de potencia por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria (algo menos económico si no se dispone de ellos).

Según Ola, G.J.L. (2015), uno de los objetivos de compensar la potencia reactiva es corregir el factor de potencia, esto a través de bancos de condensadores hasta donde sea posible económicamente.

2.4.1. MOTORES DE INDUCCIÓN DE PEQUEÑA Y GRAN CAPACIDAD

Estos motores son generalmente la causa principal de los factores de potencia bajos, primeramente, por ser numerosos en los establecimientos industriales, y segundo por naturaleza propia de la máquina ya que necesitan de una potencia magnetizante y lo más importante es que están formados por inductores o bobinas que permiten el funcionamiento y movimiento del rotor del motor.

2.4.2. MOTORES OPERANDO EN VACÍO

Los motores eléctricos consumen prácticamente la misma cantidad de energía reactiva necesaria para mantener su campo magnético, cuando opera en vacío o a plena carga. Entretanto, no sucede lo mismo con la energía activa, ésta es directamente proporcional a la carga mecánica solicitada al motor. Así, cuanto menor sea la carga mecánica solicitada, menor será la energía activa consumida, consecuentemente menor el factor de potencia.

2.4.3. MOTORES SOBREDIMENSIONADOS

Este es un caso particular de lo anterior, cuyas consecuencias son análogas. Generalmente los motores que son sobredimensionados, presentan una gran conservación de energía.

Es muy común la sustitución de un motor por otro de mayor potencia, principalmente en los casos de mantenimiento y reparación que, por comodidad, la sustitución

transitoria pasa a ser permanente, sin saber que un sobredimensionamiento provocará un bajo factor de potencia.

2.4.4. HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO VOLTAICO

Su factor de potencia varia en un amplio margen al calentarse el horno, oscila entre 0.5 y 0.85, luego de un cierto tiempo de trabajo se aproxima a un valor constante.

El factor de potencia de los hornos es bajo por dos razones:

- Primero, el arco al comienzo del ciclo tiene menor conductibilidad, de manera que la corriente está en atraso con relación al voltaje.
- Segundo, cuando el arco está en cortocircuito, en donde es necesario disponer de una reactancia para limitar la intensidad de corriente a un valor fuera de peligro, esta reactancia es la causa de un bajo factor de potencia.

2.4.5. CONSECUENCIAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA

En una instalación eléctrica, mientras mayor es la cantidad de energía reactiva, el factor de potencia se deteriora y como la potencia activa o real es constante, se necesita una mayor intensidad de corriente para satisfacer esta demanda, además, este aumento de la corriente incrementa las pérdidas por calentamiento o efecto Joule que está dada por la expresión donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos, Las pérdidas por efecto Joule se manifiestan de la siguiente manera (Llumiquinga, 2012)

- Calentamiento de cables y conductores.
- Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.

Uno de los mayores problemas que causa el sobrecalentamiento es el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos, puede provocar cortos circuitos.

Aumento de la intensidad de corriente e incremento de pérdidas por efecto Joule

Por este motivo al usuario industrial se le presentan las siguientes desventajas:

- Los conductores, entre el medidor y el usuario, deberán ser de mayor calibre.
- Los embobinados de los transformadores de distribución, se recalentarán.
- Los dispositivos de operación y protección deberán ser de mayor tamaño y por lo tanto de mayor precio.
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.

Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión

Esto resulta de un insuficiente dimensionamiento de suministro de potencia a las cargas, estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida. Estas caídas de voltaje afectan también a:

- Los embobinados de los transformadores de distribución.
- Los cables de alimentación.
- Sistemas de protección y control.

Sobrecarga de los generadores, transformadores

El exceso de corriente, debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil, debido a que estos equipos, son diseñados para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se debe operar sin que rebase los límites permitidos.

Aumentos en la factura por consumo de energía eléctrica

Debido a un bajo factor de potencia, implica pérdidas de energía en la red eléctrica, el productor y distribuidor de energía eléctrica se ve en la necesidad de penalizar al usuario que no hace uso correcto de su energía, haciendo que pague más por su

consumo de energía eléctrica o que el mismo usuario corrija el factor de potencia, otros problemas económicos son:

- Incremento de la facturación por mayor consumo de energía.

2.5. CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE EL USO DE CONDENSADORES

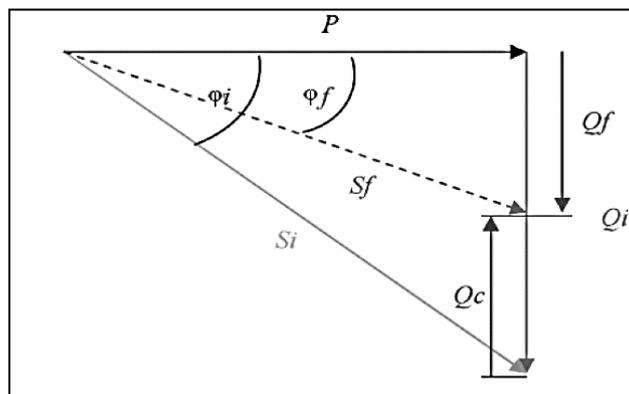
En el 2012, Llumiquinga plantea que un condensador es un dispositivo eléctrico formado por dos placas conductoras aisladas y separadas por un dieléctrico. Este dispositivo puede almacenar energía en forma de campo eléctrico.

Los condensadores al conectarse en paralelo a la red eléctrica proveen la potencia reactiva que antes la suministraba la propia red, con lo cual se consigue una disminución de la corriente, por lo tanto, ya no es necesario transportar toda la potencia reactiva.

Al disminuir la potencia reactiva se consigue mejorar el factor de potencia.

En el triángulo de potencia de la figura 2.14 se puede entender de mejor manera la forma en que los condensadores pueden mejorar el factor de potencia.

Figura 14.
Corrección del factor de potencia mediante el uso de condensadores



FUENTE: Llumiquinga (2012)

Donde

- P : Potencia activa [W]
Q_i : Potencia reactiva inductiva inicial [VAr]
S_i : Potencia aparente inicial [VA]
Φ_i : Factor de potencia inicial
Q_c : Potencia reactiva capacitiva [VAr]
Q_f : Potencia reactiva inductiva final [VAr]
S_f : Potencia aparente final [VA]
φ_f : Factor de potencia final

2.5.1. MÉTODOS DE COMPENSACIÓN

Según Santana (2011), existen dos métodos de compensación, estos dependerán de la curva de carga asociada al sistema:

Compensación automática:

Normalmente el consumo de energía reactiva no es de manera constante, es por esto que el banco de condensadores debe ser capaz de seguir la evolución a lo largo del tiempo de la curva de carga de la instalación.

Para poder realizar dicha compensación, el banco de condensadores se divide en diferentes escalones de potencias que están controlados por un regulador de energía reactiva.

De esta forma, el banco de condensadores va agregando los diferentes escalones de potencia. Sin embargo, existen variaciones rápidas de potencia en la instalación por lo que se requiere una respuesta rápida por parte del banco; de esta manera dividimos en dos este tipo de Bancos:

- A. Banco con contactores electromecánicos: su respuesta va por el orden de los cuatro segundos (4s).
- B. Bancos maniobradas por tiristores: su regulación está en el orden de los veinte milisegundos (20ms). Su uso se recomienda cuando es necesario un

seguimiento instantáneo de potencia reactiva como consecuencia de la rápida variación de energía reactiva.

Compensación fija:

El uso de la compensación fija se realiza a cargas o instalaciones donde por lo general se cumplan los siguientes criterios:

- Los niveles de cargas son bastante constantes.
- Existen mínimos de potencia reactiva a compensar en estados de cargas bajos.
- Hay cargas de importancia que de ser compensadas individualmente ayuda a reducir las potencias transportadas por la instalación.

2.5.2. TIPOS DE COMPENSACIÓN

Según Santana (2011), el tipo de compensación depende primordialmente del punto de colocación de las baterías de condensadores. Existen tres tipos de compensación, estos son:

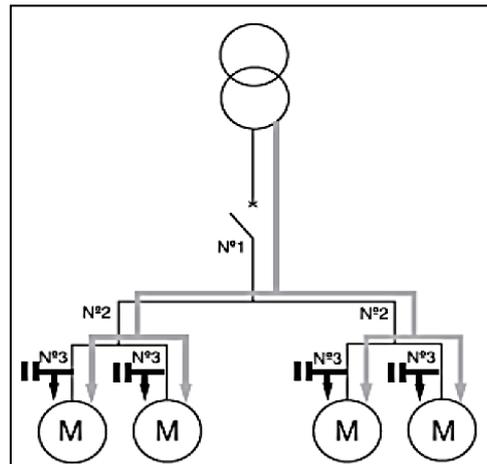
- Compensación individual.
- Compensación grupal.
- Compensación central.

A. Compensación individual

Este tipo de compensación se realiza en los bornes de la carga inductiva, se caracteriza por realizarse en motores de gran magnitud (alrededor de 200 hp), en transformadores entre otros.

En la siguiente figura podremos observar cómo se describe este tipo de compensación:

Figura 15.
Compensación individual



FUENTE: (Schneider Electric, 2000)

Entre sus principales ventajas tenemos:

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza la instalación eléctrica.
- Descarga de transformadores.
- El condensador se puede instalar junto al consumidor. De esta manera la potencia reactiva fluye entre el consumidor y el condensador.
- Es el método de compensación más efectivo.
- Las pérdidas por efecto joule se suprimen totalmente.

Además, es importante tomar en cuenta que:

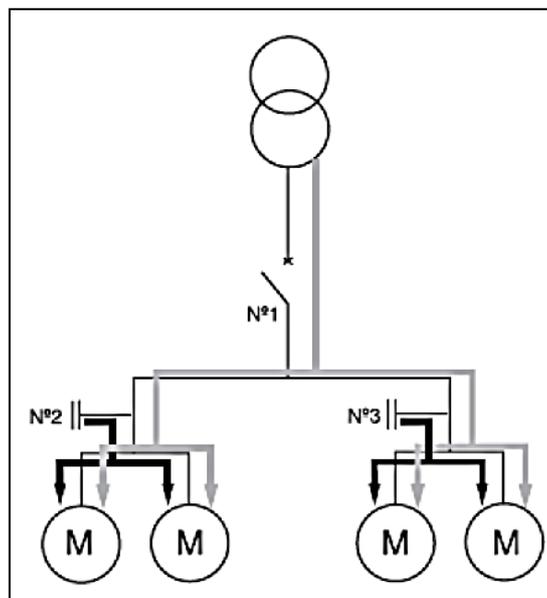
- Puede ocasionar sobretensiones causando daños en el equipo compensado, por lo que es necesario que el banco de baterías cubra solamente la potencia reactiva demandada por el consumidor cuando esté operando sin carga alguna.
- Solo es rentable para cargas muy inductivas y regulares.

B. Compensación grupal

La compensación grupal consiste en conectar las baterías de condensadores en el cuadro de distribución, de manera que se genere la energía reactiva necesaria para compensar un grupo de cargas determinadas.

Generalmente este tipo de compensación se realiza en grupos de lámparas fluorescentes.

Figura 16.
Compensación grupal



FUENTE: Schneider Electric (2000).

Entre sus principales ventajas tenemos:

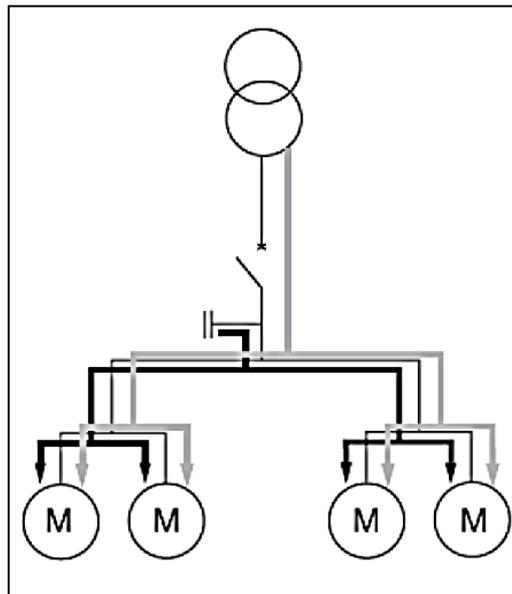
- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza el rendimiento del transformador.
- Disminuye la potencia aparente.
- Disminuyen las pérdidas por efecto joule.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que existen pérdidas por efecto joule.

C. Compensación central

Este tipo de compensación central es recomendable aplicarla para cargas continuas. El banco se conecta a las cabeceras de la instalación eléctrica; este tipo de compensación se observa en la siguiente figura:

Figura 17.
Compensación central



FUENTE: Schneider Electric (2000)

Este tipo de compensación se caracteriza por:

- Optimiza el rendimiento del transformador.
- Disminuye la potencia aparente.
- Suprime las penalizaciones por consumo de energía reactiva.
- Aplicando una regulación automática compensa las exigencias del momento.

Sin embargo, debemos tomar en cuenta lo siguiente:

- Circula corriente reactiva por toda la instalación eléctrica.
- Se mantienen las pérdidas por efecto joule.

2.6. FLUJO DE POTENCIA

Los estudios de flujos de potencia son de gran importancia en la planeación y diseño de la expansión futura de los sistemas de potencia, así como también en la determinación de las mejores condiciones de la operación de los sistemas existentes (Grainger & Stevenson Jr, 1996).

2.6.1. MODELO DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Modelo de las líneas de transmisión.

Una línea de transmisión conectada a las barras i-k de un sistema de energía eléctrica se puede representar por el modelo equivalente π , mostrado en la Figura N° 2.18 y definido por las características físicas de la línea: la conductancia serie G_{km} , la susceptancia serie B_{km} y la mitad de la susceptancia shunt (conectado a tierra) jb_{km}^{sh} .

La admitancia serie Y_{km} está definida por: $\bar{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km}$

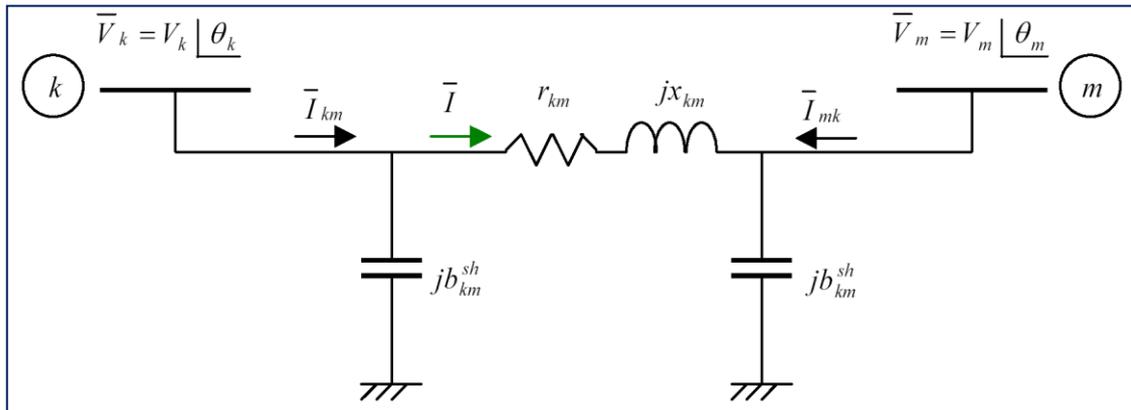
Donde:

Y_{km} : Admitancia Serie

G_{km} : Susceptancia Serie.

B_{km} : Mitad de la Susceptancia Shunt conectada a tierra.

Figura 18.
Modelo π de una línea de transmisión.



FUENTE: (Glover & Sarma, 2003)

$$\bar{Z}_{km} = R_{km} + jX_{km} \qquad \bar{Y}_{km} = \frac{1}{\bar{Z}_{km}}$$

Donde:

Z_{km} : Impedancia

R_{km} : Resistencia

X_{km} : Reactancia

$$\bar{Y}_{km} = \frac{r_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2} + j \frac{-x_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2}$$

$$\bar{I}_{km} = \bar{Y}_{km} (\bar{V}_k - \bar{V}_m) + j b_{km}^{sh} \bar{V}_k$$

$$\bar{I}_{km} = (\bar{Y}_{km} + j b_{km}^{sh}) \bar{V}_k - \bar{Y}_{km} \bar{V}_m$$

$$\bar{I}_{mk} = \bar{Y}_{km} (\bar{V}_m - \bar{V}_k) + j b_{km}^{sh} \bar{V}_m$$

$$\bar{I}_{mk} = (\bar{Y}_{km} + j b_{km}^{sh}) \bar{V}_m - \bar{Y}_{km} \bar{V}_k$$

$$\bar{S}_{km} = P_{km} + j Q_{km} = \bar{V}_k \bar{I}_{km}^*$$

Donde:

S_{km} : Potencia Compleja Aparente (VA)

P_{km} : Potencia Activa (W)

Q_{km} : Potencia Reactiva (VAR).

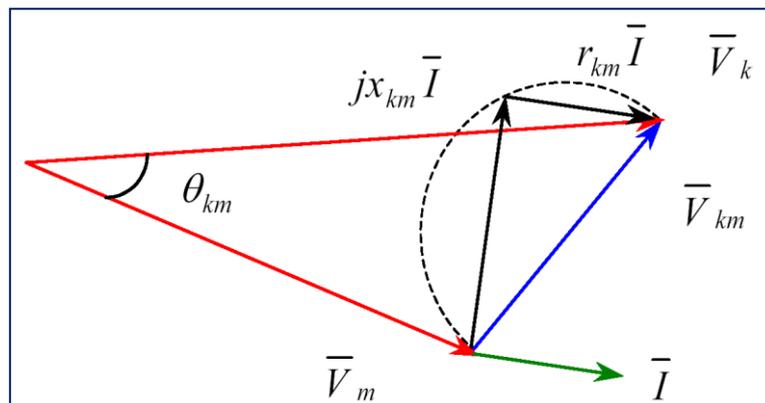
$$\bar{S}_{km} = \bar{V}_k \left[(\bar{Y}_{km} + j b_{km}^{sh}) \bar{V}_k - \bar{Y}_{km} \bar{V}_m \right]^*$$

$$\bar{S}_{km} = \bar{V}_k \left[(\bar{Y}_{km}^* - j b_{km}^{sh}) \bar{V}_k^* - \bar{Y}_{km}^* \bar{V}_m^* \right]$$

$$\bar{S}_{km} = (\bar{Y}_{km}^* - j b_{km}^{sh}) V_k^2 - \bar{Y}_{km}^* \bar{V}_k \bar{V}_m^*$$

$$\bar{V}_k \bar{V}_m^* = V_k V_m \angle (\theta_k - \theta_m) \quad \theta_{km} = \theta_k - \theta_m$$

Figura 19.
Desfasaje de la línea de transmisión



FUENTE: Glover & Sarma (2003)

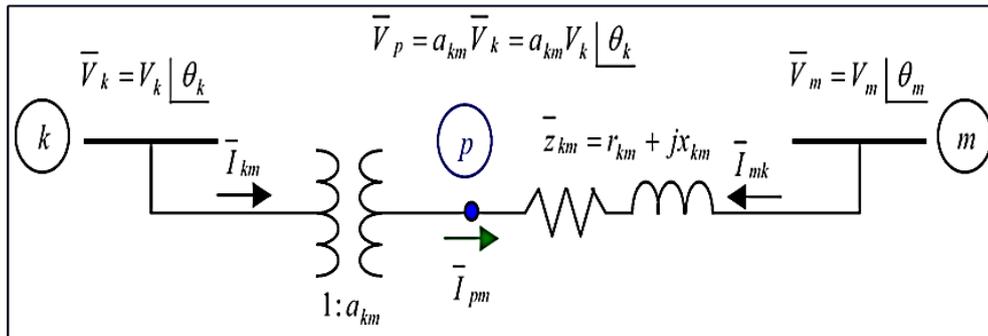
$$P_{km} = V_k^2 G_{km} - V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + b_{km} \sin \theta_{km})$$

$$Q_{km} = -V_k^2 (B_{km} + b_{km}^{sh}) - V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - b_{km} \cos \theta_{km})$$

Modelo de los transformadores.

Figura 20.

Modelo de los transformadores de potencia.



FUENTE: (Gómez Expósito, Antonio, 2002)

$$\frac{\bar{V}_k}{\bar{V}_p} = \frac{1}{a_{km}} \Rightarrow \bar{V}_p = a_{km} \bar{V}_k$$

$$\bar{I}_{pm} = \bar{Y}_{km} (\bar{V}_p - \bar{V}_m) = \bar{Y}_{km} (a_{km} \bar{V}_k - \bar{V}_m)$$

$$\bar{I}_{km} = a_{km} \bar{I}_{pm} = a_{km} \bar{Y}_{km} (a_{km} \bar{V}_k - \bar{V}_m)$$

$$\bar{I}_{mk} = -\bar{I}_{pm} = -\bar{Y}_{km} (a_{km} \bar{V}_k - \bar{V}_m)$$

$$\frac{\bar{I}_{km}}{\bar{I}_{pm}} = a_{km}^* = a_{km} \Rightarrow \bar{I}_{km} = a_{km} \bar{I}_{pm}$$

$$\bar{I}_{km} = a_{km}^2 \bar{Y}_{km} \bar{V}_k - a_{km} \bar{Y}_{km} \bar{V}_m$$

$$\bar{I}_{mk} = -a_{km} \bar{Y}_{km} \bar{V}_k + \bar{Y}_{km} \bar{V}_m$$

Las expresiones del flujo de potencia serán:

$$\bar{S}_{km} = \bar{V}_k \bar{I}_{km}^* = \bar{V}_k \left[a_{km}^2 \bar{Y}_{km} \bar{V}_k - a_{km} \bar{Y}_{km} \bar{V}_m \right]^*$$

$$\bar{S}_{km} = \bar{V}_k \left[\left(a_{km}^2 \bar{Y}_{km}^* \right) \bar{V}_k^* - a_{km} \bar{Y}_{km}^* \bar{V}_m^* \right]$$

$$\bar{S}_{km} = \bar{V}_k \left[\left(a_{km}^2 \bar{Y}_{km}^* \right) \bar{V}_k^* - a_{km} \bar{Y}_{km}^* \bar{V}_m^* \right]$$

$$\bar{S}_{km} = a_{km}^2 V_k^2 \bar{Y}_{km} - a_{km} \bar{Y}_{km}^* \bar{V}_k \bar{V}_m^*$$

$$\bar{S}_{km} = (a_{km} V_k)^2 (G_{km} - jB_{km}) - a_{km} (G_{km} - jB_{km}) V_k V_m \angle \theta_{km}$$

$$\bar{S}_{km} = (a_{km} V_k)^2 (G_{km} - jB_{km}) - (a_{km} V_k) V_m (G_{km} - jB_{km}) (\cos \theta_{km} + j \text{Sen} \theta_{km})$$

$$P_{km} = (a_{km} V_k)^2 G_{km} - (a_{km} V_k) V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \text{Sen} \theta_{km})$$

$$Q_{km} = -(a_{km} V_k)^2 B_{km} - (a_{km} V_k) V_m (G_{km} \text{Sen} \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$P_{mk} = V_m^2 G_{km} - (a_{km} V_k) V_m (G_{km} \cos \theta_{mk} + B_{km} \text{Sen} \theta_{mk})$$

$$Q_{mk} = -V_m^2 B_{km} - (a_{km} V_k) V_m (G_{km} \text{Sen} \theta_{mk} - B_{km} \cos \theta_{mk})$$

2.6.2. FORMULACIÓN DE LAS ECUACIONES POR EL MÉTODO DE NEWTON - RAPHSON

- No se ignora la parte reactiva
- Aproximación lineal.

$$\text{Base: } P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j^* Y_{ij}^*$$

La parte activa estará determinado por:

$$P_1 = f_1(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

$$\Delta P_1 = \frac{\partial f_1}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n$$

$$P_i = f_i(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

$$\Delta P_i = \frac{\partial f_i}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial f_i}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n$$

$$P_n = f_n(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

$$\Delta P_n = \frac{\partial f_n}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial f_n}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n$$

La parte reactiva estará determinada por:

$$Q_1 = g_1(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

$$\Delta Q_1 = \frac{\partial g_1}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial g_1}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial g_1}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n$$

$$Q_i = g_i(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

$$\Delta Q_i = \frac{\partial g_i}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial g_i}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial g_i}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial g_i}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n$$

$$Q_n = g_n(V_1, \dots, V_n, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

$$\Delta Q_n = \frac{\partial g_n}{\partial V_1} \Delta V_1 + \dots + \frac{\partial g_n}{\partial V_n} \Delta V_n + \frac{\partial g_n}{\partial \theta_1} \Delta \theta_1 + \dots + \frac{\partial g_n}{\partial \theta_n} \Delta \theta_n$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_n} & \frac{\partial f_1}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial V_n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial \theta_n} & \frac{\partial f_n}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial V_n} \\ \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial g_1}{\partial \theta_n} & \frac{\partial g_1}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial g_1}{\partial V_n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial g_n}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial g_n}{\partial \theta_n} & \frac{\partial g_n}{\partial V_1} & \cdots & \frac{\partial g_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \\ \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix}$$

Si eliminamos a la barra "Swing" y la potencia reactiva de generación, obtenemos un vector [P, Q] definido:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J_R] \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} = [J_R]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

El Jacobiano será:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^n V_i V_j [-g_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij}) + b_{ij} \text{cos}(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = V_i V_j [g_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij}) - b_{ij} \text{cos}(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = 2V_i g_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n V_j [g_{ij} \text{cos}(\Delta_{ij}) + b_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = V_i [g_{ij} \text{cos}(\Delta_{ij}) + b_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^n V_i V_j [g_{ij} \cos(\Delta_{ij}) + b_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} = V_i V_j [-g_{ij} \cos(\Delta_{ij}) - b_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -2V_i b_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n V_j [g_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij}) - b_{ij} \cos(\Delta_{ij})]$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = V_i [g_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij}) - b_{ij} \cos(\Delta_{ij})]$$

$$P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j^* Y_{ij}^* \quad Y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij}$$

Resolviendo se tiene lo siguiente:

$$P_i = f_i = V_i^2 g_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n V_i V_j [g_{ij} \cos(\Delta_{ij}) + b_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij})]$$

$$Q_i = g_i = -V_i^2 b_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n V_i V_j [g_{ij} \text{sen}(\Delta_{ij}) - b_{ij} \cos(\Delta_{ij})]$$

Donde: $\Delta_{ij} = \theta_i - \theta_j$

Pasos para la resolución del flujo de potencia:

- Asumir V, θ
- Calcular P', Q' usando $f_1, \dots, f_n, g_1, \dots, g_n$
- Calcular Jacobiano Reducido
- Calcular con (*) $\Delta V, \Delta \theta$
- Actualizar V, θ
- Volver a paso (1)

2.7. CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE CORTOCIRCUITO

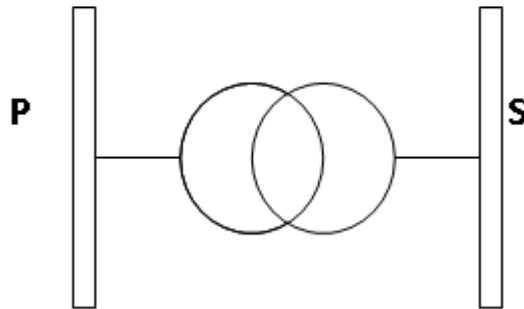
2.7.1. CRITERIO Y METODOLOGÍA

Transformadores de dos devanados.

Sobre la base de las características nominales del transformador, los parámetros serán calculados de la siguiente manera:

Figura 21.

Diagrama unifilar de un transformador de dos devanados.



P: Primario

S: Secundario

$$X_{(+)} = X_{PU} \left(\frac{N_{B Nueva}}{N_{B Original}} \right) \left(\frac{V_{B Original}}{V_{B Nueva}} \right)^2 \text{ p.u.}$$

$$X_{(-)} = X_{(+)} \quad \text{y}$$

$$X_{(0)} = 0,85 X_{(+)}$$

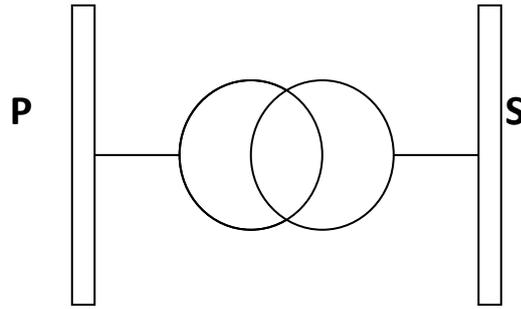
Donde:

X_{pu} : Tensión de cortocircuito en P.U.

$X_{(+)}$: Reactancia de secuencia positiva.

$X_{(-)}$: Reactancia de secuencia negativa.

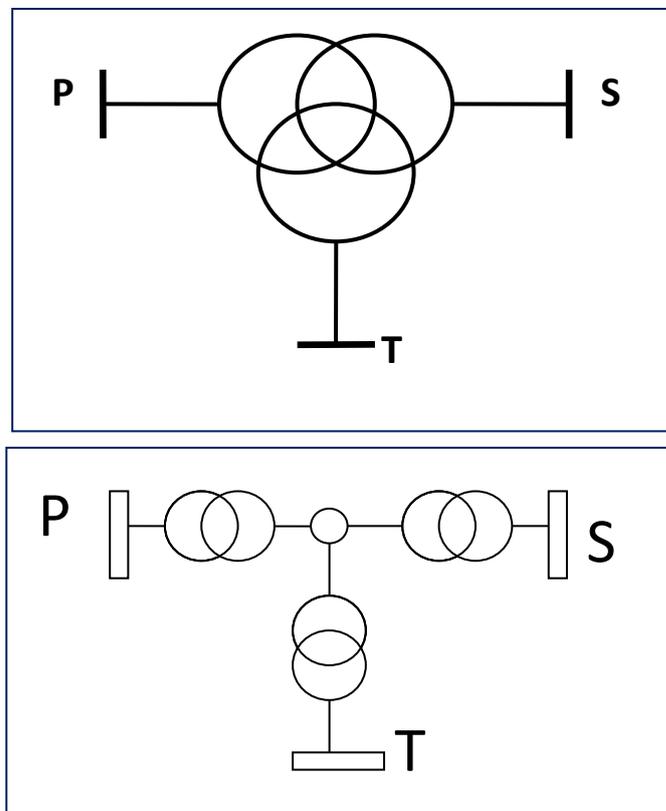
$X_{(0)}$: Reactancia de secuencia cero.



Transformadores de tres devanados

Los transformadores de tres devanados están conformados básicamente por tres transformadores monofásicos. Sobre la base de las características nominales del transformador, los parámetros serán calculados de la siguiente manera:

Figura 22.
Diagrama unifilar de un transformador de tres devanados.



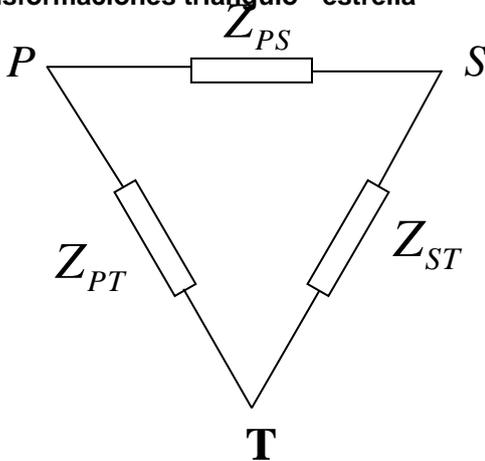
P: Primario
 S: Secundario
 T: Terciario

FUENTE: Expósito (2002)

Parámetros:

- Pcu-ps :(%),
- Pcu-pt :(%),
- Pcu-st :(%),
- Vcc-ps :(%),
- Vcc-pt :(%),
- Vcc-st :(%),
- Pfi :(%),
- Im :(%),
- Ptrafo :(MVA).

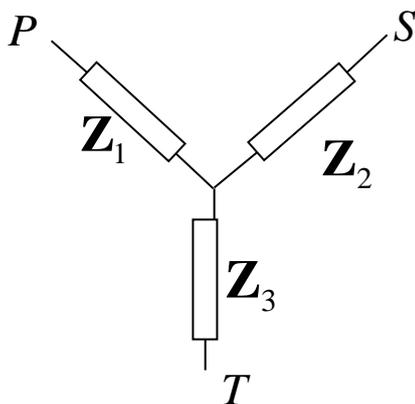
Figura 23.
Transformaciones triángulo - estrella



$$Z_{PS} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$$

$$Z_{PT} = Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}$$

$$Z_{ST} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$$



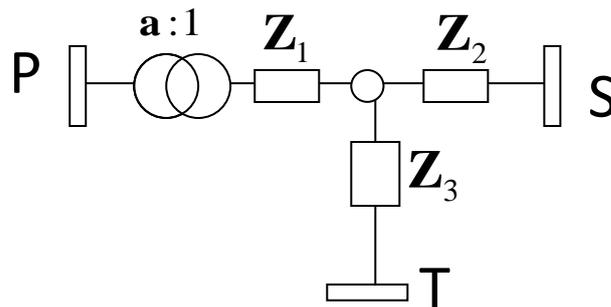
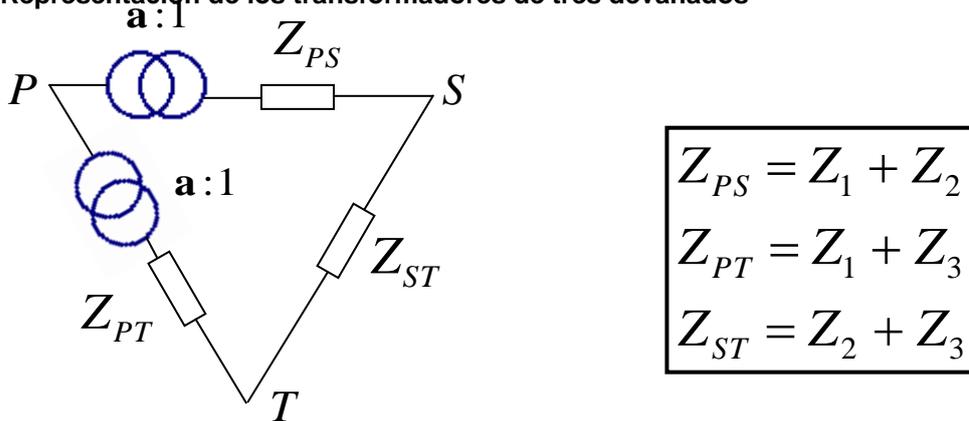
$$Z_1 = \frac{Z_{PT} Z_{PS}}{Z_{PT} + Z_{PS} + Z_{ST}}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{PS} Z_{ST}}{Z_{PT} + Z_{PS} + Z_{ST}}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{PT} Z_{ST}}{Z_{PT} + Z_{PS} + Z_{ST}}$$

FUENTE: (Kothari, D.P & Nagrath, I.J., 2008)

Figura 24.
Representación de los transformadores de tres devanados



$$Z_1 = \frac{1}{2} [Z_{PS} + Z_{PT} - Z_{ST}]$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} [Z_{ST} + Z_{PS} - Z_{PT}]$$

$$Z_3 = \frac{1}{2} [Z_{PT} + Z_{ST} - Z_{PS}]$$

FUENTE: Kothari & Nagrath (2008)

$$X_{(+)} = X_{PU} \left(\frac{N_{B Nueva}}{N_{B Original}} \right) \left(\frac{V_{B Original}}{V_{B Nueva}} \right)^2 \text{ p.u.}$$

$$X_{(-)} = X_{(+)} \quad \gamma$$

$$X_{(0)} = 0,85 X_{(+)}$$

Donde:

X_{pu} : Tensión de cortocircuito en P.U.

$X(+)$: Reactancia de secuencia positiva.

$X(-)$: Reactancia de secuencia negativa.

$X(0)$: Reactancia de secuencia cero.

2.7.2. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La impedancia de secuencia positiva es la impedancia normal de una línea de transmisión. Existen varios libros especializados en métodos de obtención de la impedancia de líneas de transmisión.

En la práctica los parámetros de las líneas de transmisión son calculados teniendo en consideración las características de los conductores y sus respectivas disposiciones en las estructuras de transmisión.

A. Cálculo de la reactancia inductiva por fase

$$X_L = 2 \pi f \left(0,5 + 4,606 \log \frac{DMG}{RMG} \right) 10^{-4} \quad \Omega / km$$

$$X_L = 0,17364 \log \frac{DMG}{RMG} \quad \Omega / km$$

Donde:

f : Frecuencia del Sistema = 60 Hz

RMG : Radio efectivo del conductor

$RMG = 0,7263 * r$ para 07 alambres,

$RMG = 0,7580 * r$ para 19 alambres,

Siendo r el radio exterior del conductor en mm.

DMG : Distancia Media Geométrica de los conductores,

$DMG = 1511,9$ mm, para una configuración trifásica, con cruceta de Madera.

$DMG = 756,0$ mm, para una configuración trifásica, con cruceta de C.A.

B. Cálculo exacto de la resistencia

La resistencia de los conductores se calculará a la temperatura de operación, mediante la siguiente fórmula:

$$R_{LT} = R_{20} [1 + \alpha (T - 20^\circ)] \text{ ohm/km}$$

Donde:

R_{LT} : Resistencia de operación del conductor.

R_{20} : Resistencia del conductor en c.c. a 20°C, en ohm/km.

T : Temperatura de operación del conductor.

α : Factor que depende del tipo de material.

Para $\alpha = 25^\circ\text{C}$

α : 0,00375 Para cobre duro.

α : 0,00396 Para aluminio y ACSR.

α : 0,00354 Para aldrej.

α : 0,00346 Para acero115.

C. Cálculo de la impedancia de secuencia homopolar.

Para el cálculo de este parámetro se emplearán las fórmulas de Carson, el cual considera la ubicación del conductor ficticio bajo tierra: (D_e).

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ m}$$

Donde:

D_e : Profundidad de retorno equivalente (m).

ρ : Resistividad del terreno ($\Omega\cdot\text{m}$).

f : Frecuencia del sistema (Hz).

- **Impedancia homopolar propia de los conductores (Z_{01}).**

$$Z_{01} = R_C + 0,002964 f + j 0,008676 f \log\left(\frac{De}{RMG_1}\right)$$

Donde:

$$RMG_1 = \sqrt[3]{r (DMG_{abc})^2}$$

DMG_{abc} : Distancia media de los conductores (mm).

r : Radio medio geométrico de cada conductor.

- **Impedancia homopolar propia de los cables de guarda.**

$$Z_{0g} = 3 R_g + 13,084 + j 0,008676 f \log\left(\frac{De}{RMG_g}\right)$$

Donde:

$$RMG_g = \sqrt[3]{r_g (DMG_g)^2}$$

RMG_g : Radio medio geométrico de los cables de guarda (mm).

R_g : Resistencia del cable de guarda.

- **Impedancia homopolar mutua entre conductores y cable de guarda.**

$$Z_{0(m)} = 0,002964 f + j 0,008676 f \log\left(\frac{De}{RMG_{1g}}\right)$$

Donde:

$$DMG_{1g} = \sqrt[3]{(d_{ag} d_{bg} d_{cg})}$$

DMG_{1g} : Distancia media de los conductores y el cable de guarda.

- Impedancia de secuencia homopolar de la línea de transmisión.

Finalmente se tiene:

$$Z_{00} = Z_{01} - \frac{(Z_{0(m)})^2}{Z_{0g}}$$

2.8. SOFTWARE DE ANÁLISIS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA ETAP

ETAP es la herramienta más completa de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales.

Los módulos de Análisis ETAP ofrecen programas totalmente integrados incluyendo flujo de carga, cortocircuito, coordinación y selectividad de protecciones, dimensionado de cables, estabilidad transitoria, Arc Flash, flujo de potencia óptimo y más. Su diseño modular permite que sea configurado de acuerdo a las necesidades de cualquier empresa, desde sistemas de potencia pequeños, a los más grandes.

2.8.1. FLUJO DE CARGA

El módulo de Flujo de Potencia de ETAP (Load Flow Analysis) realiza el cálculo de voltajes en las barras, los factores de potencia en las derivaciones, corrientes y flujos de potencia a través del sistema eléctrico. Asimismo, es capaz de realizar análisis en sistemas radiales y en anillo. ETAP permite al usuario seleccionar diferentes métodos para lograr la mejor eficiencia de cálculo (Manual ETAP Versión 12.6.).

2.8.2. DATOS DE ENTRADA

Los datos requeridos para los cálculos de flujo de carga son:

BARRA (BUS)

Tensión Nominal (KV)

DATOS DE LOS ELEMENTOS

Estos datos son ingresados al software a través de los editores de elementos (transformadores, líneas de transmisión, cables y otros).

- Valores de los parámetros de las derivaciones (Z, R, X o X/R) y sus unidades.
- Distancia y unidades de los cables y líneas de transmisión.
- Transformadores, valores de voltajes y potencia nominales (kV y MVA, respectivamente), posición de los TAPS.

EQUIVALENTE DE RED

- Modo de operación (Swing, Control de Voltaje, Control de MVAR o Control de PF).
- Voltaje Nominal.
- Porcentaje de Voltaje y Angulo para el modo Swing.

MOTOR DE INDUCCIÓN

- Valores nominales de voltaje y potencia (KV y kW/HP, respectivamente).
- Factor de potencia y eficiencias al 100%, 75% y 50% de la carga.
- Datos del cable de conexión del motor.

CARGAS

- Voltaje Nominal
- Potencia Aparente (kVA/MVA)
- Factor de Potencia y porcentaje de carga del motor.

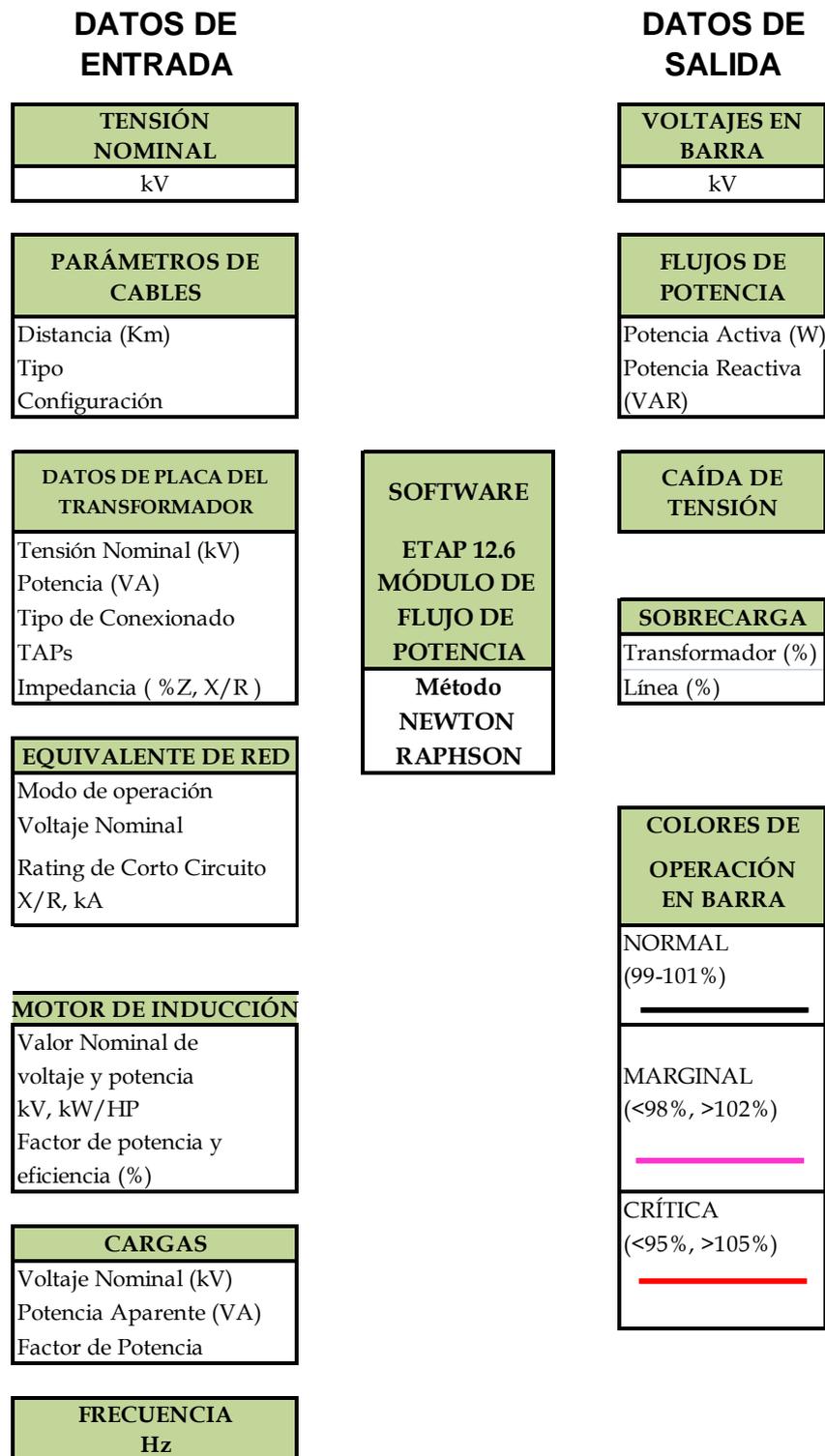
OTROS DATOS

- Método (Newton-Raphson, Fast-Decoupled, o Accelerated Gauss-Seidel)
- Condición de voltaje inicial
- Formato de Reporte.

2.8.3. DATOS DE SALIDA (RESULTADOS)

Los resultados de los cálculos de flujo de carga son reportados de manera gráfica en el diagrama unifilar que muestra el software y en formatos de datos; en el cual se muestran los voltajes en la barra (bus), flujos de potencia en las derivaciones (branches), caídas de voltaje, consumo de potencia de las cargas u otros. Del mismo modo, es posible configurar indicadores para condiciones de operación anormales, como sobrecargas de cables y sobrevoltajes o subvoltajes en las barras, con la posibilidad de identificarlos por colores previamente configurados.

Figura 25.
Datos de Entrada y Salida Software ETAP 12.6



FUENTE: Manual ETAP 12.6

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. ANTECEDENTES

Unión Andina de Cementos (UNACEM S.A.A) viene implementando nuevas instalaciones con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica, se ha realizado la construcción del Horno N° 4 considerando 21 alimentadores que suministran de energía eléctrica a: transportadores, zarandas, chancadoras, molienda, procesador calcinador, pre calentador, prensa crudo, ventiladores, accionamientos, enfriadores, desglomerador y separadores; el equipamiento principal de las cargas mencionadas son motores.

Se está proyectando la implementación de nuevas instalaciones (Chancadora y Ventilador Enfriador) con la finalidad de incrementar su producción, con el consecuente incremento del consumo de energía eléctrica.

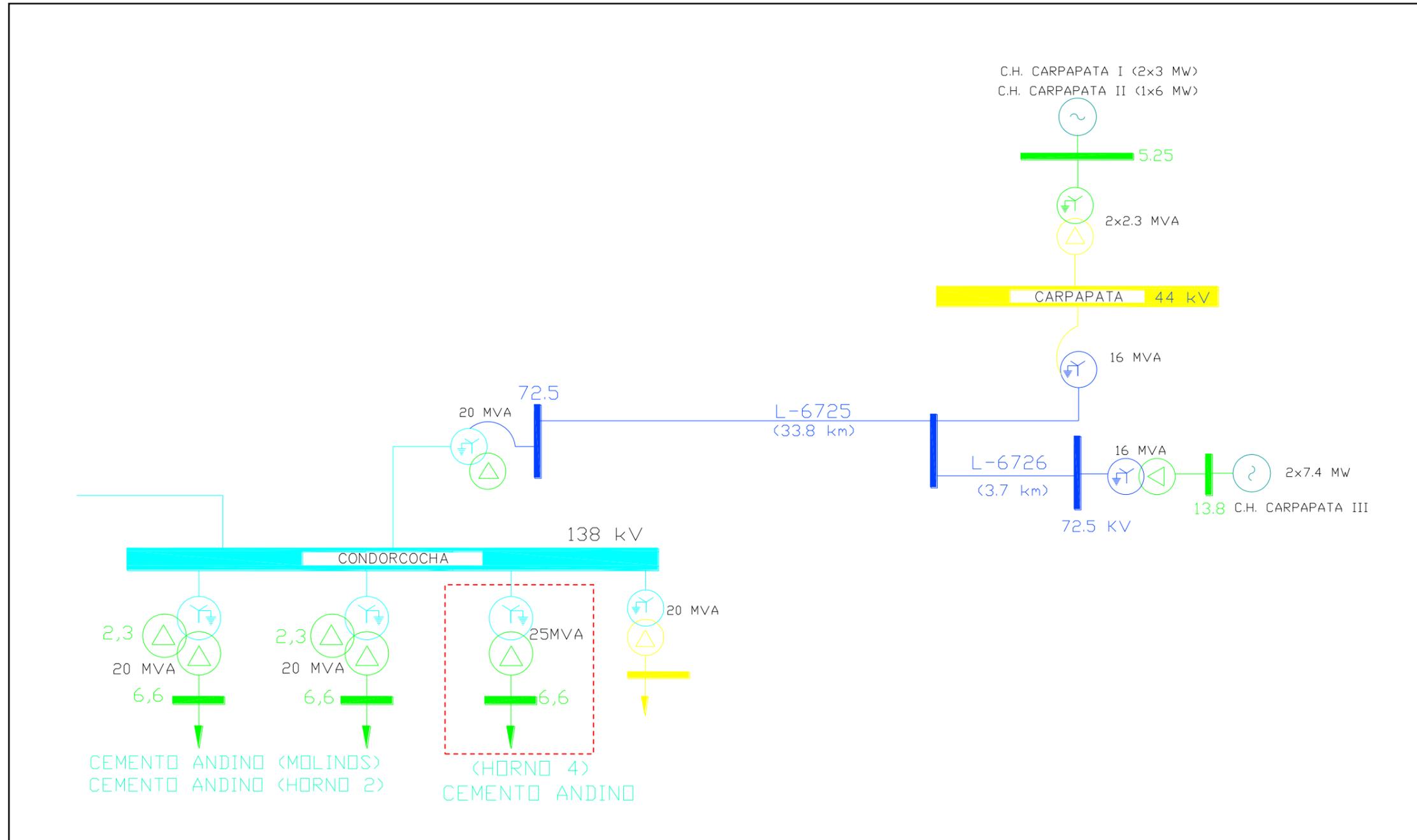
El sistema eléctrico de UNACEM S.A.A cuenta con dos puntos de alimentación, por el SEIN en 138 kV, y las centrales hidroeléctricas Carpapata I y II en 72.5 kV.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

El sistema eléctrico de UNACEM S.A.A, se conecta al SEIN a través de la línea de transmisión S.E Caripa – S.E. Condorcocha en 138 kV (L-1706) de aproximadamente 12.0 km la S.E. Caripa 138 kV es de propiedad de Statkraft Perú, la Central Hidroeléctrica Carpapata I y II se conecta a través de la línea de transmisión Carpapata-Condorcocha en 72.5 kV y mediante un autotransformador 72.5/138 kV eleva la tensión permitiendo conectarse a la barra de 138 kV de la S.E. Condorcocha.

En la Figura N° 26 se muestra el diagrama simplificado del sistema eléctrico UNACEMS.A.A.

Figura 26.
Diagrama Unifilar Simplificado Condorcocha



FUENTE: (COES SINAC, 2016).

3.2.1. EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO IV.

- El sistema eléctrico Horno IV se alimenta a través de un transformador de potencia de 20/25 MVA ONAN/ONAF.

Tabla 1.
Parámetros del Transformador de Potencia

| PARÁMETROS DE TRANSFORMADOR | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Año de Fabricación | : 2014 |
| Altura Máxima de Operación | : 4500 m.s.n.m. |
| Potencia Nominal | : 20/25 MVA |
| Sistema de Refrigeración | : ONAN/ONAF |
| Alta Tensión | : 138 kV |
| Media Tensión | : 6.9 kV |
| Frecuencia Nominal | : 60 Hz |
| Conmutador de Tomas | : Automático (-4-18)x1.136% |
| Impedancia de Cortocircuito | : 10.00% |
| Grupo de Conexión | : YNd5 |

FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

La subestación Horno IV cuenta con 21 alimentadores, cada uno de ellos contiene como cargas principales a motores como se muestra a continuación.

Tabla 2.
Motores eléctricos en baja tensión en 440 V¹

| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | HP | F.P. |
|------|---|------|------|
| 1 | Transportador de Alimentación | 60 | 0.85 |
| 2 | Zaranda Vibratoria | 75 | 0.85 |
| 3 | Separador SEPOL | 200 | 0.85 |
| 4 | Ventilador de Ciclones | 1500 | 0.9 |
| 5 | Ventilador Intercambiador de Calor | 3000 | 0.85 |
| 6 | Accionamiento Horno IV | 500 | 0.85 |
| 7 | Ventilador FM Enfriador | 500 | 0.85 |
| 8 | Ventilador del Enfriador SST1 | 300 | 0.85 |
| 9 | Ventilador del Enfriador SST2 | 350 | 0.85 |
| 10 | Ventilador del Enfriador SST3 | 350 | 0.85 |
| 11 | Blower Dosificador de Carbón (Stand By) | 250 | 0.85 |
| 12 | Molino de Carbón | 400 | 0.85 |
| 13 | Ventilador FM del Molino de carbón | 250 | 0.85 |
| 14 | Desaglomerador Degpol 1 | 350 | 0.85 |
| 15 | Desaglomerador Degpol 2 | 350 | 0.85 |
| 16 | Separador SEPOL ESW380/4C | 700 | 0.85 |
| 17 | Ventilador de separadora AE | 1200 | 0.85 |

FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

¹ UNACEM Estudio de Operatividad – Nuevo Transformador T4 – Planta Condorcocha.

Tabla 3.
Motores Media Tensión en 6.6 kV

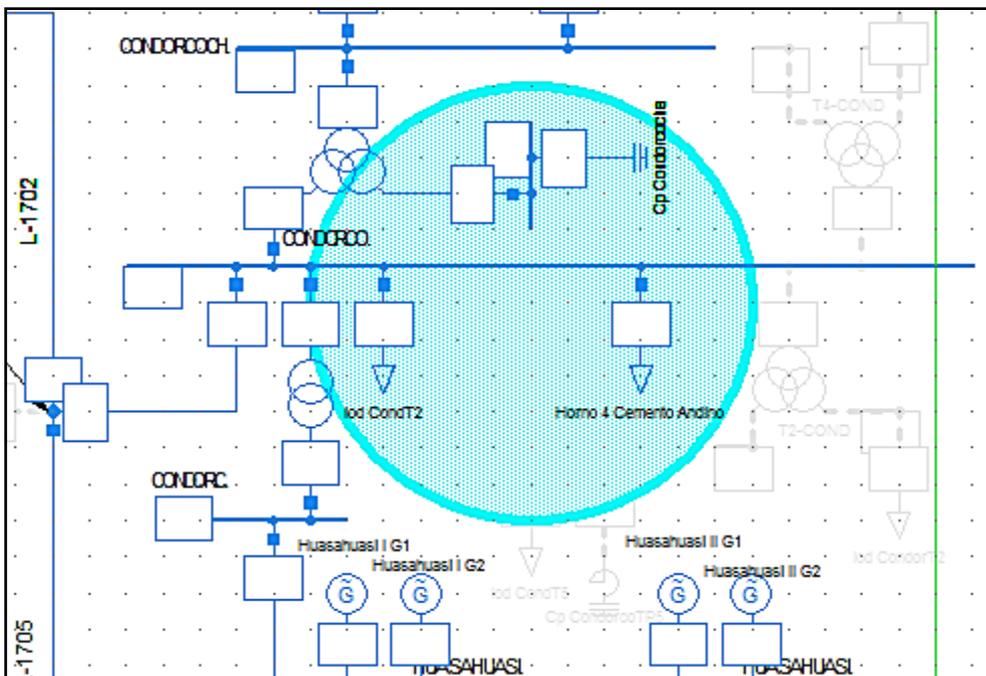
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | HP | F.P. |
|------|--------------------------------|-----|------|
| 1 | Chancadora 4Titan Krupp Miag 1 | 500 | 0.83 |
| 2 | Ventilador Enfriador 1 | 500 | 0.83 |

- La subestación Horno IV cuenta con un banco de capacitores de 3000 kVAR, 6.6 kV y con 6 pasos de 500 kVAR.

3.2.2. PARÁMETROS DE LA RED EQUIVALENTE

Para la obtención de la red equivalente, que representa a todo el SEIN, nos basamos en la base de datos del Sistema Interconectado Nacional (SEIN) proporcionado por el COES – SINAC, software DigSILENT Power Factory. Los parámetros que se utilizaron para la simulación son los que se muestran en la tabla 4.

Figura 27.
Barra de referencia para obtención de Red Equivalente



FUENTE: Base de Datos COES SINAC 2016

Tabla 4.
Equivalentes de Red

| EQUIVALENTE DE RED | | | | |
|-----------------------------|----------------------------|--------|-------|------|
| ESCENARIOS | CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO | MVA | KA | X/R |
| Estiaje Máxima Demanda 2016 | Trifásico | 881.36 | 3.687 | 5.03 |
| | Monofásico | 350.10 | 4.394 | 5.03 |
| Estiaje Media Demanda 2016 | Trifásico | 864.90 | 3.618 | 5.09 |
| | Monofásico | 345.40 | 4.335 | 5.09 |
| Estiaje Mínima Demanda 2015 | Trifásico | 881.33 | 3.687 | 5.03 |
| | Monofásico | 350.07 | 4.394 | 5.03 |

FUENTE: (COES SINAC, 2016) Software DlgSILENT

3.3. DEMANDA CONSIDERADA

Para el análisis del Sistema Eléctrico Horno IV, se tuvieron en cuenta datos de carga obtenidos a partir de mediciones realizadas en campo; así como también de los datos que el personal de la UNACEM proporcionó, basado en la experiencia y el conocimiento adquirido de las instalaciones del sistema eléctrico se obtuvo cuadros de equipos instalados por subestación y diagramas unifilares.

Potencia Instalada. - Cada equipo indica una capacidad máxima de funcionamiento. Con tal premisa para esta tesis la potencia instalada será la máxima potencia que consumen todos los equipos e instalaciones involucradas en este estudio, funcionando a su máxima capacidad.

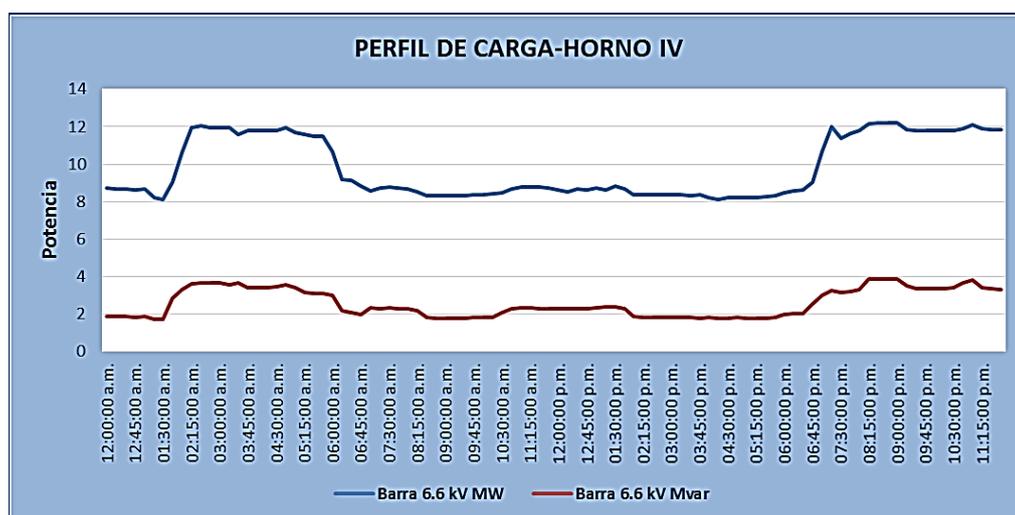
De la Máxima Demanda. - De acuerdo con la información recabada se designó datos de carga a cada subestación involucrada en la tesis de tal forma que la máxima demanda total coincida con las lecturas registradas en la Subestación Condorcocha y Horno VI. Debe advertirse que para este caso del Sistema Eléctrico Horno IV, la máxima demanda no coincide con la potencia instalada descrita en el párrafo anterior; primero, debido a que la simultaneidad es menor a 1; segundo, a que mucho de los equipos no funcionan al 100% de su capacidad nominal.

De la Mínima y Media Demanda. - Teniendo como premisa la potencia instalada y basada en la máxima demanda, la mínima y media demanda se obtiene teniendo en consideración el perfil de carga obtenido en campo.

3.3.1. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DEMANDA.

- Primero, se elaboró el perfil de carga de la barra 6.6 kV de la S.E. Horno IV para identificar la hora y el día en el que se produjo la máxima demanda coincidente en la temporada de estiaje en este caso fue el 19 de junio de 2016 a 20:30 horas.
- Segundo, del mismo día que se produjo la máxima demanda conseguimos la mínima demanda que fue 16:30 horas, y la media demanda según el COES se genera a las 12:00 horas.

Figura 28.
Perfil de Carga S.E. Horno IV-Barra 6.6 kV



FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

Tabla 5: Demandas-Barra 6.6 kV

| Fecha: 19 de junio 2016 | | | | | |
|-------------------------|-------|----------------|---------------|-----------------|--------------|
| TEMPORADA | HORA | ESCENARIO | POTENCIA (MW) | POTENCIA (Mvar) | TENSIÓN (kV) |
| Estiaje | 20:30 | Máxima Demanda | 12.22 | 3.87 | 6.56 |
| | 12:00 | Media Demanda | 8.64 | 2.28 | 6.56 |
| | 16:30 | Mínima Demanda | 8.09 | 1.75 | 6.62 |

FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

3.3.2. DEMANDA CONSIDERADA PARA LAS SIMULACIONES

La demanda máxima, media y mínima considerada como situación actual y considerando la ampliación de la chancadora y el ventilador son los que se muestran en el cuadro siguiente.

Tabla 6.
Demandas-Alimentadores 6.6 kV

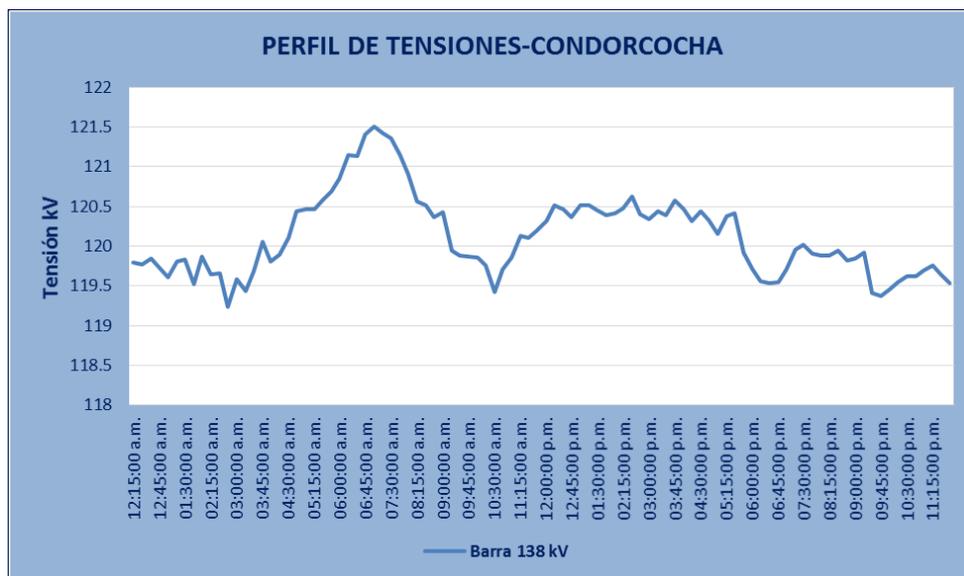
| DEMANDA HORNO IV | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|------|------|------|----------------|------|------|---------------|------|------|--------------|------|------|
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | Año | HP | F.P. | Demanda Máxima | | | Demanda Media | | | Mínima Media | | |
| | | | | | kVA | kW | kVAR | kVA | kW | kVAR | kVA | kW | kVAR |
| 1 | Chancadora 4Titan Krupp Miag 1 | 2016 | 500 | 0.83 | 428 | 355 | 239 | 299 | 249 | 167 | 278 | 231 | 155 |
| 2 | Chancadora 4Titan Krupp Miag 2 (Proyectado) | 2016 | 500 | 0.83 | 428 | 355 | 239 | 299 | 249 | 167 | 278 | 231 | 155 |
| 3 | Ventilador Enfriador 1 | 2016 | 500 | 0.83 | 380 | 315 | 212 | 266 | 221 | 148 | 247 | 205 | 138 |
| 4 | Ventilador Enfriador 2 (Proyectado) | 2016 | 500 | 0.83 | 380 | 315 | 212 | 266 | 221 | 148 | 247 | 205 | 138 |
| Carga Actual | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Transportador de Alimentación | 2016 | 60 | 0.85 | 51 | 43 | 27 | 35 | 30 | 19 | 33 | 28 | 17 |
| 6 | Zaranda Vibratoria | 2016 | 75 | 0.85 | 65 | 55 | 34 | 45 | 39 | 24 | 42 | 36 | 22 |
| 7 | Chancadora Secundaria N°2 | 2016 | | 0.9 | 111 | 100 | 48 | 78 | 70 | 34 | 72 | 65 | 31 |
| 8 | Chancadora Secundaria Transporte de Materias Primas | 2016 | | 0.9 | 22 | 20 | 10 | 16 | 14 | 7 | 14 | 13 | 6 |
| 9 | Separador SEPOL | 2016 | 200 | 0.85 | 156 | 133 | 82 | 110 | 93 | 58 | 102 | 86 | 54 |
| 10 | Molienda de Crudo y Filtro Mangas | 2016 | | 0.9 | 111 | 100 | 48 | 78 | 70 | 34 | 72 | 65 | 31 |
| 11 | Precalentador Calcinador y Aux. Horno IV | 2016 | | 0.9 | 56 | 50 | 24 | 39 | 35 | 17 | 36 | 33 | 16 |
| 12 | Prensa Crudo Polycron | 2016 | | 0.9 | 1889 | 1700 | 823 | 1322 | 1190 | 576 | 1228 | 1105 | 535 |
| 13 | Ventilador de Ciclones | 2016 | 1500 | 0.9 | 1000 | 900 | 436 | 700 | 630 | 305 | 650 | 585 | 283 |
| 14 | Ventilador Filtro de Mangas | 2016 | | 0.9 | 1111 | 1000 | 484 | 778 | 700 | 339 | 722 | 650 | 315 |
| 15 | Ventilador Intercambiador de Calor | 2016 | 3000 | 0.85 | 2353 | 2000 | 1239 | 1647 | 1400 | 868 | 1529 | 1300 | 806 |
| 16 | Accionamiento Horno IV | 2016 | 500 | 0.85 | 371 | 315 | 195 | 259 | 221 | 137 | 241 | 205 | 127 |
| 17 | Enfriador FM y Trabsp. Clinker | 2016 | | 0.9 | 89 | 80 | 39 | 62 | 56 | 27 | 58 | 52 | 25 |
| 18 | Ventilador FM Enfriador | 2016 | 500 | 0.85 | 371 | 315 | 195 | 259 | 221 | 137 | 241 | 205 | 127 |
| 19 | Ventilador del Enfriador SST1 | 2016 | 300 | 0.85 | 235 | 200 | 124 | 165 | 140 | 87 | 153 | 130 | 81 |
| 20 | Ventilador del Enfriador SST2 | 2016 | 350 | 0.85 | 294 | 250 | 155 | 206 | 175 | 108 | 191 | 163 | 101 |
| 21 | Ventilador del Enfriador SST3 | 2016 | 350 | 0.85 | 294 | 250 | 155 | 206 | 175 | 108 | 191 | 163 | 101 |
| 22 | Blower Dosificador de Carbón (Stand By) | 2016 | 250 | 0.85 | 218 | 185 | 115 | 152 | 130 | 80 | 141 | 120 | 75 |
| 23 | Sistema Petróleo Calcinador Dosificador Carbón | 2016 | | 0.9 | 33 | 30 | 15 | 23 | 21 | 10 | 22 | 20 | 9 |
| 24 | Molino de Carbón | 2016 | 400 | 0.85 | 329 | 280 | 174 | 231 | 196 | 121 | 214 | 182 | 113 |
| 25 | Ventilador FM del Molino de carbón | 2016 | 250 | 0.85 | 212 | 180 | 112 | 148 | 126 | 78 | 138 | 117 | 73 |
| 26 | Molienda de Cemento Transporte de Cemento | 2016 | | 0.9 | 556 | 500 | 242 | 389 | 350 | 170 | 361 | 325 | 157 |
| 27 | Desaglomerador Degpol 1 | 2016 | 350 | 0.85 | 294 | 250 | 155 | 206 | 175 | 108 | 191 | 163 | 101 |
| 28 | Desaglomerador Degpol 2 | 2016 | 350 | 0.85 | 294 | 250 | 155 | 206 | 175 | 108 | 191 | 163 | 101 |
| 29 | Molienda de Cemento | 2016 | | 0.9 | 60 | 54 | 26 | 42 | 38 | 18 | 39 | 35 | 17 |
| 30 | Prensa de Cemento VII Polycron | 2016 | | 0.8 | 3500 | 2800 | 2100 | 2450 | 1960 | 1470 | 2275 | 1820 | 1365 |
| 31 | Separador SEPOL ESW380/4C | 2016 | 700 | 0.85 | 582 | 495 | 307 | 408 | 347 | 215 | 379 | 322 | 199 |
| 32 | Ventilador de separadora AE | 2016 | 1200 | 0.85 | 918 | 780 | 483 | 642 | 546 | 338 | 596 | 507 | 314 |

FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

3.4. PERFIL DE TENSIONES

Teniendo en consideración que el incremento de carga en la S.E. Horno IV afectará en las tensiones del sistema eléctrico, se determinó el comportamiento de las tensiones en situación actual.

Figura 29.
Perfil de Tensiones S.E. Condorcocha-Barra 138 kV



FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

Tabla 7.
Tensiones en S.E. Condorcocha-Barra 138 kV

| TEMPORADA | ESCENARIO | TENSIÓN (kV) |
|-----------|----------------|--------------|
| Estiaje | Máxima Demanda | 119.94 |
| | Media Demanda | 120.32 |
| | Mínima Demanda | 120.31 |

FUENTE: Información brindada por U.N.A.C.E.M

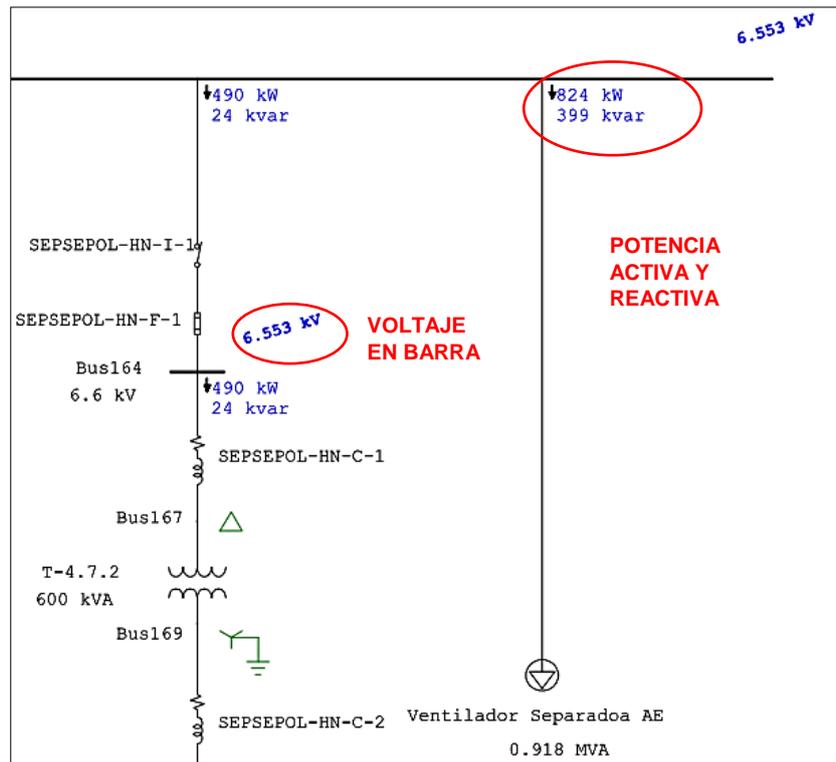
3.5. ANÁLISIS DE FLUJO DE POTENCIA

El objetivo del presente análisis es el de conocer los resultados de flujos de carga del sistema eléctrico Horno IV en su situación actual y frente a los incrementos de demanda, a fin de conocer los valores de tensión en las diferentes barras, así como los niveles de sobrecarga de los diferentes equipos que componen el sistema eléctrico en estudio como son: cables de energía y transformadores de potencia.

El flujo de potencia del sistema eléctrico Horno VI se realizó en el programa computacional ETAP versión. 12.6.

La simulación del flujo de potencia se encuentra en el Anexo N°02; en el cual se pueden apreciar los voltajes en barra y flujos de Potencia Activa y Reactiva, tal como se aprecia en la Figura N° 30:

Figura 30.
Parámetros en el Anexo 02



FUENTE: Resultados de flujo de potencia del Software ETAP

3.5.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en las simulaciones de flujo de potencia nos permiten determinar el comportamiento de un sistema en el estado estacionario determinando así los cambios que se producen en niveles de tensión en las barras, la distribución de los flujos de potencia del tipo activa y reactiva en las líneas, transformadores y equipos importantes de potencia.

De esta manera evaluar los resultados de los flujos de potencia que se haya considerado como criterio de análisis para la calidad y confiabilidad del sistema para satisfacer las condiciones recomendadas por la recomendaciones de la Norma

Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – NTCSE y “Alcances para el Desarrollo de Estudios de Pre Operatividad” del Procedimiento Técnico PR-20(COES SINAC, 2013), los cuales son:

Niveles de tensiones admisibles en barra.

- Operación normal : $\pm 5\%$ Vn (Voltaje Nominal)

Cargas en líneas y transformadores.

- Líneas de Transmisión : 100% de su capacidad nominal.
- Transformadores de potencia : 100% de su potencia nominal.

Para la simulación de los flujos de potencia se ha considerado la siguiente información:

- A. Los casos de estudio fueron modelados en función a la información recabada en los trabajos de campo, así como la base de datos de los estudios realizados al sistema eléctrico Horno IV.
- B. Las simulaciones y cálculos fueron realizados en el software de sistemas de potencia ETAP Power Station V12.6.
- C. Se asumieron los siguientes datos de operación:
 - Potencia activa y reactiva despachado por las Centrales Hidroeléctricas Carpapata en temporada de Estiaje.
 - Potencia activa y reactiva total del sistema eléctrico Horno IV coincidente con los datos registrados; así como con los datos, entregados por UNACEM S.A.A.

3.5.2. CASOS SIMULADOS

En el caso de Flujos de Potencia, se han considerado las siguientes simulaciones.

3.5.2.1. Caso 1, Situación Actual

- Máxima Demanda
- Media Demanda
- Mínima Demanda

En este escenario se evalúa el sistema eléctrico bajo la topología radial de la red actual.

3.5.2.2. Incremento de Carga

- Caso 2, Ampliación de la Chancadora 4 y ventilador Enfriador, sin considerar variadores de frecuencia.
- Caso 3, Ampliación de la Chancadora 4 y ventilador Enfriador, considerando variadores de frecuencia.

El programa computacional ETAP, utiliza el algoritmo descrito en el Capítulo II de la presente tesis para determinar los resultados de las simulaciones de flujo de potencia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA DEL FLUJO DE POTENCIA ELÉCTRICA

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 02 en esquemas donde se muestran los flujos de carga bajo cada escenario simulado.

A continuación, se presentan cuadros y gráficos que resumen los resultados y el análisis correspondiente a flujos de potencia en estado estacionario:

4.1.1. RESULTADOS DE PERFIL DE TENSIÓN EN BARRAS- SITUACIÓN ACTUAL – CASO 01

En la tabla N° 8 se muestran los resultados de perfil de tensión en barras, para los escenarios considerados.

Tabla 8.
Tensiones en Barras-Situación Actual. (Caso 01)

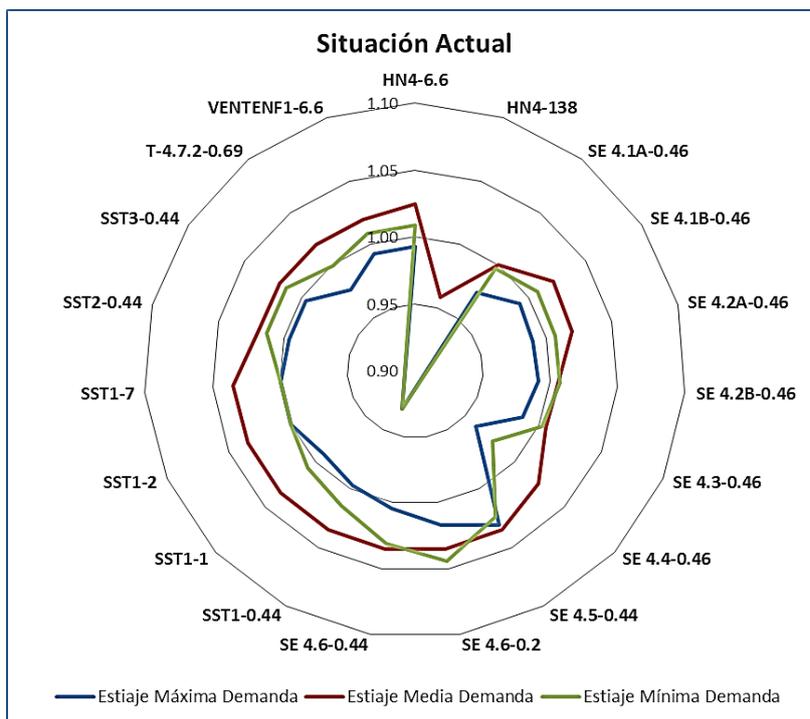
| BARRA Código ETAP | V Nom kV | 2016 - SITUACIÓN ACTUAL | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | Estiaje | | | | | |
| | | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV |
| HN4-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.553 | 1.03 | 6.586 | 1.01 | 6.657 |
| HN4-138 | 138 | 0.87 | 120.06 | 0.96 | 120.06 | 0.87 | 120.06 |
| SE 4.1A-0.46 | 0.46 | 0.97 | 0.448 | 1.00 | 0.453 | 1.00 | 0.458 |
| SE 4.1B-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.456 | 1.02 | 0.459 | 1.01 | 0.464 |
| SE 4.2A-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.455 | 1.02 | 0.458 | 1.01 | 0.463 |
| SE 4.2B-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.456 | 1.01 | 0.459 | 1.01 | 0.464 |
| SE 4.3-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.454 | 1.01 | 0.456 | 1.00 | 0.461 |
| SE 4.4-0.46 | 0.46 | 0.96 | 0.442 | 1.02 | 0.445 | 0.98 | 0.45 |
| SE 4.5-0.44 | 0.44 | 1.03 | 0.454 | 1.03 | 0.457 | 1.02 | 0.451 |
| SE 4.6-0.2 | 0.44 | 1.02 | 0.447 | 1.03 | 0.454 | 1.04 | 0.459 |
| SE 4.6-0.44 | 0.44 | 1.00 | 0.442 | 1.03 | 0.452 | 1.03 | 0.454 |
| SST1-0.44 | 0.44 | 1.00 | 0.439 | 1.03 | 0.442 | 1.01 | 0.446 |
| SST1-1 | 6.6 | 0.99 | 6.543 | 1.03 | 6.577 | 1.01 | 6.648 |
| SST1-2 | 6.6 | 1.00 | 6.599 | 1.03 | 6.599 | 1.00 | 6.599 |
| SST1-7 | 6.6 | 1.00 | 6.599 | 1.03 | 6.599 | 1.00 | 6.599 |
| SST2-0.44 | 0.44 | 1.00 | 0.438 | 1.02 | 0.441 | 1.01 | 0.446 |
| SST3-0.44 | 0.44 | 1.00 | 0.438 | 1.02 | 0.441 | 1.01 | 0.446 |
| T-4.7.2-0.69 | 0.46 | 0.98 | 0.449 | 1.02 | 0.454 | 1.00 | 0.46 |
| VENTENF1-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.553 | 1.02 | 6.586 | 1.01 | 6.657 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Tal como se observa en el Cuadro N° 4.1, los valores de tensión en las barras analizadas, para el **CASO 01** Situación Actual se encuentran dentro de los niveles de operación permisibles ($\pm 5\%V_n$ Valor Nominal). Asimismo, en la **BARRA DE 6.6 KV (HN4-6.6)**, se registra un voltaje en máxima demanda (6.553 kV), media demanda (6.586kV) y en mínima demanda (6.657 kV).

A excepción de la Barra de 138 kV (HN4-138) de la S.E. Condorcocha, es preciso mencionar que el COES autorizó la operación con esos niveles de tensión.

Figura 31.
Perfiles de Tensión en Barras-Situación Actual (Caso 01)



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

La Figura N° 31 muestra de manera gráfica los perfiles de tensión en barras del sistema eléctrico en situación actual (Caso 01). Tomando como referencia el sistema por unidad (p.u), que se define como la razón de su valor real a un valor denominado base. En el cual el color azul hace referencia a la máxima demanda, el rojo a la media demanda y el verde corresponde a la mínima demanda.

4.1.2. SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES-SITUACIÓN ACTUAL

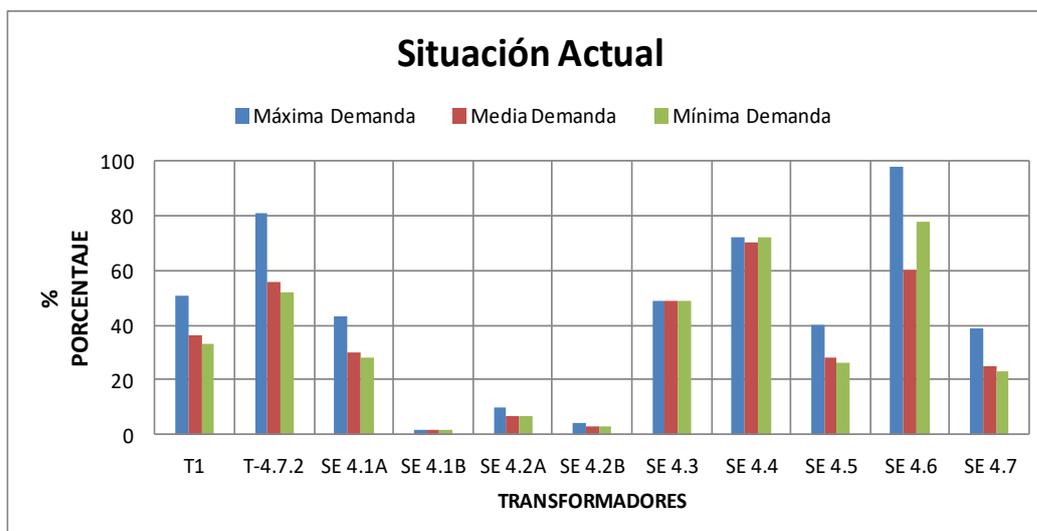
En la tabla N° 9 se muestran los resultados de los niveles de sobrecarga de los transformadores de potencia.

Tabla 9.
Sobrecarga de los Transformadores

| TRANSFORMADOR Código ETAP | 2016 - SITUACIÓN ACTUAL | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | Estiaje | | | | | |
| | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | Nivel de Carga % | Posición Tap | Nivel de Carga % | Posición Tap | Nivel de Carga % | Posición Tap |
| T1 | 51 | -14 | 36 | 2 | 33 | -1 |
| T-4.7.2 | 81 | 0 | 56 | 0 | 52 | 0 |
| SE 4.1A | 43 | 0 | 30 | 0 | 28 | 0 |
| SE 4.1B | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| SE 4.2A | 10 | 0 | 7 | 0 | 7 | 0 |
| SE 4.2B | 4 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| SE 4.3 | 49 | 0 | 49 | 0 | 49 | 0 |
| SE 4.4 | 72 | 0 | 70 | 0 | 72 | 0 |
| SE 4.5 | 40 | 0 | 28 | 0 | 26 | 0 |
| SE 4.6 | 98 | 0 | 60 | 0 | 78 | 0 |
| SE 4.7 | 39 | 0 | 25 | 0 | 23 | 0 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 32.
Sobrecarga de los Transformadores Situación Actual



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Tal como se muestra en la tabla N° 9 y en la figura N° 32, los niveles de sobrecarga de los transformadores de potencia para el **CASO 01** Situación Actual se encuentran por debajo de su valor nominal. El transformador principal de 20 MVA (T1) presenta una sobrecarga del 51% a máxima demanda; con la posición del TAP en -14.

4.1.3. RESULTADOS DE PERFIL DE TENSIÓN EN BARRAS - CASO 02

En la tabla N° 10 se muestran los resultados del perfil de tensión en barra. Para lo cual se considera el arranque de los motores correspondientes a la Chancadora TITÁN y Ventilador ENFRIADOR con arranque directo.

Tabla 10.
Tensiones en Barras – (Caso 02)

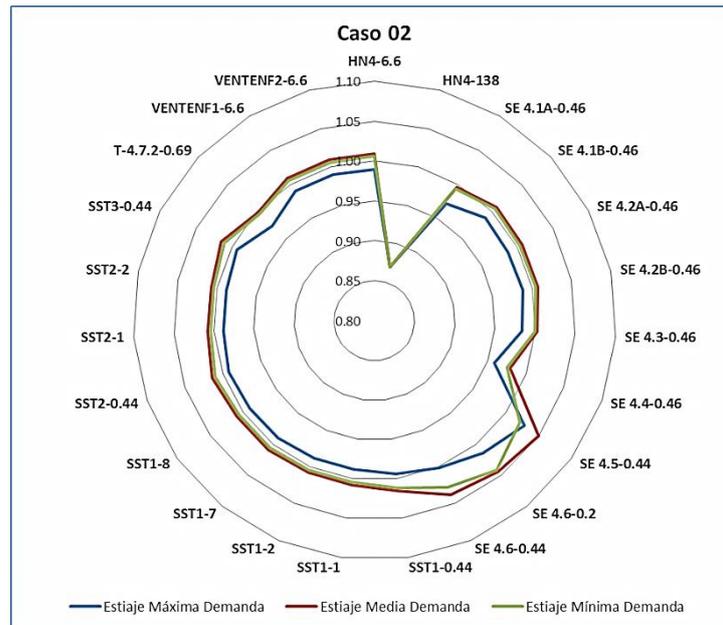
| BARRA Código ETAP | V Nom kV | 2016 - CASO 02 | | | | | |
|----------------------|-------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | Estiaje | | | | | |
| | | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV |
| HN4-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.534 | 1.01 | 6.659 | 1.01 | 6.64 |
| HN4-138 | 138 | 0.87 | 120.06 | 0.87 | 120.06 | 0.87 | 120.06 |
| SE 4.1A-0.46 | 0.46 | 0.97 | 0.447 | 1.00 | 0.458 | 0.99 | 0.457 |
| SE 4.1B-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.455 | 1.01 | 0.464 | 1.01 | 0.462 |
| SE 4.2A-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.454 | 1.01 | 0.463 | 1.00 | 0.462 |
| SE 4.2B-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.455 | 1.01 | 0.464 | 1.01 | 0.462 |
| SE 4.3-0.46 | 0.46 | 0.98 | 0.453 | 1.00 | 0.461 | 1.00 | 0.46 |
| SE 4.4-0.46 | 0.46 | 0.96 | 0.441 | 0.98 | 0.45 | 0.97 | 0.448 |
| SE 4.5-0.44 | 0.44 | 1.03 | 0.452 | 1.05 | 0.462 | 1.02 | 0.449 |
| SE 4.6-0.2 | 0.44 | 1.01 | 0.446 | 1.04 | 0.459 | 1.04 | 0.458 |
| SE 4.6-0.44 | 0.44 | 1.00 | 0.44 | 1.04 | 0.457 | 1.03 | 0.452 |
| SST1-0.44 | 0.44 | 0.99 | 0.437 | 1.02 | 0.447 | 1.01 | 0.445 |
| SST1-1 | 6.6 | 0.99 | 6.524 | 1.01 | 6.65 | 1.00 | 6.63 |
| SST1-2 | 6.6 | 0.99 | 6.524 | 1.01 | 6.649 | 1.00 | 6.63 |
| SST1-7 | 6.6 | 0.99 | 6.533 | 1.01 | 6.659 | 1.01 | 6.639 |
| SST1-8 | 0.44 | 0.99 | 6.533 | 1.01 | 6.659 | 1.01 | 6.639 |
| SST2-0.44 | 0.44 | 0.99 | 0.437 | 1.01 | 0.446 | 1.01 | 0.445 |
| SST2-1 | 0.46 | 0.99 | 6.524 | 1.01 | 6.65 | 1.00 | 6.63 |
| SST2-2 | 6.6 | 0.99 | 6.524 | 1.01 | 6.649 | 1.00 | 6.63 |
| SST3-0.44 | 6.6 | 0.99 | 0.437 | 1.01 | 0.446 | 1.01 | 0.445 |
| T-4.7.2-0.69 | 6.6 | 0.97 | 0.448 | 1.00 | 0.459 | 1.00 | 0.458 |
| VENTENF1-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.534 | 1.01 | 6.659 | 1.01 | 6.64 |
| VENTENF2-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.534 | 1.01 | 6.659 | 1.01 | 6.64 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

- Tal como se observa en la tabla N° 10, los valores de tensión en las barras analizadas, para el CASO 02 se encuentran dentro de los niveles de operación permisibles ($\pm 5\%V_n$ Valor Nominal). Asimismo, en la BARRA DE 6.6 KV (HN4-6.6), se registra un voltaje en máxima demanda (6.534 kV), media demanda (6.659 kV) y en mínima demanda (6.640 kV).

- Los niveles de tensión no tienen una variación significativa, esto debido a que el banco de capacitores es automático y aporta reactivos para mantener el nivel de tensión de la barra de 6.6 kV en 1.0 p.u.

Figura 33.
Perfiles de Tensión en Barras – (Caso 02)



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

En la Figura N° 33, se muestra de manera grafica los perfiles de tensión en barras del sistema eléctrico para el Caso 02, usando el sistema por unidad (p.u). En el cual el color azul hace referencia a la máxima demanda, el rojo a la media demanda y el verde corresponde a la mínima demanda.

4.1.4. RESULTADOS DE SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA - CASO 02

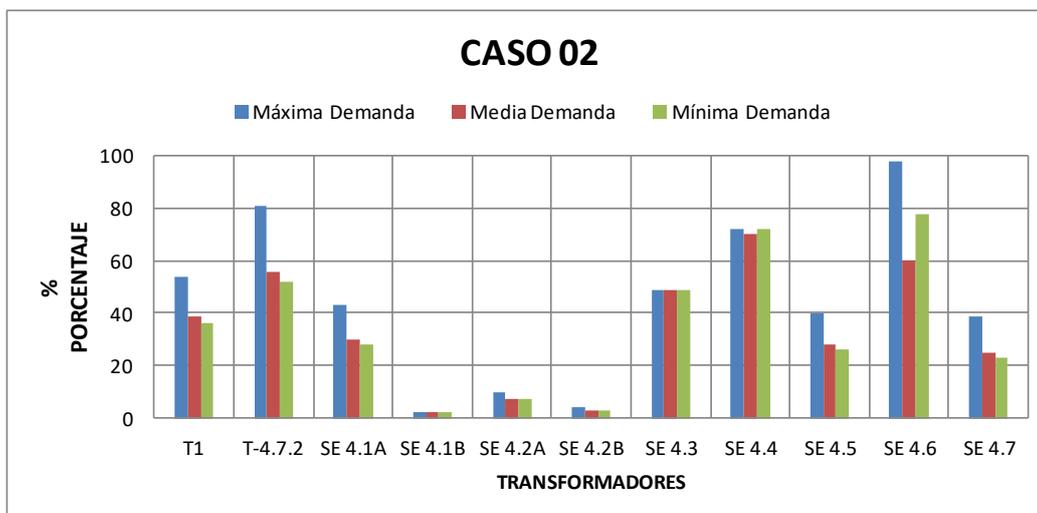
En la tabla N° 11 se muestran los resultados de los niveles de sobrecarga de los transformadores de potencia.

Tabla 11.
Sobrecarga de los Transformadores-Caso 02.

| TRANSFORMADOR Código ETAP | 2016 - CASO 02 | | | | | |
|------------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | Estiaje | | | | | |
| | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | Nivel de Carga % | Posición Tap | Nivel de Carga % | Posición Tap | Nivel de Carga % | Posición Tap |
| T1 | 54 | -14 | 39 | 2 | 36 | -1 |
| T-4.7.2 | 81 | 0 | 56 | 0 | 52 | 0 |
| SE 4.1A | 43 | 0 | 30 | 0 | 28 | 0 |
| SE 4.1B | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| SE 4.2A | 10 | 0 | 7 | 0 | 7 | 0 |
| SE 4.2B | 4 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| SE 4.3 | 49 | 0 | 49 | 0 | 49 | 0 |
| SE 4.4 | 72 | 0 | 70 | 0 | 72 | 0 |
| SE 4.5 | 40 | 0 | 28 | 0 | 26 | 0 |
| SE 4.6 | 98 | 0 | 60 | 0 | 78 | 0 |
| SE 4.7 | 39 | 0 | 25 | 0 | 23 | 0 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 34.
Sobrecarga de los Transformadores-Caso 02.



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Tal como se muestra en la tabla N° 11 y en la Figura N° 34, los niveles de sobrecarga de los transformadores de potencia para el **CASO 02** se encuentran por debajo de su valor nominal. El transformador principal de 20/25 ONAN/ONAF MVA (T1) presenta una sobrecarga del 54% a máxima demanda. Con la posición del TAP en -14.

4.1.5. RESULTADOS DE PERFIL DE TENSION EN BARRAS – (CASO 03)

En el Cuadro N° 4.5 se muestran los resultados del perfil de tensión en barra. Para lo cual se considera el arranque de los Motores TITAN y Ventilador ENFRIADOR con arranque **CONTROLADO POR UN VARIADOR DE FRECUENCIA**, esto permite mitigar las altas corrientes que se producen.

Tabla 12.
Tensiones en Barras – (Caso 03)

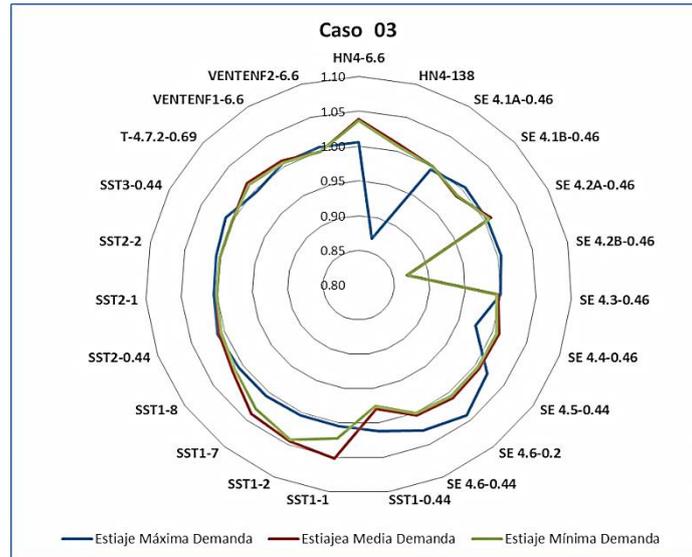
| BARRA Código ETAP | V Nom kV | 2016 - CASO 03 | | | | | |
|----------------------|-------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | Estiaje | | | | | |
| | | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV |
| HN4-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.540 | 1.01 | 6.665 | 1.01 | 6.646 |
| HN4-138 | 138 | 0.87 | 120.06 | 0.87 | 120.06 | 0.87 | 120.06 |
| SE 4.1A-0.46 | 0.46 | 0.99 | 0.457 | 1.00 | 0.46 | 1.00 | 0.46 |
| SE 4.1B-0.46 | 0.46 | 1.01 | 0.462 | 0.99 | 0.455 | 0.99 | 0.455 |
| SE 4.2A-0.46 | 0.46 | 1.00 | 0.462 | 1.01 | 6.665 | 1.01 | 6.646 |
| SE 4.2B-0.46 | 0.46 | 1.01 | 0.462 | 0.87 | 120.06 | 0.87 | 120.06 |
| SE 4.3-0.46 | 0.46 | 1.00 | 0.46 | 1.00 | 0.459 | 0.99 | 0.458 |
| SE 4.4-0.46 | 0.46 | 0.97 | 0.448 | 1.01 | 0.464 | 1.01 | 0.463 |
| SE 4.5-0.44 | 0.44 | 1.02 | 0.449 | 1.01 | 0.464 | 1.00 | 0.462 |
| SE 4.6-0.2 | 0.44 | 1.04 | 0.458 | 1.01 | 0.464 | 1.01 | 0.463 |
| SE 4.6-0.44 | 0.44 | 1.03 | 0.452 | 1.00 | 0.462 | 1.00 | 0.46 |
| SST1-0.44 | 0.44 | 1.01 | 0.445 | 0.98 | 0.451 | 0.98 | 0.449 |
| SST1-1 | 6.6 | 1.00 | 6.63 | 1.05 | 0.462 | 1.02 | 0.45 |
| SST1-2 | 6.6 | 1.00 | 6.63 | 1.04 | 0.46 | 1.04 | 0.458 |
| SST1-7 | 6.6 | 1.01 | 6.639 | 1.04 | 0.457 | 1.03 | 0.453 |
| SST1-8 | 0.44 | 1.01 | 6.639 | 1.02 | 0.447 | 1.01 | 0.446 |
| SST2-0.44 | 0.44 | 1.01 | 0.445 | 1.01 | 6.656 | 1.01 | 6.636 |
| SST2-1 | 0.46 | 1.00 | 6.63 | 1.00 | 6.599 | 1.00 | 6.599 |
| SST2-2 | 6.6 | 1.00 | 6.63 | 1.00 | 6.599 | 1.00 | 6.599 |
| SST3-0.44 | 6.6 | 1.01 | 0.445 | 1.00 | 6.599 | 1.00 | 6.599 |
| T-4.7.2-0.69 | 6.6 | 1.00 | 0.458 | 1.02 | 0.447 | 1.01 | 0.445 |
| VENTENF1-6.6 | 6.6 | 1.01 | 6.64 | 1.01 | 6.656 | 1.01 | 6.636 |
| VENTENF2-6.6 | 6.6 | 1.01 | 6.64 | 1.00 | 6.599 | 1.00 | 6.599 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

- De la tabla N° 12, se observa que los valores de tensión en las barras analizadas, para el CASO 03 se encuentran dentro de los niveles de operación permisibles ($\pm 5\%V_n$ Valor Nominal). Asimismo, en la BARRA DE 6.6 kV (HN4-6.6), se registra un voltaje en máxima demanda (6.540 kV), media demanda (6.665 kV) y en mínima demanda (6.646 kV).

- Los niveles de tensión se incrementan levemente por la regulación del variador de frecuencia, también se puede observar una mejora en el factor de potencia en la barra de conexión de los motores TITÁN y VENTILADOR ENFRIADOR.

Figura 35.
Perfiles de Tensión en Barras-Caso 03



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

En la Figura N° 35, se muestra de manera gráfica los perfiles de tensión en barras del sistema eléctrico para el Caso 03, usando el sistema por unidad (p.u) que se define como la razón de su valor real a un valor denominado base. En el cual el color azul hace referencia a la máxima demanda, el rojo a la media demanda y el verde corresponde a la mínima demanda

4.1.6. RESULTADOS DE SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA – (CASO 03)

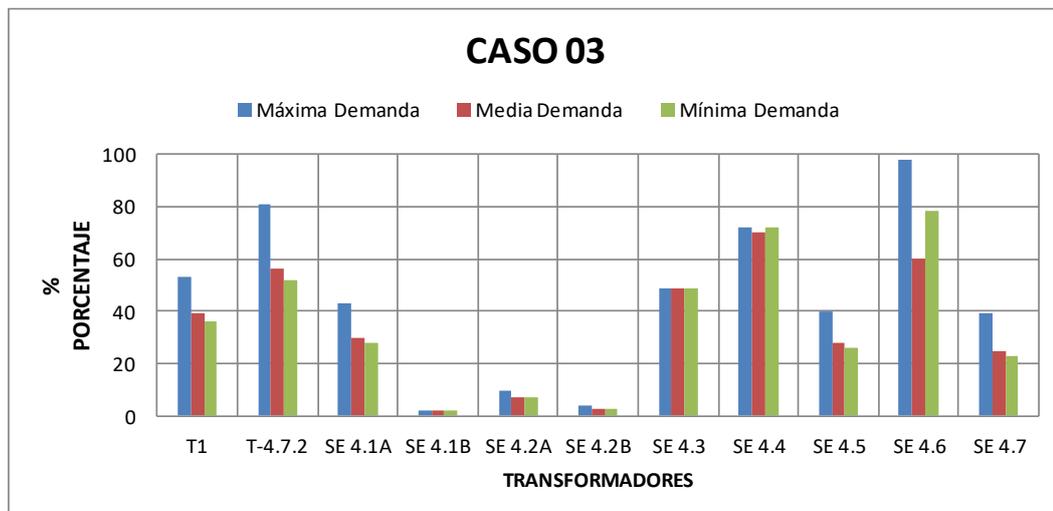
En la tabla N° 13 se muestran los resultados de los niveles de sobrecarga de los transformadores de potencia.

Tabla 13.
Sobrecarga de los Transformadores-Caso 03.

| TRANSFORMADOR Código ETAP | 2016 - CASO 03 | | | | | |
|------------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| | Estiaje | | | | | |
| | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | Nivel de Carga % | Posición Tap | Nivel de Carga % | Posición Tap | Nivel de Carga % | Posición Tap |
| T1 | 53 | -14 | 39 | 2 | 36 | -1 |
| T-4.7.2 | 81 | 0 | 56 | 0 | 52 | 0 |
| SE 4.1A | 43 | 0 | 30 | 0 | 28 | 0 |
| SE 4.1B | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| SE 4.2A | 10 | 0 | 7 | 0 | 7 | 0 |
| SE 4.2B | 4 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| SE 4.3 | 49 | 0 | 49 | 0 | 49 | 0 |
| SE 4.4 | 72 | 0 | 70 | 0 | 72 | 0 |
| SE 4.5 | 40 | 0 | 28 | 0 | 26 | 0 |
| SE 4.6 | 98 | 0 | 60 | 0 | 78 | 0 |
| SE 4.7 | 39 | 0 | 25 | 0 | 23 | 0 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 36.
Sobrecarga de los Transformadores-Caso 03.



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Tal como se muestra en el cuadro N° 13 y en la Figura N° 26, los niveles de sobrecarga de los transformadores de potencia para el CASO 03 se encuentran por debajo de su valor nominal. El transformador principal de 20 MVA (T1) presenta una sobrecarga del 53% a máxima demanda.

4.1.7. COMPARACIÓN DE CARGABILIDAD TRANSFORMADOR 20 MVA T1

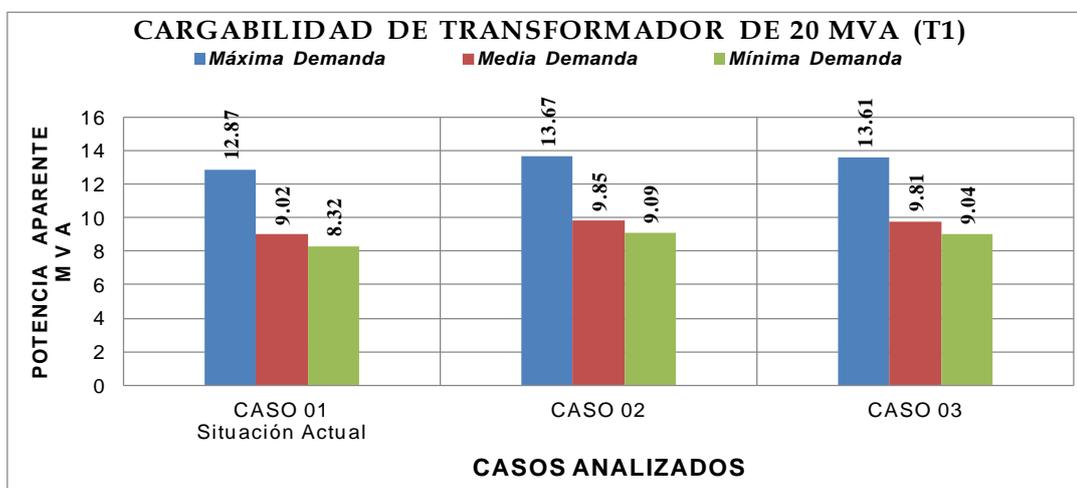
A continuación se muestran los cuadros comparativos

Tabla 14.
Comparación de Cargabilidad del Transformador de 20 MVA (T1)

| CASOS | CARGABILIDAD DE TRANSFORMADOR DE 20 MVA (T1) | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--------------|-------|--------|-------|------------------|--------------|------|--------|-------|------------------|--------------|------|--------|-------|
| | ESTIAJE | | | | | | | | | | | | | | |
| | Máxima Demanda | | | | | Media Demanda | | | | | Mínima Demanda | | | | |
| | Nivel de Carga % | Posición Tap | P MW | Q MVAR | S MVA | Nivel de Carga % | Posición Tap | P kW | Q kVAR | S MVA | Nivel de Carga % | Posición Tap | P kW | Q kVAR | S MVA |
| CASO 01 Situación Actual | 51 | -14 | 12.27 | 3.90 | 12.87 | 36 | 2 | 8.66 | 2.53 | 9.02 | 33 | -1 | 8.06 | 2.08 | 8.32 |
| CASO 02 | 54 | -14 | 12.89 | 4.53 | 13.67 | 39 | 2 | 9.35 | 3.11 | 9.85 | 36 | -1 | 8.69 | 2.67 | 9.09 |
| CASO 03 | 53 | -14 | 12.91 | 4.32 | 13.61 | 39 | 2 | 9.37 | 2.90 | 9.81 | 36 | -1 | 8.70 | 2.46 | 9.04 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 37.
Comparación de Cargabilidad del Transformador de 20 MVA (T1)



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

De la tabla N° 14 y en la Figura N° 37, se aprecia que la máxima cargabilidad del transformador T1 se presenta para el CASO 02 en máxima demanda con 13.67 MVA de potencia. Del mismo modo, para el análisis de la situación actual en mínima demanda se presenta una cargabilidad del 33% (8.32 MVA).

La cargabilidad del transformador se representa porcentualmente (%), siendo el cien por ciento el valor nominal de potencia (20/25 MVA). Es así que para el Caso 03 en máxima demanda se presenta una cargabilidad del 53% (13.61 MVA).

4.2. ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO

Las corrientes que fluyen en diferentes partes del sistema de potencia en una falla (cortocircuito), difieren considerablemente de las corrientes que pueden fluir bajo condiciones de operación normal. Los cálculos de cortocircuito consistirán en determinar estas corrientes para diferentes tipos de falla en puntos del sistema.

Los valores de cortocircuito se calcularon empleando el programa computacional ETAP. El presente análisis considera la evaluación de las corrientes de cortocircuito trifásica, monofásica y bifásica a tierra (corrientes de falla máxima y mínima) en los escenarios de Situación Actual y de Situación Proyectada considerándose para todos estos casos las máximas demandas con una impedancia de falla igual a cero o falla franca; lo cual asegura el caso más severo de falla trifásica.

4.2.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO.

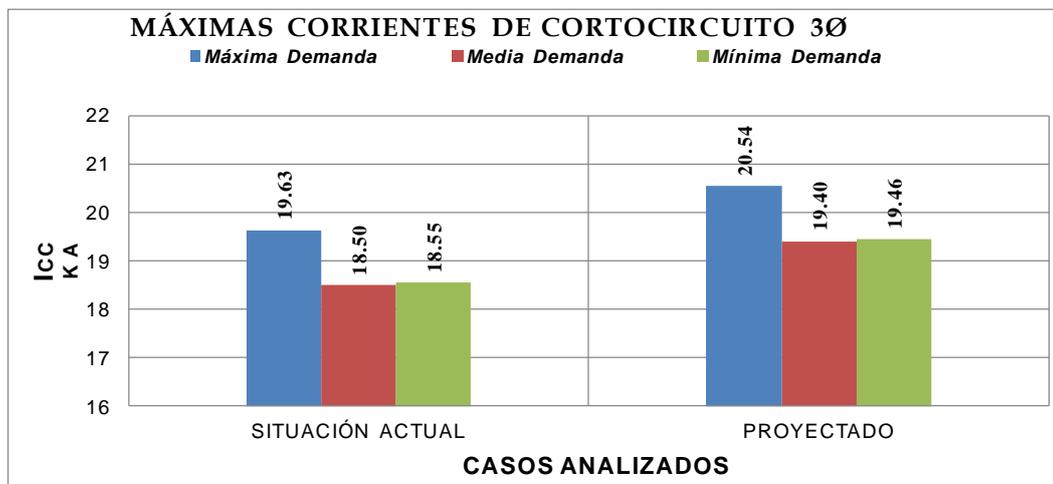
Los resultados de este análisis se presentan en el Anexo 03 que consiste en reportes y diagramas unifilares que muestran los resultados del Análisis de Cortocircuito. De la evaluación de corto circuito del sistema eléctrico se muestran en la tabla N° 15 que resume los resultados.

Tabla 15.
Resultado de las Máximas Corrientes de Cortocircuito Trifásicas-Barra 6.6 Kv

| MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Código ETAP | ESTIAJE | | | | | |
| | SITUACIÓN ACTUAL | | | PROYECTADO | | |
| | 3Ø | 3Ø | 3Ø | 3Ø | 3Ø | 3Ø |
| | MaxDem (kA) | MedDem (kA) | MinDem (kA) | MaxDem (kA) | MedDem (kA) | MinDem (kA) |
| HN4-6.6 | 19.63 | 18.50 | 18.55 | 20.54 | 19.40 | 19.46 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 38.
Comparación de Máximas Corrientes de Cortocircuito



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Las corrientes homopolares no se presentan en la barra de 6.6 kV debido a que el transformador en el lado de media tensión es delta.

El grupo de conexión del transformador T1 de potencia 20 MVA es Ynd5 por lo que, en el primario podrá circular corriente de secuencia cero pues tiene su retorno por tierra, y estas corrientes inducirán en el secundario voltajes de secuencia cero que producen corrientes que se quedarán circulando dentro de la conexión delta del secundario por estar en fase por lo que no saldrán a las conexiones del lado secundario.

Un sistema aislado es aquel en el que no existe conexión intencional entre los conductores y tierra. Sin embargo en todos los sistemas existe una conexión capacitiva entre los conductores del sistema y las superficies adyacentes que se encuentran a tierra.

4.3. PRUEBAS DE HIPÓTESIS GENERAL

De los análisis obtenidos de simulación mediante software del escenario sistema Unión Andina de Cementos S.A.A. y en esta las subestaciones involucradas “S.E. de llegada principal Condorcocha” y “Subestación de distribución para el Horno IV”, donde se realiza el análisis de la barra en 138 kV y 6.6 kV ante un incremento de carga las cuales son; 01 Chancadora 4 Titán Krupp Miag y 01 Ventilador Enfriador.

Asimismo, además de considerar cargas similares proyectadas, evaluaremos las hipótesis planteadas descritas en el Capítulo I de la presente tesis y definiremos si estos se mantienen o podrían variar en su posición ante los análisis.

Estas dos cargas diseñadas de una potencia considerable, al momento de ingresar y ponerse en funcionamiento varían el sistema y sus parámetros (voltaje en las barras, cargabilidad de los transformadores entre otros), de las cuales se deberá poner atención de manera que estas no alteren el funcionamiento de los equipos conectados al sistema.

A continuación, describiremos la hipótesis general del ítem 1.5.1. de esta Tesis y analizaremos el comportamiento del sistema en los casos de situación actual e incremento de carga.

HIPOTESIS GENERAL:

- El incremento de motores, sí influye significativamente en el análisis del flujo de potencia para garantizar la continuidad del suministro eléctrico del sistema eléctrico Horno N° 4, planta Condorcocha en el año 2016.

De la tabla N° 16 Tensiones en Barras-Situación Actual.

Se observa que, ante una operación de estado estacionario del sistema con los equipos existentes en funcionamiento sin el ingreso de la chancadora y el ventilador, considerando la demanda establecida en estiaje, se tiene que las tensiones en barras no salen del rango de variación que establece la norma (+/-5% de Vn Voltaje Nominal). Con excepción en la barra de 138kV.

Tabla 16.
Tensiones en Barra-Situación Actual.

| BARRA Código ETAP | V Nom kV | 2016 - SITUACIÓN ACTUAL | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | Estiaje | | | | | |
| | | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV |
| HN4-6.6 | 6.6 | 0.99 | 6.553 | 1.03 | 6.586 | 1.01 | 6.657 |
| HN4-138 | 138 | 0.87 | 120.06 | 0.96 | 120.06 | 0.87 | 120.06 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

De la tabla N° 17. Tensiones en Barras-Ingreso de los motores Chancadora TITÁN y VENTILADOR con arranque directo y con arranque controlado por un variador de frecuencia.

Se puede observar algunos cambios con relación al estado inicial de situación actual principalmente en las barra de 6.6 kV (HN4-6.6) donde se conectarán los motores de la chancadora y del ventilador enfriador para la máxima demanda disminuyendo de 6.553 kV a 6.534 kV (CASO 2) y aumentando a 6.540 kV con un arranque controlado por un variador de frecuencia (CASO 3); mejorando los perfiles de tensión en el sistema de distribución del Horno IV.

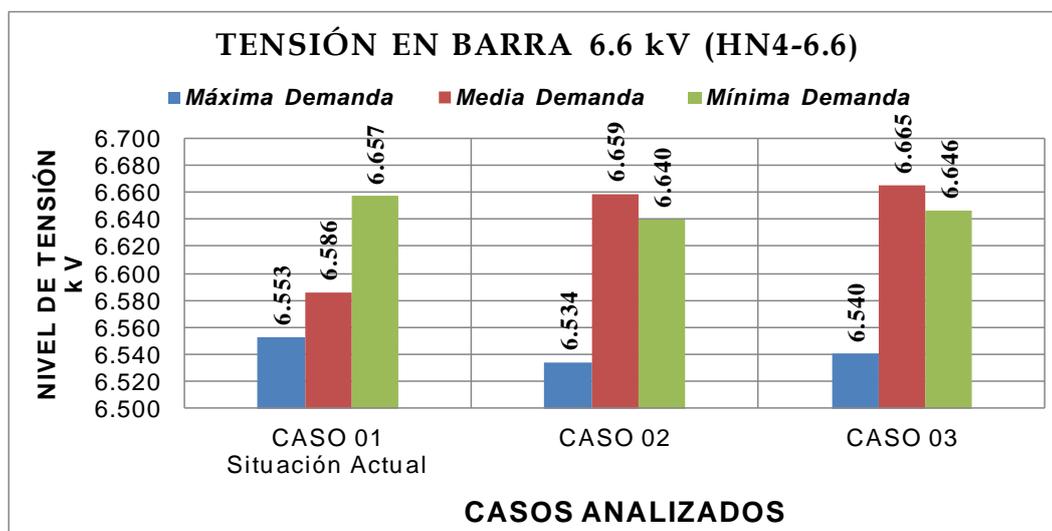
Cabe indicar que los niveles de tensión no transgreden los límites establecidos por la norma peruana ($\pm 5\%$ Vn Voltaje Nominal), esto sucede dado que el banco de capacitores es del tipo automático e inyecta potencia reactiva (2000 kVAR) a la barra en 6.6 kV.

Tabla 17.
Comparación de Perfil de Tensión en Barra 6.6 kV (HN4-6.6)

| CASOS | PERFIL DE TENSIÓN BARRA EN 6.6 kV (HN4-6.6) | | | | | |
|-----------------------------|---|-------------|---------------|-------------|----------------|-------------|
| | Estiaje | | | | | |
| | Máxima Demanda | | Media Demanda | | Mínima Demanda | |
| | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV | Magnitud p.u. | Magnitud kV |
| CASO 01 Situación Actual | 0.99 | 6.553 | 1.00 | 6.586 | 1.01 | 6.657 |
| CASO 02 | 0.99 | 6.534 | 1.01 | 6.659 | 1.01 | 6.640 |
| CASO 03 | 0.99 | 6.540 | 1.01 | 6.665 | 1.01 | 6.646 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 39.
Comparación de Perfil de Tensión en Barra 6.6 kV (HN4-6.6)



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Asimismo se aprecia que la implementación de variadores de frecuencia para los arranques de los motores permite disminuir la corriente de arranque y mantener los perfiles de tensión dentro del rango recomendado.

VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS:

Los resultados muestran que los niveles de tensión y el factor de potencia en la “Subestación de distribución para el Horno IV” se ven afectados por el ingreso de los motores principalmente en las barras donde se conectan, situación que es controlada con el banco de capacitores de 4000 kVAR ubicado en la barra de 6.6 kV de la subestación, utilizando solo 02 pasos (2000 kVAR) regulando de esta forma los niveles de tensión y el factor de potencia. Por lo mencionado el análisis de flujo de potencia nos permite analizar un sistema eléctrico y hacer uso de todo el equipamiento existente para mantener los valores de tensión, factor de potencia y sobrecarga dentro de los límites permitidos por las normas peruanas.

4.4. PRUEBAS DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Los resultados de los análisis mediante simulaciones del sistema en mención, determinarán qué tipo de acciones se deberá tomar por parte de los interesados, con la finalidad de mantener estable el sistema eléctrico con confiabilidad, además deberán tener en cuenta cuáles son los principios de análisis que se han establecido para proponer mejoras y/o soluciones a diversas contingencias.

Ante ello se realizará una evaluación de las hipótesis específicas descritas en el Capítulo I del presente informe, que atienden también los criterios mencionados, en el párrafo anterior.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA:

1. En cuanto al análisis de corrientes de cortocircuito utilizando el Software ETAP que criterios adecuados deberá tomarse en cuenta.

De la Hipótesis 1. Para la evaluación del comportamiento de un sistema bajo condiciones de operación en estado estacionario, es conveniente realizar escenarios y casos donde se evaluará el comportamiento ante diversas variaciones del sistema eléctrico. Además del método de recopilación de información utilizada para la proyección de demanda, los criterios más resaltantes se puede describir como:

- Identificar la fecha de recopilación de datos históricos.
- Determinar el perfil de carga del sistema (máxima, mínima y media demanda).
- Identificar los escenarios y casos de estudio.
- Identificar qué tipo de máquinas eléctricas aportan corrientes de cortocircuito.

De las evaluaciones en las diferentes condiciones de casos, el interesado deberá determinar la situación más conveniente a su sistema y su implementación en futuro.

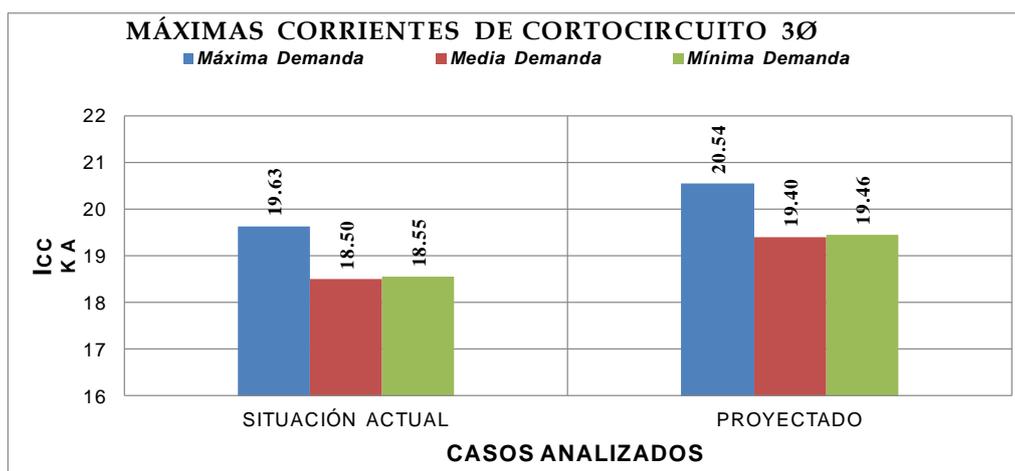
De la tabla N° 18. Máximas corrientes de cortocircuito trifásicas-barra 6.6 kV, se observa que con el ingreso de la carga proyectada en el sistema de distribución del Horno IV las corrientes de cortocircuito se incrementan de forma significativa en 0.91 kA, siendo un valor elevado si tiene que tomar las acciones del caso para no causar perjuicio a la operación del sistema eléctrico de la planta Condorcocha.

Tabla 18.
Máximas Corrientes de Cortocircuito Trifásicas-Barra 6.6 kV

| MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Código ETAP | ESTIAJE | | | | | |
| | SITUACIÓN ACTUAL | | | PROYECTADO | | |
| | 3Ø | 3Ø | 3Ø | 3Ø | 3Ø | 3Ø |
| | MáxDem (kA) | MedDem (kA) | MínDem (kA) | MáxDem (kA) | MedDem (kA) | MínDem (kA) |
| HN4-6.6 | 19.63 | 18.50 | 18.55 | 20.54 | 19.40 | 19.46 |

FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

Figura 40.
Comparación de Máximas Corrientes de Cortocircuito



FUENTE: Datos de flujo de potencia del Software ETAP

4.5. DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados de los análisis para evaluar las consecuencias que sucede ante el ingreso de los motores por la ampliación de la chancadora y del ventilador enfriador fueron obtenidos por medio de procesos de simulación de software cuyos principios de cálculo están basados en métodos matemáticos establecidos en el software ETAP utilizando la norma IEC 60909 titulada “Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos AC”,

El incremento de la corriente de cortocircuito en 0.91 kA significa una evaluación de los equipos de protección, evaluación de la capacidad de ruptura del equipamiento y de una reevaluación de la red de tierra profunda de la subestación del Horno IV, ya que la corriente de cortocircuito influye directamente en los temas antes mencionados.

CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos del análisis del flujo de potencia del sistema de distribución Horno IV en estado estacionario, se concluye que la ampliación de la Chancadora N° 4 y del Ventilador Enfriador con motores de 500 HP no perjudica al Sistema Eléctrico Condorcocha. Asimismo, los niveles de tensión, y sobrecarga de los transformadores para todos los casos se encuentran dentro de los límites permitidos por norma ($\pm 5\% V_n$); por lo que no es necesario la compensación reactiva local en los motores de las cargas proyectadas.
2. El banco de capacitores ubicado en la barra de 6.6 kV se encuentra trabajando hasta el paso 2 (2000 kVAR), permitiendo el ingreso de futuras cargas en la subestación, el banco de capacitores operará con un 50 % de su capacidad total considerando la ampliación de la Chancadora y del ventilador Enfriador.
3. Los valores de corrientes de cortocircuito trifásico, se incrementan en 0.91 kA cuando se realiza la implementación de la Chancadora N° 4 y en el Ventilador; de 19.63 kA en situación actual a 20.54 kA luego de la inserción de cargas proyectadas

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una evaluación a los ajustes del relé de protección de sobre corriente ubicado en la salida de los alimentadores de la Chancadora N° 4 y del Ventilador Enfriador, debido al incremento de corrientes de cortocircuito en función a los resultados obtenidos de las simulaciones.
2. Se recomienda realizar una evaluación de resonancia en el sistema eléctrico Horno IV, el ingreso de los motores modifica la topología de red y puede causar este fenómeno; de igual forma realizar un análisis de transitorios electromagnéticos para evaluar los picos de corriente y tensión que generan estos fenómenos, principalmente por el controlador automático del banco de capacitores.
3. Se recomienda realizar una evaluación de la saturación de los transformadores de corriente debido al incremento de las corrientes de cortocircuito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atanasi, J. I. (2005). Contribución al estudio de las ondas de campo armónico y las pérdidas adicionales que se originan en los motores eléctricos de inducción asíncronos alimentados con convertidor de frecuencia en modulación del ancho de los impulsos (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, España. Recuperado a partir de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8215>
- BNamericas. (2016). Unión Andina de Cementos S.A.A. (UNACEM). Recuperado 3 de febrero de 2017, a partir de <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/union-andina-de-cementos-saa-unacem>
- Caballero Romero, A. (2014). Metodología integral innovadora para planes y tesis: La metodología del cómo formularlos.
- COES SINAC. (2013). Procedimiento Técnico del Comité de Operación Económica del SEIN Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN (PR-20). Recuperado a partir de <http://contenido.coes.org.pe/alfrescocoeh/download.do?nodeId=7f38124b-567e-4856-a709-294fef1a744c>.
- COES SINAC. (2016a). Estudios de Pre Operatividad. Recuperado 7 de febrero de 2017, a partir de <http://www.coes.org.pe/Portal/Planificacion/NuevosProyectos/EstudiosPO>
- COES SINAC. (2016b). Unifilar del SEIN. Recuperado 6 de enero de 2017, a partir de <http://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/DiagramaUnifilar>
- Eco, U. (2001). Cómo se hace una tesis: Técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura. Barcelona: Gedisa.
- ETAP. (s. f.). Manual Software ETAP 12.6.
- Fernández, N., & Figueredo, W. (2007). Ubicación óptima de bancos de capacitores en redes de distribución para ELEVAL (Trabajo Especial de Grado). Universidad de Carabobo, España, Valencia. Recuperado a partir de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/43>
- Fraile, M. J. (2008). Máquinas eléctricas (Quinta Edición). McGraw-Hill Interamericana España.
- Glover, J. D., & Sarma, M. S. (2003). Sistemas de potencia: Análisis y Diseño (Tercera Edición). Thomson.
- Gómez Expósito, Antonio. (2002). Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica (Primera Edición). España: McGraw-Hill.
- Grainger, J. J., & Stevenson Jr, W. D. (1996). Análisis de sistemas de potencia. México: McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación. México: McGraw Hill.
- Hughes, A. (2006). Electric motors and drives: fundamentals, types, and applications (3rd Ed). Amsterdam ; Boston: Elsevier/Newnes.
- I.E.S. Andrés de Valdevira. (2011). Motores de Corriente Alterna. Recuperado 7 de febrero de 2017, a partir de http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf

- Jacho, T. J. Á. (2012). Diseño e implementación de una demostración práctica en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas utilizando el Variador de Frecuencia como fuente de ahorro de energía. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/229>
- Juracan, V. (2014). Tipos de Motores Trifásicos. Recuperado a partir de <http://proyectoelectricidadindustria.blogspot.com/2014/06/tipos-de-motores-trifasicos.html>
- Kothari, D.P., & Nagrath, I.J. (2008). Sistemas Eléctricos de Potencia (Tercera Edición). México: McGraw-Hill Interamericana.
- LLumiquinga, L. F. S. (2012). Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfoof S.A. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Recuperado a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1888>
- López, A. V. (2014). Distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño de motores eléctricos trifásicos en el laboratorio de automatización industrial de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (Tesis para obtención de Título). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8215>
- Mazzeo, L., & Bertolotti, F. (2010). Variación de velocidad en corriente alterna (Facultad de Ingeniería Trabajo de graduación para el título). Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Monografias.com, B. C. (2016). Motor asíncrono. Recuperado 3 de febrero de 2017, a partir de <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-asincrono/motor-asincrono.shtml>
- Ola, G. J. L. (2015). Cómo reducir la factura de energía eléctrica corrigiendo el Factor de Potencia. Recuperado a partir de http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin01/URL_01_MEC02.pdf
- Remotelab. (2016). Teoría Básica de Máquinas Asíncronas con Jaula de Ardilla. Recuperado 3 de febrero de 2017, a partir de <https://sites.google.com/site/teoriaarranquesmotores/>
- Revistel. (2014). Nuevo convertidor de frecuencia Eaton. Recuperado 7 de febrero de 2017, a partir de <http://revistel.pe/nuevo-convertidor-de-frecuencia-de-eaton/>
- Santana, N. G. A. (2011). Estudio para la corrección del Factor de Potencia en BT del Sistema Eléctrico de la planta FORD (Informe de Pasantía). Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Recuperado a partir de <http://159.90.80.55/tesis/000151750.pdf>
- Schneider Electric. (2000). Capítulo 02 Compensación de Energía Reactiva. Recuperado 5 de enero de 2017, a partir de http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo02_1907.pdf
- TECPA, F. de C. A. (2016). Variadores de frecuencia. Recuperado 7 de febrero de 2017, a partir de <http://www.tecpa.es/los-variadores-de-frecuencia/>
- Villacís Salazar, V., & Cárate Gutiérrez, Á. O. (2011). Diseño y Construcción de un Módulo con Variador de Frecuencia para el Control de Velocidad de Motores Asíncronos Jaula de Ardilla Trifásicos para el Laboratorio de Control Industrial (Tesis para obtención de Título). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado a partir de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1149>
- Weg.net. (2010). MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO: Rotor bobinado con sistema motorizado de levantamiento de escobillas. Recuperado 3 de febrero de 2017, a partir de

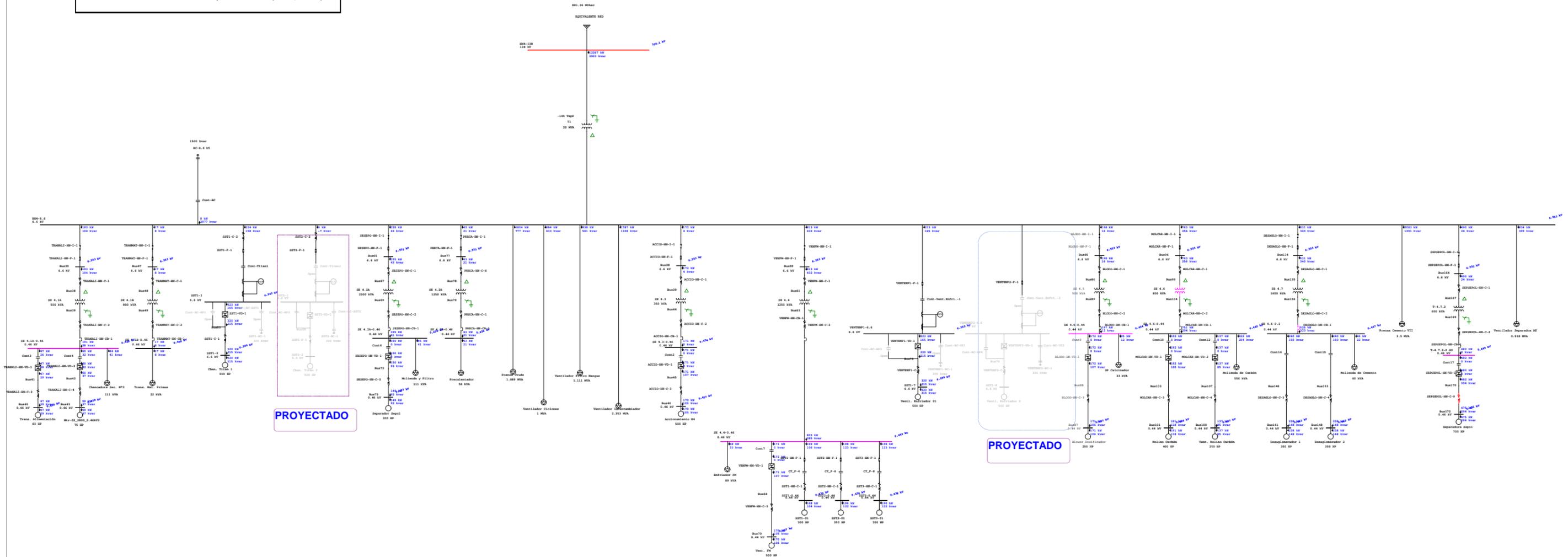
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-sistema-motorizado-de-levantamiento-de-las-escobillas-640-catalogo-espanol.pdf>

Wikipedia. (2016). Jaula de ardilla. En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado a partir de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Jaula_de_ardilla&oldid=94517161

ANEXOS

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; > 105%)

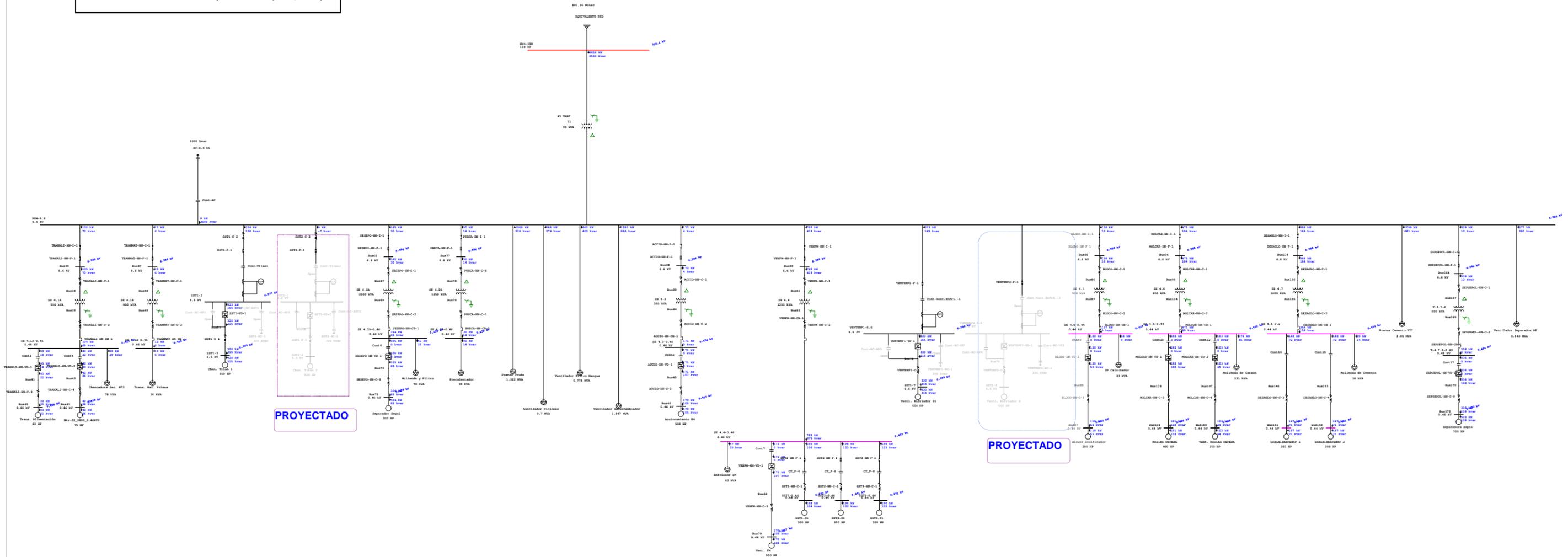


| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| Tesis: | ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA | |
| Universidad Continental | | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV |
| | | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÁXIMA - SITUACIÓN ACTUAL |
| | | Anexo: 02 |
| | | Fecha: 23/10/2016 |

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; >105%)

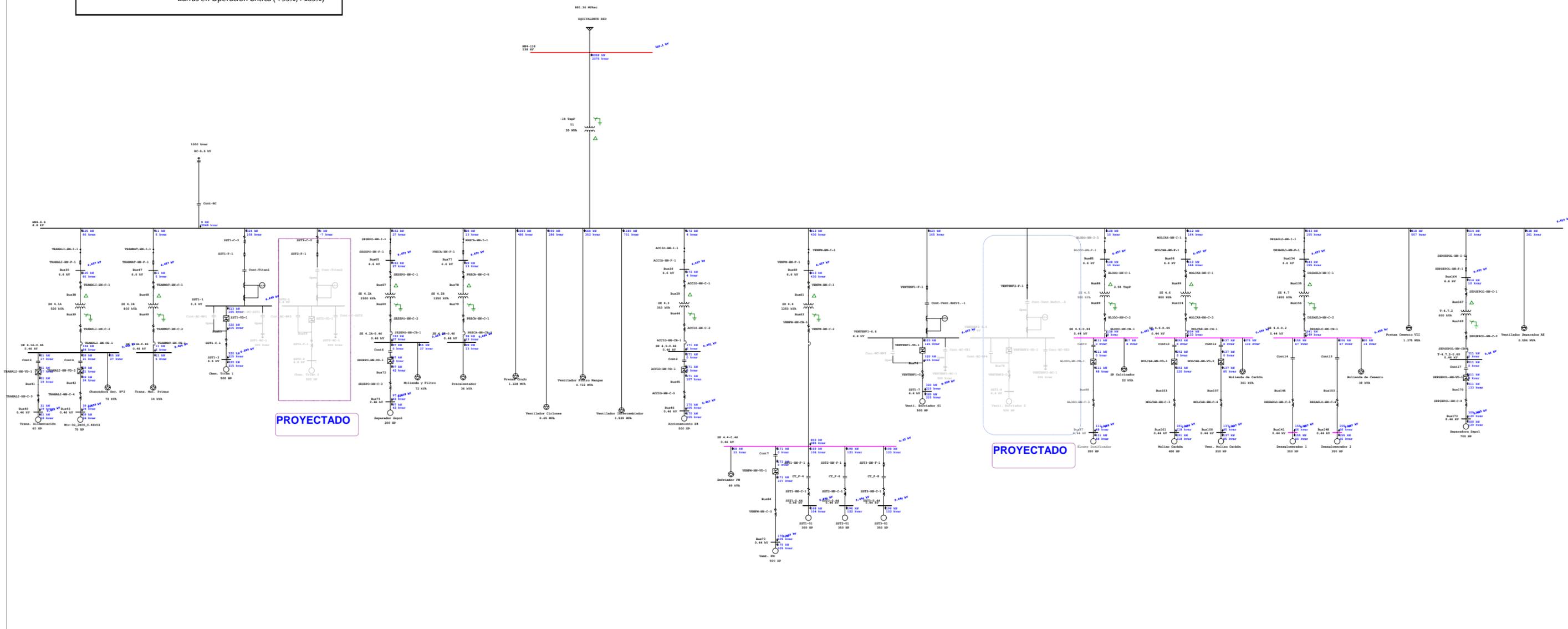


| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

| | | | |
|------------------------------------|---|--|-------------------|
| Tesis: | ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA | | |
| Universidad Continental | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV | | |
| | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MEDIA - SITUACIÓN ACTUAL | | |
| | | | Anexo: 02 |
| | | | Fecha: 23/10/2016 |

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; >105%)



| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

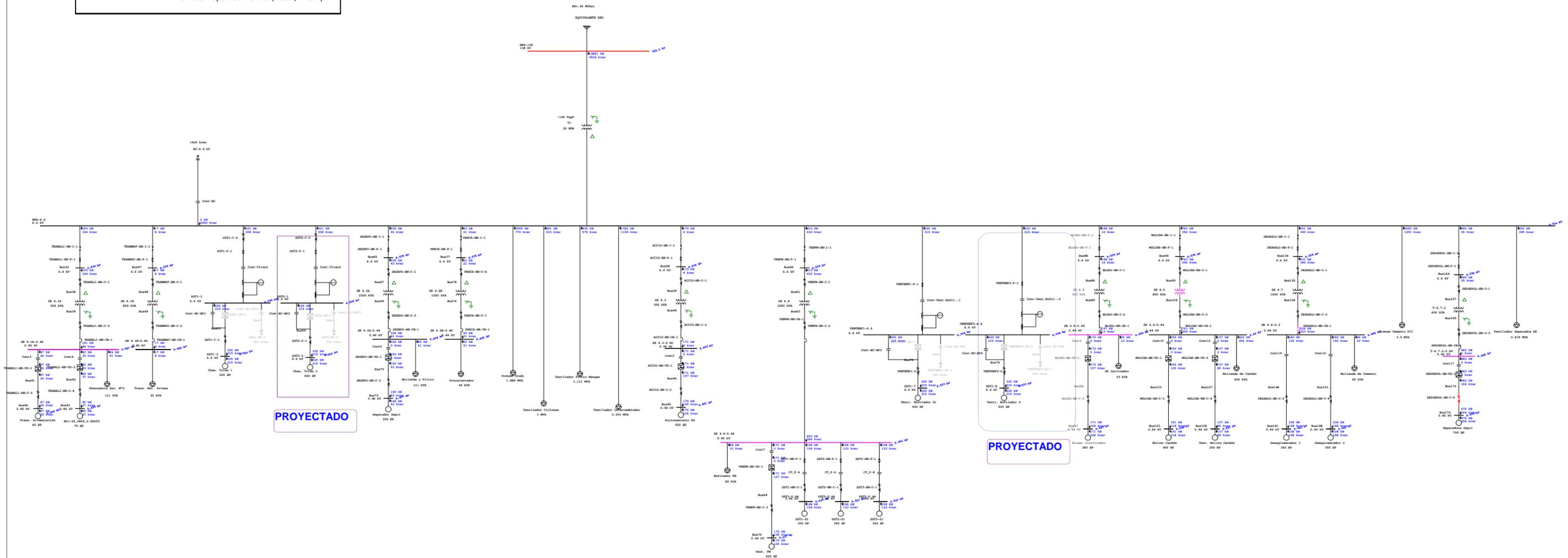
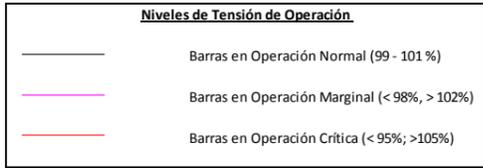
ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÍNIMA - SITUACIÓN ACTUAL

Universidad
Continental

etap 12.6
Thinking Power

| | |
|---------------|------------|
| Anexo: | 02 |
| Fecha: | 23/10/2016 |

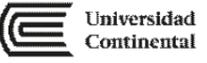


| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

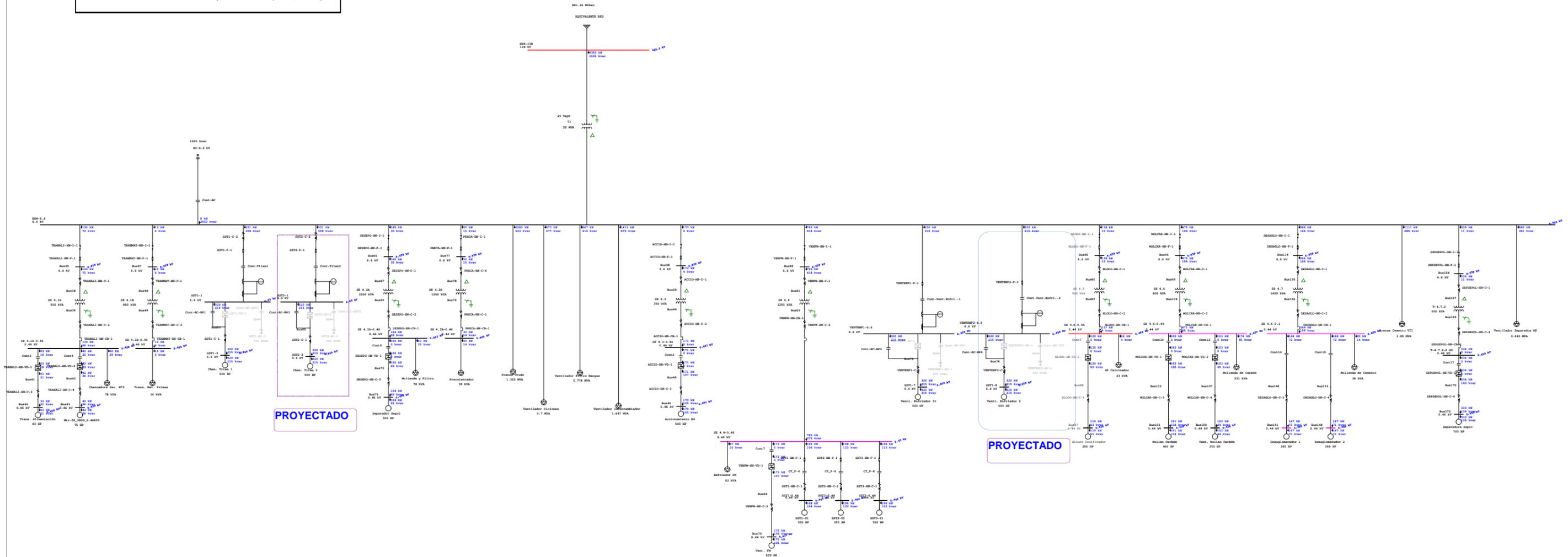
AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÁXIMA - CON PROYECTO-SIN BC, SIN VARIADOR

| | | |
|--|--|--------------------------------|
|  Universidad Continental | | Anexo: 02 Fecha: 23/10/2016 |
|--|--|--------------------------------|

etap 12.6 Thinking Power

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; > 105%)



| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MEDIA - CON PROYECTO-SIN BC, SIN VARIADOR

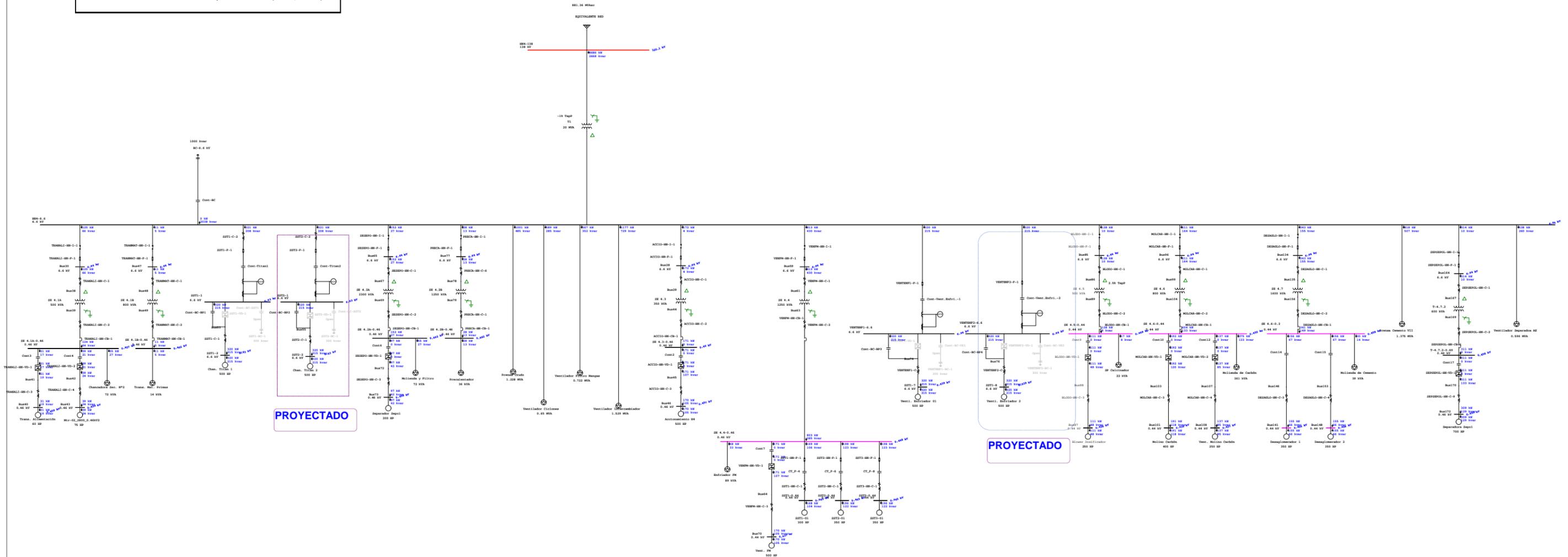
Universidad
Continental

Thinking Power

| | |
|--------|------------|
| Anexo: | 02 |
| Fecha: | 23/10/2016 |

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; > 105%)



| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

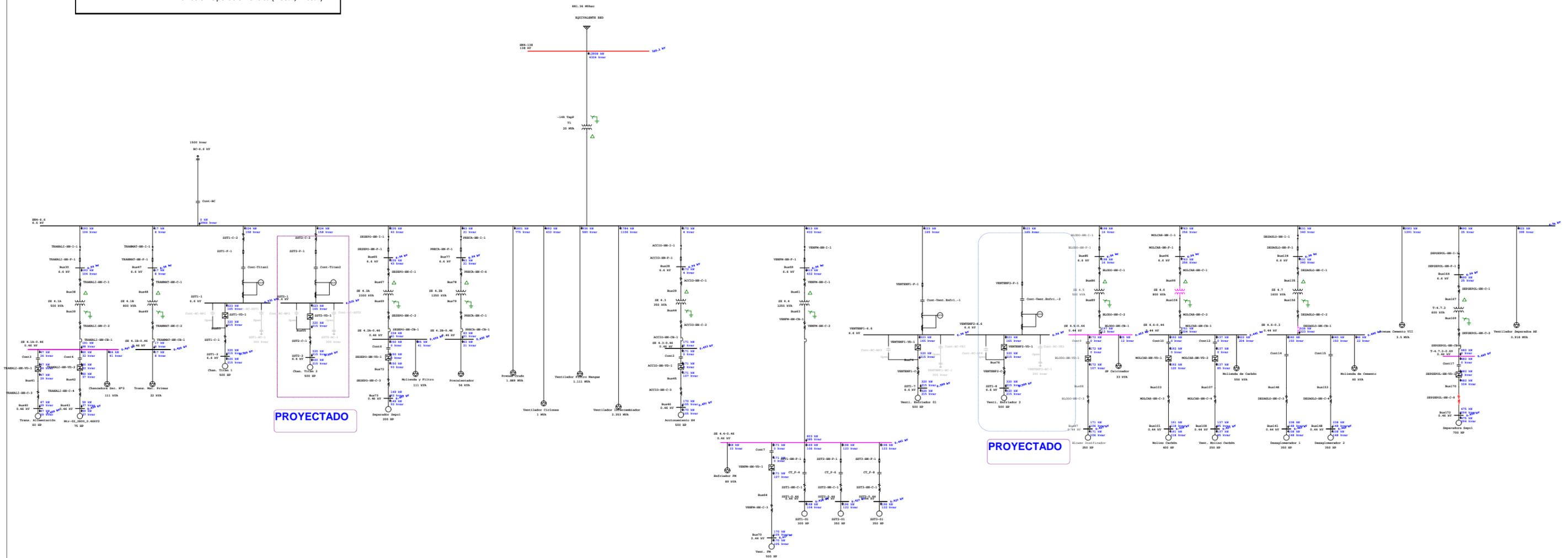
ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÍNIMA - CON PROYECTO-SIN BC, SIN VARIADOR

| | |
|--|-------------------|
| | Anexo: 02 |
| | Fecha: 23/10/2016 |

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; > 105%)



| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÁXIMA - CON PROYECTO-SIN BC, CON VARIADOR

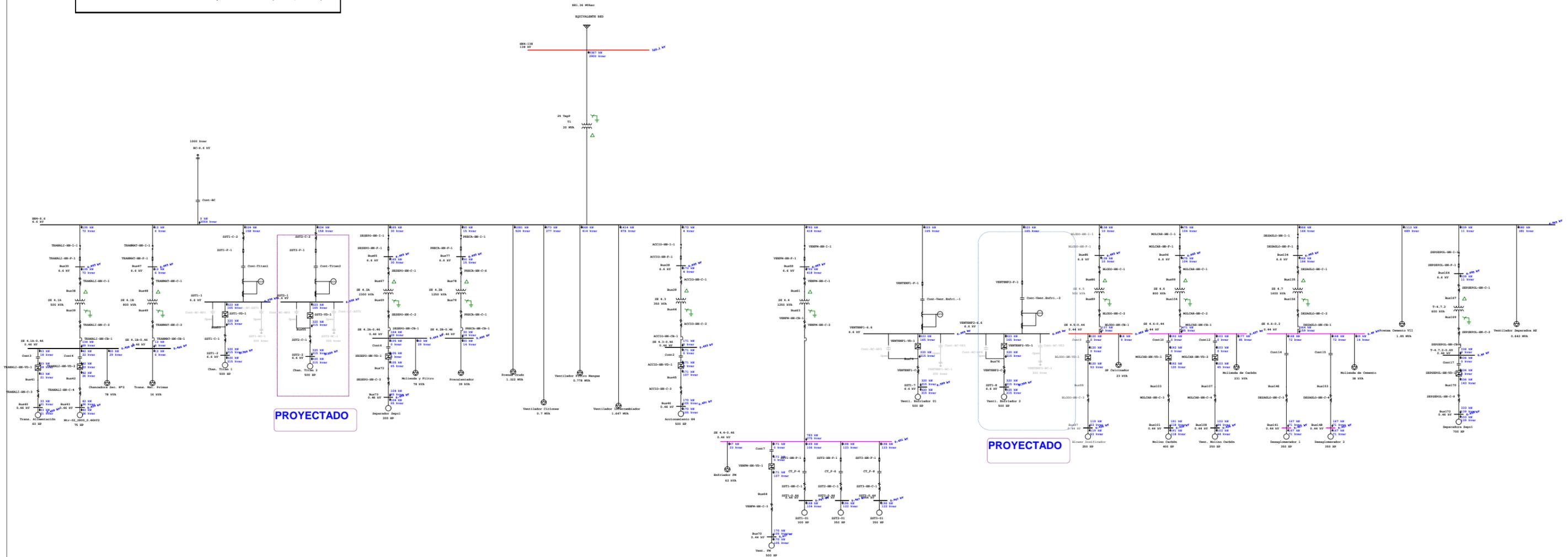
Universidad
Continental

etap 12.6
Thinking Power

| | |
|--------|------------|
| Anexo: | 02 |
| Fecha: | 23/10/2016 |

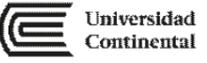
Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; > 105%)



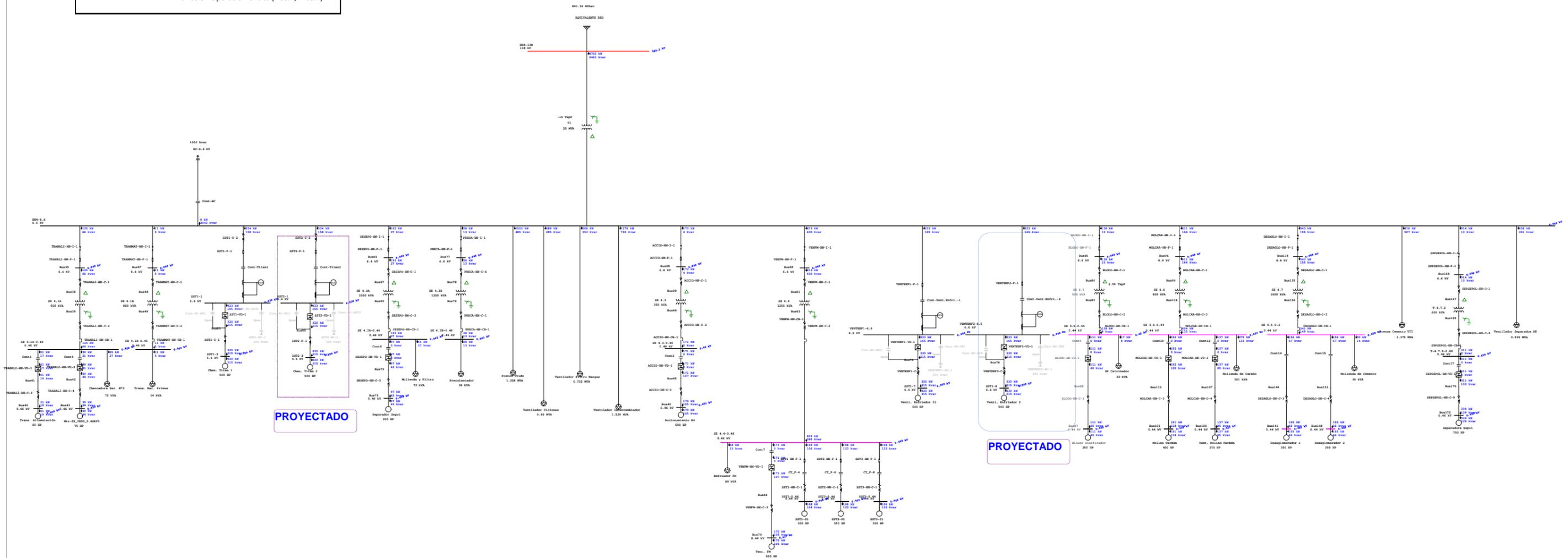
| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

| | |
|---|--|
|  | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV |
|  | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MEDIA - CON PROYECTO-SIN BC, CON VARIADOR |
| Anexo: 02 | |
| Fecha: 23/10/2016 | |

Niveles de Tensión de Operación

- Barras en Operación Normal (99 - 101%)
- Barras en Operación Marginal (< 98%, > 102%)
- Barras en Operación Crítica (< 95%; > 105%)



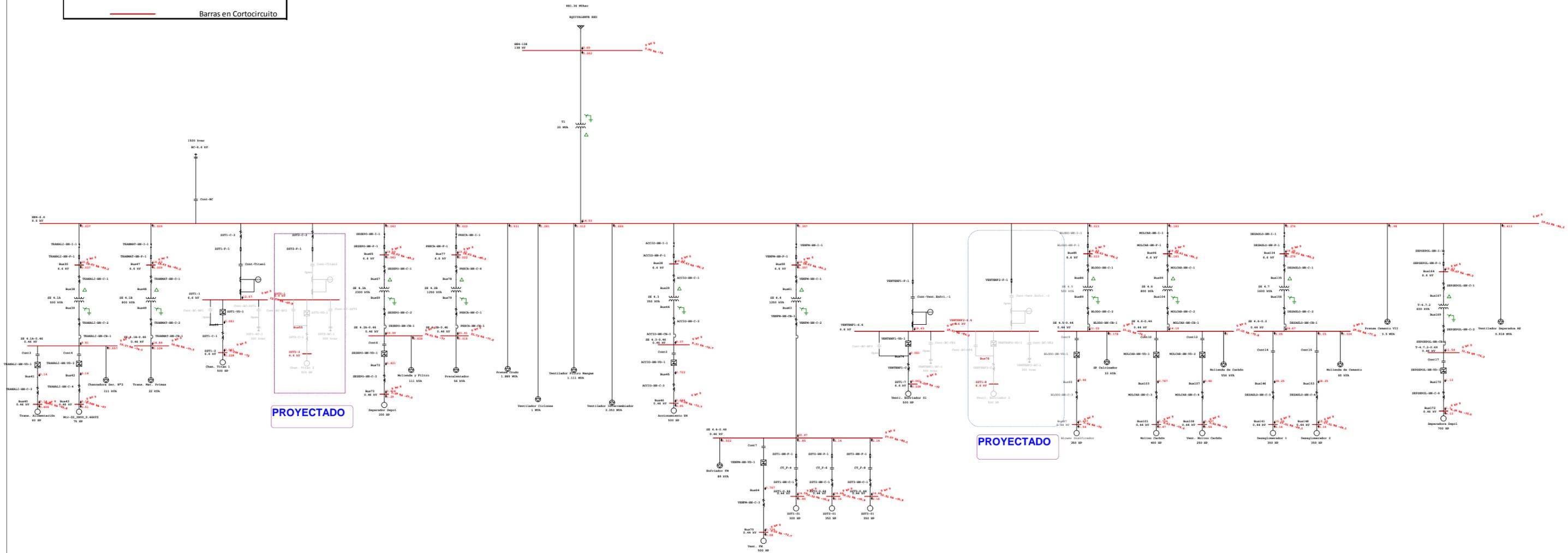
| FLUJO DE CARGA BALANCEADA | |
|------------------------------------|--------------------------|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión Línea-Línea, Magnitud (kV) | Potencia Activa (kW) |
| | Potencia Reactiva (kVar) |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MENDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÍNIMA - CON PROYECTO-SIN BC, CON VARIADOR

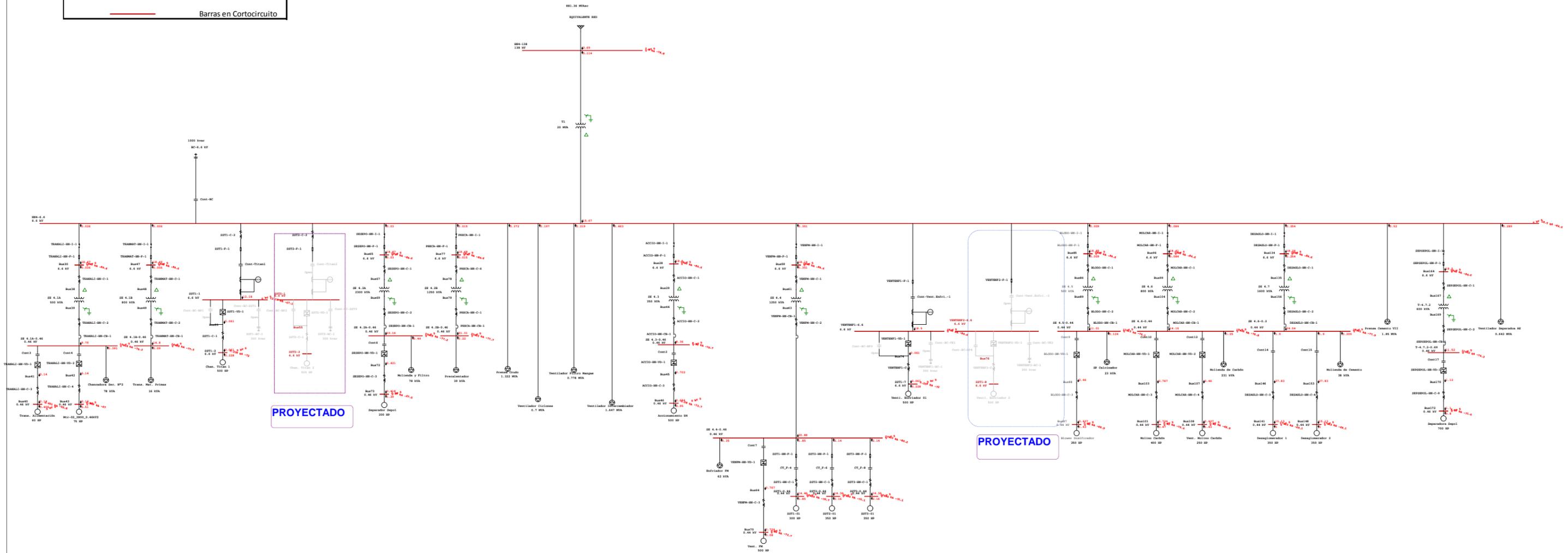
| | | |
|--|--|-------------------|
| | | Anexo: 02 |
| | | Fecha: 23/10/2016 |



| CORTOCIRCUITO MÁXIMO | |
|---|---|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión de Cortocircuito, Magnitud (kV) | Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) |
| Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) | |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

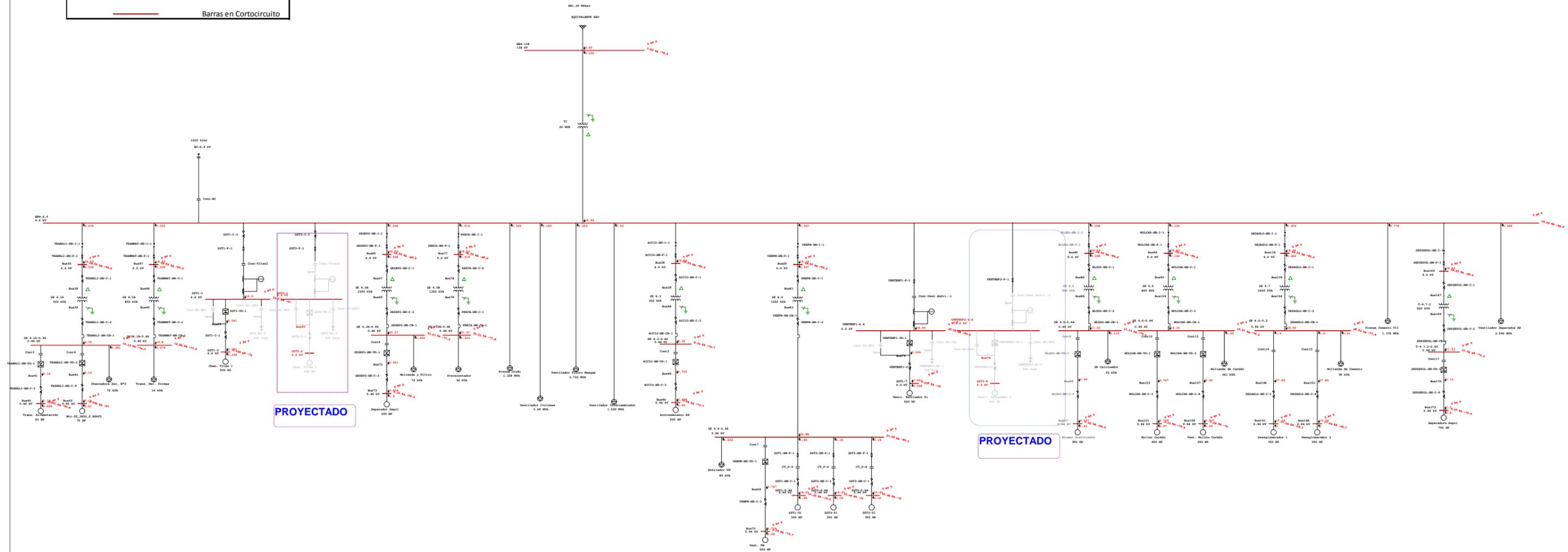
| | | |
|--|--|-------------------|
| | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV | |
| | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÁXIMA - SITUACIÓN ACTUAL | Anexo: 03 |
| | CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO | Fecha: 23/10/2016 |



| CORTOCIRCUITO MÁXIMO | |
|---|---|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión de Cortocircuito, Magnitud (kV) | Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) |
| Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) | |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

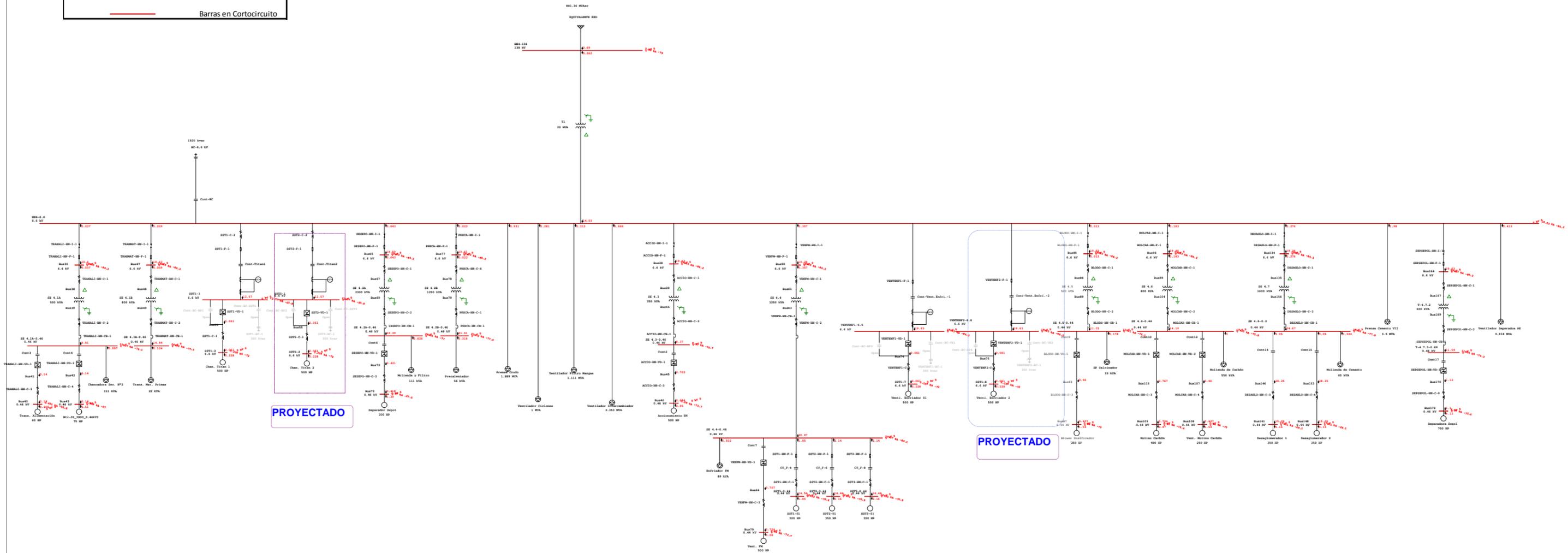
| | | |
|--|---|-------------------|
| | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV | |
| | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MEDIA - SITUACIÓN ACTUAL | Anexo: 03 |
| | CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO | Fecha: 23/10/2016 |



| CORTOCIRCUITO MÁXIMO | |
|---|---|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión de Cortocircuito, Magnitud (kV) | Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) |
| Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) | |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

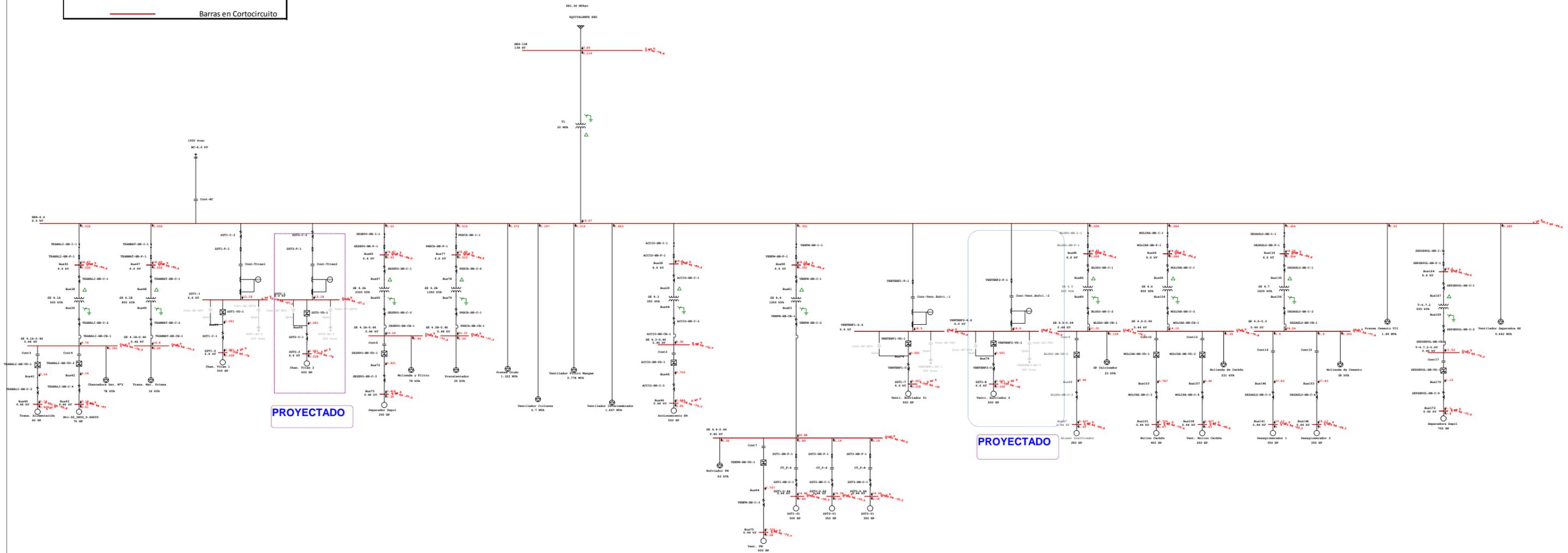
| | | |
|--|--|-------------------|
| | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV | |
| | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÍNIMA - SITUACIÓN ACTUAL | Anexo: 03 |
| | CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO | Fecha: 23/10/2016 |



| CORTOCIRCUITO MÁXIMO | |
|---|---|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión de Cortocircuito, Magnitud (kV) | Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) |
| Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) | |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

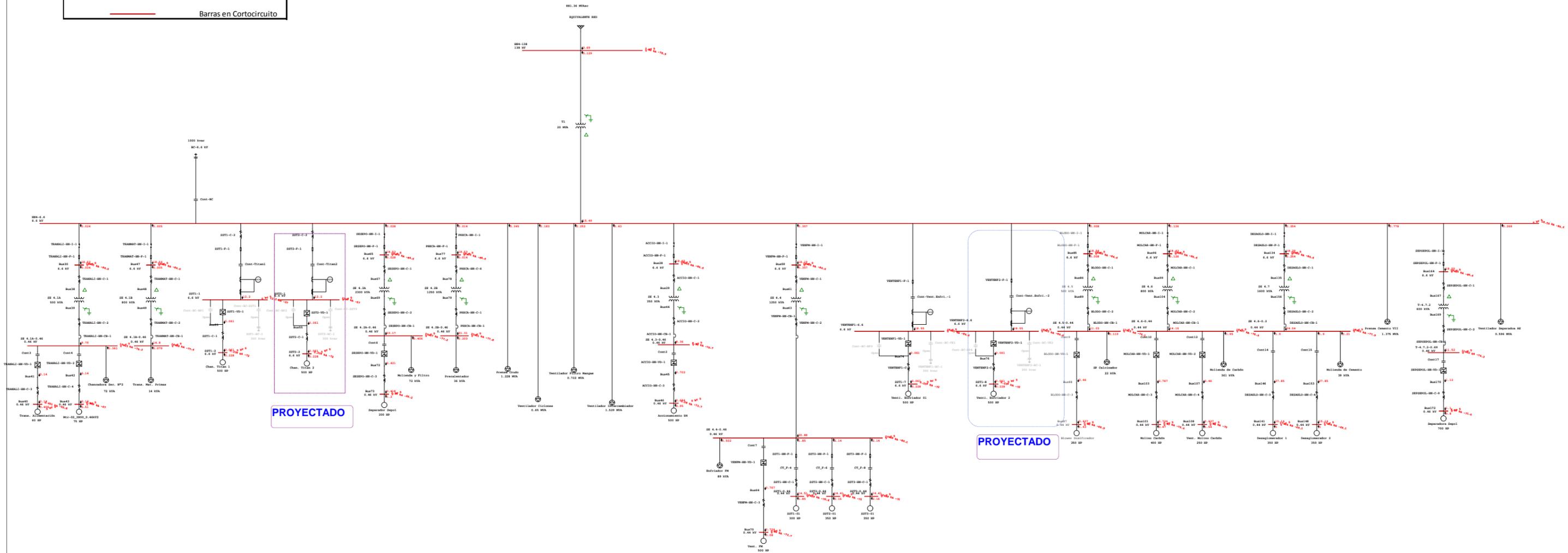
| | | |
|--|--|-------------------|
| | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV | |
| | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÁXIMA - PROYECTADO | Anexo: 03 |
| | CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO | Fecha: 23/10/2016 |



| CORTOCIRCUITO MÁXIMO | |
|---|---|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión de Cortocircuito, Magnitud (kV) | Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) |
| Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) | |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA

| | | |
|--|---|-------------------|
| | ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV | |
| | AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MEDIA - PROYECTADO | Anexo: 03 |
| | CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO | Fecha: 23/10/2016 |



| CORTOCIRCUITO MÁXIMO | |
|---|---|
| NODOS | RAMAS |
| Tensión de Cortocircuito, Magnitud (kV) | Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) |
| Corriente de Cortocircuito, Magnitud (kA) | |

Tesis: ANÁLISIS DEL FLUJO DE POTENCIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO HORNO N° 4 POR INCREMENTO DE MOTORES MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP, PARA GARANTIZAR LA CONTINUIDAD DE SUMINISTRO ELÉCTRICO-PLANTA CONDORCOCHA



ANÁLISIS SISTEMA ELÉCTRICO 6.6kV

AÑO 2016 - ESTIAJE DEMANDA MÍNIMA - PROYECTADO

CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

| | |
|--------|------------|
| Anexo: | 03 |
| Fecha: | 23/10/2016 |