



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Diseño e implementación de un sistema transmisor de
televisión digital terrestre ISDB-TB de 10 KW para
una empresa radiodifusora ubicada en Lima
Metropolitana**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Christian Karlo VASQUEZ ROMERO

ASESOR

Mg. Wilbert CHAVEZ IRAZABAL

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Vasquez, C. (2023). *Diseño e implementación de un sistema transmisor de televisión digital terrestre ISDB-TB de 10 KW para una empresa radiodifusora ubicada en Lima Metropolitana*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Christian Karlo Vasquez Romero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72902161
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Wilbert Chávez Irazábal
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08121733
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7978-7031
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Rubén Gino Martínez Varela
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09270432
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Rejis Renato Paredes Peñafiel
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06758404
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Carlos Alberto Chiri Huanca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09293427
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	No aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos Latitud: -12.056178775847592 Longitud: -77.0845517891809
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2022 - Noviembre 2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



UNMSM

Firmado digitalmente por ROMAN
CCORAHUA Edy Alberto FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.02.2023 17:52:01 -05:00



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 049/FIEE-EPIE/2023

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo La Presidencia del **MG. RUBEN GINO MARTINEZ VARELA**, integrado por el **MG. REJIS RENATO PAREDES PEÑAFIEL**, el **MG. CARLOS ALBERTO CHIRI HUANCA** y Miembro Asesor el **MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. CHRISTIAN KARLO VASQUEZ ROMERO** con código N° 11190118 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TRANSMISOR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE ISDB-Tb DE 10 kW PARA UNA EMPRESA RADIODIFUSORA UBICADA EN LIMA METROPOLITANA**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de **diecisiete (17)**.

Ciudad Universitaria, 25 de enero de 2023

MG. RUBEN GINO MARTINEZ VARELA

Presidente de Jurado

MG. REJIS RENATO PAREDES PEÑAFIEL

Miembro Jurado

MG. CARLOS ALBERTO CHIRI HUANCA

Miembro de Jurado

MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL

Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Informe de evaluación de originalidad.

1. Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica.
2. Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.
3. Emisor del Informe el director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Electrónica.
4. Operador del programa informático de similitudes: Rejis Renato Paredes Peñafiel.
5. Documento evaluado: Trabajo de Suficiencia Profesional para título de (pregrado) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TRANSMISOR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE ISDB-Tb DE 10 kW PARA UNA EMPRESA RADIODIFUSORA UBICADA EN LIMA METROPOLITANA
6. Autor de la tesis: CHRISTIAN KARLO VASQUEZ ROMERO
7. Fecha de aplicación de recepción del documento: 16-12-2022
8. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 16-12-2022
9. Software utilizado: Turnitin.
10. Configuración del programa detector de similitudes:
 - Excluye citas.
 - Excluye bibliografía.
 - Excluye cadenas menores de 40 palabras
11. Porcentaje de similitudes según programa detector: tres por ciento – 3%
12. Fuentes originales de las similitudes encontradas.

1. hdl.handle.net	2% Fuente de Internet
2. docplayer.es	<1% Fuente de Internet
3. ebin.pub	<1% Fuente de Internet
4. Submitted to Universidad Nacional Mayor de San Marcos	<1% Trabajo del Estudiante
5. issuu.com	<1% Fuente de Internet

1. Observaciones: Ninguna.

13. Calificación de originalidad.

- Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

14. Fecha del informe: 16 de diciembre de 2022.

Atentamente,

Mg. Paredes Peñafiel, Rejis Renato

DEDICATORIA

A mis padres Elmer y Maritza, quienes me brindaron todo su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme en todo momento y permitir que este trabajo de grado sea una realidad.

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo describir la realización del diseño e implementación de un sistema transmisor de televisión digital terrestre con el estándar *Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial, Brazilian version* (ISDB-Tb) y con una potencia de 10 kW en la banda UHF para una empresa radiodifusora ubicada en Lima Metropolitana. Dicho sistema fue instalado en la caseta del radiodifusor ubicada en el Morro Solar de Chorrillos, por lo que la cobertura del sistema está destinada a Lima Metropolitana. Asimismo, cabe señalar que este nuevo sistema aprovechó el sistema transmisor ya existente utilizándolo como respaldo.

Entre las mejoras obtenidas destacan el incremento de la potencia de transmisión prefiltro, pasando de 8.7 kW a 10 kW, la convergencia con las tecnologías actuales del radiodifusor debido a la modernización de las características del nuevo transmisor, y el incremento de la eficiencia del sistema, lo cual se traduce en un ahorro energético significativo.

El proyecto fue llevado a cabo bajo la modalidad llave en mano y abarcó desde la evaluación de las necesidades del radiodifusor hasta la puesta en marcha del sistema.

Al final del informe se exponen los beneficios del proyecto y se concluye describiendo los hitos alcanzados.

Palabras clave: Potencia irradiada, televisión digital terrestre, ISDB-Tb, cobertura y eficiencia.

ABSTRACT

The objective of this research is the design and implementation of a digital transmitter system with the ISDB-Tb standard and a power of 10 kW in the UHF band for a broadcasting company located in Metropolitan Lima. This system was installed in the broadcaster's station located in Morro Solar of Chorrillos, so its coverage is destined for Metropolitan Lima. Also, this newly designed and installed system took advantage of the existing transmitter system by using it as a backup.

The improvements obtained are the increase in transmission power stands out, going from 8.7 kW to 10 kW, the convergence with the current technologies of the broadcaster due to the characteristics of the new transmitter and the increase in the efficiency of the system, which translates into significant energy savings.

The project was carried out under the turnkey modality and ranged from the evaluation of the broadcaster's needs to the commissioning of the system.

At the end of the work, the benefits of the project are exposed and it concludes by describing the milestones reached.

Keywords: Radiated power, digital terrestrial television, ISDB-Tb, coverage and efficiency.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	3
2.1 Institución donde se desarrolló la actividad	3
2.2 Periodo de duración de la actividad.....	3
2.3 Finalidad y objetivos de la entidad.....	3
2.4 Razón social	4
2.5 Dirección postal	4
2.6 Correo electrónico del profesional a cargo	4
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	5
3.1 Organización de la actividad.....	5
3.2 Finalidad y objetivos de la actividad	5
3.2.1 Finalidad.....	6
3.2.2 Objetivos	6
3.3 Problemática.....	6
3.3.1 Problema general	7
3.3.2 Problemas específicos	8
3.3.3 Justificación e importancia de la investigación	8
3.4 Metodología.....	9
3.4.1 Bases teóricas.....	9
3.4.2 Marco conceptual	10
3.5 Procedimiento.....	14
3.5.1 Evaluación de necesidades	14

3.5.2	Diseño	20
3.5.3	Suministro	46
3.5.4	Implementación	47
3.5.5	Cierre.....	69
3.6	Resultado de la actividad.....	70
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES		71
4.1	Justificación	71
4.2	Metodología aplicada.....	71
4.2.1	Evaluación técnica.....	71
4.3	Descripción de la implementación	92
4.4	Conclusiones	92
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES.....		94
CAPÍTULO VII: ANEXOS.....		97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloques básico de un transmisor de televisión	13
Figura 2: Diagrama de bloques básico del sistema de transmisión existente del radiodifusor	19
Figura 3: Diagrama de bloques de un transmisor ULXTE-16 de Gatesair ...	23
Figura 4: Acoplador direccional.....	25
Figura 5: Filtro de máscara	27
Figura 6: Conmutador coaxial motorizado de 4 vías.....	28
Figura 7: Power Monitor.....	29
Figura 8: Diseño final del sistema de transmisión.....	31
Figura 9: Módulo de bombas	35
Figura 10: Panel del módulo de bombas	36
Figura 11: Filtro o strainer del sistema de refrigeración líquida.....	37
Figura 12: Bombas duales	38
Figura 13: Intercambiador de calor	40
Figura 14: Diseño final del sistema de refrigeración líquida.....	41
Figura 15: Transmisor UXTE-16 con equipos adicionales instalados	51
Figura 16: Bomba de carga	59
Figura 17: Transmisor ULXTE-16 con vista interior a los gabinetes de potencia	65
Figura 18: Interfaz del transmisor ULXTE-16: Pantalla principal	72
Figura 19: Interfaz del excitador del transmisor ULXTE-16: Pantalla principal	76
Figura 20: Interfaz del excitador del transmisor ULXTE-16: RTAC.....	77

Figura 21: Interfaz del excitador del transmisor ULXTE-16: Parámetros de modulación.....	78
Figura 22: Lecturas del panel de control del módulo de bombas.....	79
Figura 23: Lecturas de los manómetros de entrada y salida	80
Figura 24: Visor del nivel de líquido del sistema de refrigeración	81
Figura 25: Interfaz del transmisor ULXTE-16: Lecturas del PB 1 del sistema de refrigeración líquida	82
Figura 26: Interfaz del transmisor ULXTE-16: Lecturas del PB 2 del sistema de refrigeración líquida	83
Figura 27: Interfaz del analizador Gsertel	85
Figura 28: Interfaz del analizador Gsertel: Historial de mediciones de la señal recepcionada	86
Figura 29: Interfaz del analizador Gsertel: Espectro de la señal recepcionada	87
Figura 30: Interfaz del analizador Gsertel: Espectro de la señal recepcionada con marcas en los extremos del canal de 6 MHz.....	88
Figura 31: Interfaz del analizador Gsertel: Espectro de la señal recepcionada con marcas dentro del canal de 6 MHz.....	89
Figura 32: Constelación de la señal recepcionada	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cronograma del proyecto.....	45
Tabla 2: Lecturas de operación de los bloques de potencia 1 y 2 del transmisor ULXE-16.	73
Tabla 3: Lecturas de operación de los amplificadores de potencia del transmisor ULXTE-16.	74
Tabla 4: Lecturas de operación de las fuentes de alimentación del transmisor ULXTE-16.	75
Tabla 5: Lecturas adicionales del sistema de refrigeración líquida.	84
Tabla 6: Lecturas de la señal recibida en la frecuencia del radiodifusor.	86
Tabla 7: Lecturas de la señal recibida en las marcas de la figura 29.....	88
Tabla 8: Lecturas de la señal recibida en las marcas de la figura 30.....	89
Tabla 9: Lecturas de la señal recibida en las marcas de la figura 31.....	90
Tabla 10: Principales características técnicas del filtro de máscara crítica instalado.	97
Tabla 11: Principales especificaciones técnicas del transmisor ULXTE-16.	98
Tabla 12: Programa de mantenimiento del sistema transmisor instalado.	99

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es una tecnología utilizada en el Perú desde hace más de 11 años, siendo la señal estatal la primera en iniciar su transmisión en el año 2010.

Entre las ventajas más resaltantes que trajo consigo la TDT sobre la televisión analógica, se pueden mencionar características como el incremento de la calidad de audio y video en sus transmisiones, la ausencia del característico ruido o la interferencia generados en la señal analógica y el aprovechamiento más eficiente del espectro electromagnético, ya que en la TDT pueden transmitirse varios programas distintos en los 6 MHz que ocupa un solo canal analógico y, debido a las características de su señal, no es necesario saltar entre canales adyacentes como en la televisión analógica, en la cual se pasa del canal 2 al canal 4, por ejemplo. El estándar de la TDT adoptado por el país fue el ISDB-Tb, el mismo que integra diversas funcionalidades que permiten la interacción con el televidente; sin embargo, en el Perú estas funciones son poco aprovechadas. Por ejemplo, la posibilidad que podría tener el televidente de acceder a la información o imágenes del contenido que está visualizando y la interacción con el radiodifusor a través de la tecnología de la TDT.

Así como el canal del Estado, otros radiodifusores también iniciaron su transmisión en el 2010. Uno de ellos es la empresa radiodifusora la cual es motivo del presente trabajo de suficiencia profesional. El sistema de transmisión del radiodifusor poseía una capacidad de transmisión de 8.7 kW de potencia promedio en su transmisor principal. Luego de casi 10 años, el radiodifusor decidió renovar su sistema de transmisión principal con la finalidad de mejorar su capacidad, eficiencia, convergencia con las nuevas

tecnologías y redundancia en su sistema de transmisión al desear mantener su sistema de 8.7 kW de transmisión como el respaldo del nuevo.

Se decidió, luego de evaluar diversas propuestas, que el proyecto se encargue a la empresa Meditel Perú bajo la modalidad “Llave en mano”. Por tal motivo, la empresa Meditel Perú tuvo a su cargo el proyecto en su totalidad, desde el reconocimiento y recopilación de requisitos o evaluación de las necesidades del cliente hasta la puesta en marcha del sistema y el cierre del proyecto.

El presente trabajo de suficiencia profesional se enfoca en describir las distintas etapas del proyecto, colocando mayor énfasis en aquellas etapas en las que participé activamente.

Los capítulos que se desarrollan en el presente informe son los siguientes:

En el capítulo I se presenta la introducción del presente trabajo de suficiencia profesional, en la cual se desarrolla su objetivo y estructura.

El capítulo II contiene la descripción de la empresa que llevó a cabo el presente proyecto.

En el capítulo III se presentan la finalidad y los objetivos del proyecto, así como la descripción del problema, en el cual encontramos el problema general, y los problemas específicos, la justificación, la metodología, el procedimiento para llevar a cabo el proyecto y los resultados de este.

En el capítulo IV se exponen las conclusiones del presente trabajo, la metodología aplicada, la descripción de la implementación y las conclusiones.

El capítulo V contiene las recomendaciones del proyecto.

En el capítulo VI se encuentra la bibliografía del presente trabajo.

En el capítulo VII se presentan los anexos del trabajo de suficiencia profesional.

CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución donde se desarrolló la actividad

Las actividades descritas en el presente trabajo de suficiencia profesional se desarrollaron en la empresa Meditel Perú, la cual es una empresa integradora que se desenvuelve, principalmente, llevando a cabo proyectos llave en mano en el rubro de las telecomunicaciones.

2.2 Periodo de duración de la actividad

La actividad del proyecto descrito se desarrolló desde el mes de octubre del 2018 hasta mayo del 2019.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

La finalidad de la empresa Meditel Perú es incrementar su confiabilidad e innovación tecnológica en el rubro *broadcast* nacional para mantener la confianza de sus clientes y reafirmar la calidad de sus equipos y servicios.

El objetivo de Meditel Perú es proveer soluciones integrales en el mercado audiovisual nacional. Entre sus principales clientes se encuentran los medios de comunicación radial y televisiva de Lima y provincias, universidades, entidades estatales, entre otros.

2.4 Razón social

La razón social de la empresa que desarrolló el proyecto es MEDITEL PERU S.A.C.

2.5 Dirección postal

- Dirección legal: Cal. Dos de Mayo Nro. 516 Int. 407
- Distrito / Ciudad: Miraflores.
- Departamento: Lima, Perú.

2.6 Correo electrónico del profesional a cargo

Nombre del personal a cargo del proyecto: Carlos Escudero de Burón.
Correo electrónico: carlos.escudero@meditelperu.com.pe.

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

En el presente trabajo de suficiencia profesional se presenta el proyecto llave en mano que fue encargado a la empresa Meditel Perú, en el que se desarrolló el diseño e instalación de un nuevo sistema de transmisión digital terrestre para una empresa radiodifusora ubicada en Lima Metropolitana.

El proyecto se organizó de la siguiente manera:

- Evaluación de necesidades: Se identificaron y recopilaron los requerimientos del cliente y se realizó el levantamiento de información necesario para iniciar con la etapa del diseño de la solución propuesta.
- Diseño: Se inició con la elaboración del diseño que posteriormente fue presentado al cliente esperando su aprobación.
- Suministro: Se efectuaron las adquisiciones de recursos humanos y físicos.
- Implementación: Se realizó la instalación del sistema propuesto acorde al diseño aprobado por el cliente. Se efectuó la puesta en marcha del nuevo sistema de transmisión.
- Cierre: Se realizó el cierre administrativo del proyecto luego de haber obtenido la aceptación del sistema de transmisión instalado en su local de transmisión.

3.2 Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1 Finalidad

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene por finalidad exponer el proyecto llave en mano en el que se realizó el diseño e implementación de un sistema de transmisión de televisión digital terrestre ISDB-Tb de 10 kW para una empresa radiodifusora ubicada en Lima Metropolitana. Se colocó mayor énfasis en las actividades relacionadas a la especialidad referida en el presente trabajo.

3.2.2 Objetivos

3.2.2.1 Objetivo general. Diseñar e implementar un sistema transmisor de Televisión Digital Terrestre bajo el estándar ISDB-Tb de 10 kW de potencia promedio para una empresa radiodifusora ubicada en Lima Metropolitana.

3.2.2.2 Objetivos específicos.

- Analizar el estado actual del sistema de transmisión ubicado en la caseta de transmisión del radiodifusor.
- Diseñar el sistema de transmisión de televisión digital ISDB-Tb con la tecnología acorde a las necesidades del radiodifusor.
- Implementar el sistema de transmisión digital ISDB-Tb diseñado para el radiodifusor.

3.3 Problemática

El primer sistema transmisor digital del radiodifusor fue instalado y puesto en marcha en el año 2010. El sistema estuvo compuesto por un transmisor digital principal refrigerado por líquido con una potencia promedio máxima de 8.7 kW de transmisión, un transmisor digital de respaldo refrigerado por aire con una potencia promedio máxima de transmisión de 500 W, un sistema de conmutación que conmutaba entre ambos transmisores mediante un *patch panel* coaxial que permitía realizar una transferencia manual entre ellos, entre otros componentes complementarios.

Luego de casi 10 años de operación, se estimó que el antiguo sistema transmisor poseía una eficiencia energética RF/AC aproximada menor a 25 % debido al desgaste natural de sus componentes, lo cual, afectaba al nivel de cobertura del sistema de transmisión y a la eficiencia energética de todo el sistema. También se detectó que existía mayor riesgo de falla en los módulos de amplificación, excitadores o componentes del sistema principal o de respaldo debido a su tiempo de operación, disminuyendo la confiabilidad del sistema. El avance de la tecnología relacionada al transporte del contenido utilizado por el radiodifusor llevó a que se tengan nuevos medios para llevar las señales hacia los transmisores como lo son la fibra óptica, el microondas digital, el *transport stream* (TS) sobre Internet *protocol* (IP) y el satélite, lo que generó la necesidad de adquirir un nuevo sistema que aceptase de forma nativa las nuevas tecnologías de transporte del contenido que se fueron implementando.

En el 2018, el radiodifusor decidió realizar la renovación tecnológica de su sistema de transmisión, lo que le permitiría ampliar su cobertura en Lima Metropolitana, aumentar la confiabilidad del sistema, mejorar su eficiencia energética y permitir el uso de nuevas tecnologías para el transporte de la información, entre otros beneficios.

El presente proyecto surgió debido a la necesidad del radiodifusor de efectuar dicha renovación tecnológica, la cual tuvo como principal objetivo resolver los requerimientos del canal de televisión mediante la instalación de un nuevo sistema de transmisión que colmase sus necesidades.

Estos beneficios técnicos permitirían que mejore la imagen institucional de la empresa como medio de comunicación al llevar la señal digital a más televidentes, lo que aumentaría la demanda y el valor de la publicidad que emite el radiodifusor. Por otro lado, un incremento en la eficiencia del nuevo sistema de transmisión le permite al radiodifusor tener un mayor ahorro energético.

3.3.1 Problema general

¿Cómo migrar a un sistema de transmisión de televisión digital terrestre ISDB-Tb de 10 kW para una empresa radiodifusora ubicada en Lima Metropolitana?

3.3.2 Problemas específicos

- ¿Cómo conocer la situación actual del sistema de transmisión en la caseta de transmisión del radiodifusor?
- ¿Cómo mejorar la calidad de la señal de televisión del radiodifusor ubicado en Lima Metropolitana?
- ¿Cómo observar la mejora de la señal del sistema de transmisión digital ISDB-Tb para el radiodifusor?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

El sistema de transmisión de televisión digital terrestre es uno de los elementos más importantes para un radiodifusor televisivo. En Lima Metropolitana, estos sistemas se encuentran ubicados en las casetas de transmisión del sendero de las antenas del Morro Solar en Chorrillos. Desde su caseta de transmisión, los radiodifusores emiten su señal hacia Lima Metropolitana por medio de las radiofrecuencias llegando a millones de televidentes. Esta señal también es aprovechada por los *gap-fillers* ubicados en puntos estratégicos de Lima, los cuales permiten que la señal digital se siga expandiendo en aquellos lugares donde la señal principal del Morro Solar no llega a los televidentes con un nivel de recepción aceptable.

En algunos casos, las cableras toman las señales de la TDT de los canales de televisión como fuente principal para distribuirlas a través de sus plataformas. Por tanto, a través del presente trabajo de suficiencia profesional, se pretende dar a conocer los detalles de un proyecto de renovación de un sistema de televisión digital terrestre.

3.3.3.1 Justificación social. En el presente trabajo se muestra la metodología utilizada para ampliar la cobertura de un sistema de transmisión de TDT, el cual permitirá que los televidentes ubicados en zonas remotas puedan recibir el servicio de televisión digital gratuita. Adicionalmente, se

muestra la metodología para incrementar la confiabilidad del sistema de transmisión de televisión digital, lo que disminuirá el riesgo de que los televidentes pierdan el servicio de televisión digital gratuita.

3.3.3.2 Justificación práctica. El presente trabajo fue elaborado para describir la solución a las necesidades del radiodifusor como el aumento de potencia de transmisión, el incremento de confiabilidad del sistema, la convergencia con nuevas tecnologías, el aumento de la eficiencia del sistema, entre otras.

3.3.3.3 Justificación económica. En el presente trabajo se muestra cómo beneficia económicamente al radiodifusor la renovación de su sistema de transmisión. Al incrementar la potencia de transmisión, la señal llega a más televidentes, lo que genera una mejora en la imagen institucional del canal que afecta positivamente a la inversión publicitaria de las empresas. Otra importante consecuencia del proyecto es que la confiabilidad del sistema de transmisión aumenta drásticamente, lo cual evita que el nivel de sintonía disminuya abruptamente como ocurriría si el canal quedase fuera del aire. Por otro lado, renovar un sistema de transmisión como el descrito incrementa la eficiencia obtenida entre la energía transmitida y la energía consumida. A largo plazo, la disminución del consumo eléctrico generará un ahorro económico significativo para el radiodifusor, lo que justifica la inversión realizada por este en la implementación del nuevo sistema de transmisión.

3.4 Metodología

3.4.1 Bases teóricas

- Paucar (2010) realizó una investigación titulada “Análisis y Modelamiento de las técnicas de canal de retorno e interactividad para el estándar de televisión digital terrestre ISDB-T” con el objetivo de “proponer una alternativa tecnológica para el canal de retorno para la televisión digital terrestre”.

La tesis presentada por el autor contribuye al desarrollo de la televisión digital terrestre en el Perú. El autor propone utilizar el ADSL y WiFi como canal de retorno para realizar la interactividad propuesta en la tesis. La tesis incentiva a realizar investigación y desarrollo sobre el tema de la interactividad con la finalidad de mitigar la brecha digital e incrementar la inclusión digital aprovechando las facilidades que ofrece la televisión digital terrestre en el Perú.

- Saavedra (2019) realizó una investigación titulada “Participación y cambio de hábitos de los televidentes con la aparición de un sistema de aplicaciones audiovisuales interactivas en la televisión digital terrestre – TDT” con el objetivo de “determinar si la Televisión Digital Terrestre interactiva provocará cambios en los hábitos de los telespectadores”. El estudio arribó a las siguientes conclusiones:
 - Los televidentes encuestados utilizan dos maneras de ver televisión. Una de ellas es la televisión digital de pago, la cual comprende la televisión por cable o satelital, y la televisión digital gratuita o televisión digital terrestre, la cual es abierta, libre y gratuita.
 - En el Perú aún no se ha desarrollado la televisión interactiva o TVi. La muestra encuestada ha manifestado encontrarse interesada en esta nueva forma de ver televisión digital, lo que alienta su desarrollo en Lima.
 - El autor concluye que la implementación de una nueva tecnología interactiva relacionada a la televisión digital terrestre sí logrará realizar cambios en los hábitos del consumidor, especialmente en la población joven.

3.4.2 Marco conceptual

3.4.2.1 Radiofrecuencias (RF). Las radiofrecuencias hacen referencia a aquellas energías cuya frecuencia es lo suficientemente alta como para permitir su propagación o irradiación a través del espacio. El rango de frecuencias que, usualmente, son descritas como radiofrecuencias están sobre los 3 kHz y por debajo de los 300 GHz. Otra característica importante

de las radiofrecuencias es que no solo pueden transportarse a través del aire, sino a través de conductores como los cables y a través de los dispositivos electrónicos.

Las características descritas permiten utilizar a las radiofrecuencias en una gran cantidad de aplicaciones que dan solución a múltiples necesidades que fueron surgiendo con el tiempo. Ejemplos de estas son la radio FM y AM, televisión analógica, digital, por cable, satelital, WiFi, GPS, entre otros.

Uno de los usos más comunes de las radiofrecuencias es la transferencia de información. Esta transferencia de información se logra a través de un proceso llamado modulación. La modulación es realizada con la finalidad de modificar las características de las radiofrecuencias irradiadas de tal manera que pueda contener la información que se quiere transmitir con las condiciones físicas que harán posible que esta pueda ser transmitida por el medio. (Canal Rohde Schwarz, 2020).

3.4.2.2 Televisión digital terrestre (TDT). La TDT permite la transmisión y recepción de imagen y sonido a través del espectro radioeléctrico. La señal es recibida por los televisores compatibles o los que posean un decodificador de acuerdo con la norma adoptada por el país, mediante una antena receptora conectada a estos.

Las ventajas de la TDT son:

- Mejor calidad de imagen y sonido: Gracias a la digitalización de la señal, esta se transmite sin ruidos ni interferencias. La señal es *full HD*, en relación de aspecto 16:9 y con sonido envolvente.
- Mayor cantidad de programas: En el mismo espacio ocupado por un canal analógico se pueden ofrecer cuatro o más señales digitales con mejor imagen y sonido. Lo que permite una mayor oferta televisiva.
- Variedad en canales de televisión: Debido a que no se requiere mantener un espacio de guarda entre canales, como sí es necesario para la televisión analógica, se pueden aprovechar todos los canales del espectro electromagnético. Esto permite utilizar el espectro electromagnético más eficientemente.

- Valores añadidos: La tecnología utilizada en la TDT permite ofrecer servicios adicionales como señal de radio, guía electrónica de programas, interactividad, sistema de alerta temprana, entre otros.
- Recepción portátil y móvil: La TDT permite la recepción portátil y móvil. La característica portable de la TDT se relaciona con la posibilidad de recepcionar la señal en un celular, *tablet* o dispositivo con un sintonizador. Por otro lado, se dice que permite la recepción móvil porque puede ser recepcionada dentro de un automóvil en movimiento.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], s.f.).

3.4.2.3 Tecnología Doherty. Según Tinjacá (2015) la tecnología utilizada en los sistemas de amplificación de señales de RF ha ido evolucionando en los últimos años. Los primeros transmisores de televisión digital contaban con una eficiencia de alrededor de 15 %, lo cual significa que solo el 15 % de la energía consumida se transformaba en RF, desperdiciando el resto de la energía liberándola en forma de calor.

El amplificador Doherty es utilizado actualmente por los transmisores de alta eficiencia. Esta configuración consiste en un amplificador principal polarizado en clase AB y un amplificador secundario en clase C. Utilizar este tipo de amplificadores ha ocasionado que la eficiencia de los transmisores oscile entre los 45 % y 50 %.

La diferencia de polarización permite que los *field-effect transistors* (FET) amplifiquen una zona distinta de la señal de entrada. Para que sea posible combinar las potencias asimétricas amplificadas por ambos FET se puede agregar una línea de transmisión de cuarto de onda ($\lambda/4$) en el diseño del amplificador. El método permite un incremento significativo en la eficiencia de amplificación.

3.4.2.4 Transmisor de televisión digital terrestre. Según Pérez (2005) la arquitectura de los transmisores analógicos y digitales poseen una arquitectura básica en común, la cual es mostrada en la Figura 1. El excitador cumple las funciones de adecuar la señal de entrada al estándar al que se desea transmitir, modificar la frecuencia de la señal base a la frecuencia requerida, corregir errores de linealidad, monitorear de la señal transmitida,

entre otras características. También puede incluir la etapa de preamplificación.

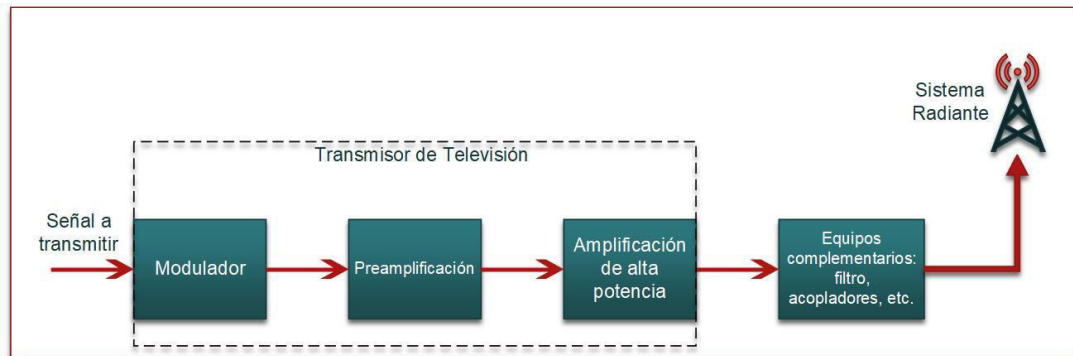


Figura 1: Diagrama de bloques básico de un transmisor de televisión.
Fuente: Elaboración propia.

El amplificador de potencia de los transmisores de televisión cumple la función de incrementar el nivel de amplitud de la señal a ser transmitida sin realizar modificaciones en su modulación. El amplificador de potencia es la etapa que consume la mayor parte de la energía del transmisor. Parte de esta energía es convertida en calor, lo que la hace la etapa que requiere los mayores cuidados de refrigeración del transmisor. Los transmisores de potencias elevadas poseen un sistema de refrigeración líquida independiente compuesto por bombas, mangueras, intercambiador de calor, líquido anticongelante especializado, entre otros componentes enfocados en completar el sistema de refrigeración.

A la salida del transmisor se utiliza un filtro, el cual se acopla a la línea de transmisión. Para el caso de la transmisión digital se utiliza un filtro de máscara crítica. El filtro es de tipo pasa banda y cumple la función de limitar la señal a un ancho de banda específico, según la normativa, con la finalidad de no causar interferencias a los canales adyacentes del espectro electromagnético. El sistema culmina con la línea de transmisión que conecta la salida del filtro con la entrada del sistema radiante.

3.5 Procedimiento

El presente trabajo de suficiencia profesional es de tipo descriptivo. Abarca desde la evaluación de necesidades del cliente hasta el cierre del proyecto, otorgando mayor énfasis en la evaluación de las necesidades, elaboración del diseño de la solución y en la implementación de este.

Las etapas que componen al proyecto son las siguientes:

- Evaluación de necesidades: Se identificaron y recopilaron los requerimientos del radiodifusor y se realizó el levantamiento de información, el cual fue necesario para iniciar con el diseño de la solución propuesta.
- Diseño: Se inició con la elaboración del diseño acorde a las necesidades del radiodifusor, las cuales fueron obtenidas en la etapa previa. Este diseño fue presentado al radiodifusor esperando su aprobación.
- Suministro: Se efectuaron las adquisiciones de recursos humanos y físicos.
- Implementación: Se realizó la instalación del sistema propuesto acorde al diseño aprobado por el cliente y se efectuó la puesta en marcha del nuevo sistema de transmisión. La puesta del sistema al aire dependió del criterio del radiodifusor.
- Cierre: Se realizó el cierre administrativo del proyecto luego de haber obtenido la aceptación, por parte del radiodifusor, del sistema de transmisión instalado en su caseta de transmisión.

A continuación, se describen las etapas del proyecto a detalle:

3.5.1 Evaluación de necesidades

En esta etapa se efectuaron diversas reuniones con el cliente, principalmente, en su caseta de transmisión, la cual está ubicada en el sendero de las antenas del Morro Solar, en Chorrillos. La finalidad de estas reuniones fue definir claramente las necesidades del radiodifusor y esclarecer las dudas de ambas partes, así como definir los parámetros de calidad del proyecto.

Por otro lado, se procedió con la inspección y el levantamiento de información de la caseta de transmisión con el objetivo de obtener todos los datos e información necesarios del sistema existente para elaborar el diseño del nuevo sistema de transmisión, el cual se debía acoplar al sistema existente y, a su vez, debía satisfacer las expectativas del cliente.

El haber recibido e interpretado fielmente las necesidades del cliente en esta etapa, facilitó el desarrollo de las etapas posteriores, minimizó los cambios del diseño, disminuyó el riesgo del proyecto y aumentó la probabilidad de que el proyecto, finalmente, fuese exitoso.

3.5.1.1 Requisitos del proyecto y del entregable. Los requisitos del proyecto se obtuvieron luego de una serie de reuniones con el cliente.

- Requisitos del proyecto:
 - Tiempo de entrega: 6 meses.
 - Modalidad de contrato: Llave en mano.
 - Entrega de la documentación suministrada de los equipos instalados.
 - Cumplimiento de la propuesta económica y técnica, conforme ello, se suscribe el acta de conformidad del proyecto.
 - Cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos previamente.
- Requisitos del entregable:
 - Potencia de transmisión máxima promedio prefiltro en el transmisor principal: 10 kW.
 - Estándar de transmisión: ISDB-Tb.
 - Frecuencia de operación: Especificada por el radiodifusor.
 - Voltaje AC de entrada: 208 – 240 (50/60 Hz, trifásico).
 - Tipo de refrigeración de la etapa de amplificación de alta potencia: Refrigeración líquida.
 - Número de excitadores del transmisor principal: 2 excitadores redundantes.
 - Acoplamiento del nuevo sistema de transmisión al transmisor ULX8700IS manteniéndolo como respaldo.
 - Sistema de conmutación motorizado entre transmisores.

- Aceptación de los siguientes tipos de señales de entrada, como mínimo, en el transmisor principal: 2 *asynchronous serial interface* (ASI), 2 *TS over IP* (TSOIP).
- Módulos de amplificación y sus respectivas fuentes de alimentación intercambiables sin afectar la transmisión.
- Redundancia del sistema en los puntos críticos.
- Eficiencia AC/RF del transmisor principal superior a 40 %.
- Indicadores de calidad:
 - Eficiencia: Mayor a 40 %.
 - Potencia de transmisión promedio prefiltro: 10 kW.
 - Conmutación correcta en los puntos críticos: bombas, excitadores, módulos *phase and gain* (P/G), transmisores, entre otros.
 - Verificación de que los módulos de amplificación y las fuentes de alimentación sean intercambiables en caliente.
 - Potencia reflejada del sistema: Próxima a 0 W.
 - Parámetros de operación del transmisor dentro de lo esperado, según lo indicado en el manual de instalación: Potencia de transmisión, potencia reflejada, temperatura del refrigerante, *flow rate*, *modulation error ratio* (MER), temperatura del Field Programmable Gate Arrays (FPGA), entre otros.
 - Satisfacción del cliente.

3.5.1.2 Características del sistema de transmisión existente. El sistema que se encontró en la caseta de transmisión del radiodifusor estuvo conformado principalmente por un transmisor digital de 8.7 kW de potencia promedio prefiltro, el cual fue instalado en el año 2010, así como un transmisor digital de respaldo de 500 W de potencia promedio prefiltro, un sistema de conmutación manual entre transmisores a través de un *patch panel*, entre otras características. El transmisor principal contaba con un sistema de refrigeración líquida similar al propuesto en el proyecto descrito en el presente informe.

El equipamiento existente estuvo integrado por los siguientes equipos:

- Transmisor principal

A continuación, se presenta un resumen de las características del transmisor principal que poseía el radiodifusor en su antiguo sistema de transmisión. Estas características fueron obtenidas durante la visita de inspección técnica previo al inicio del proyecto.

- Marca: Harris.
- Modelo: Maxiva ULX8700IS.
- Origen: EE. UU.
- Fecha de fabricación: 12/05/2010.
- Consumo de energía: 40.2 KVA (en su estado de máxima eficiencia).
- Voltaje de entrada: 208 - 240 VAC (trifásico).
- Potencia de transmisión promedio prefiltro: 8.7 kW.
- Estándar de transmisión: ISDB-Tb.
- Número de módulos de amplificación (PA): 16.
- Número de excitadores: 2.
- Método de refrigeración: Sistema de refrigeración líquida en la etapa amplificación de alta potencia.
- Transmisor de respaldo
 - Marca: Harris.
 - Modelo: Maxiva UAX-500IS.
 - Origen: EE. UU.
 - Fecha de fabricación: 17/05/2010.
 - Voltaje de entrada: 208 – 240 VAC (trifásico).
 - Potencia de transmisión promedio prefiltro: 500 W.
 - Estándar de transmisión: ISDB-Tb.
 - Número de pallets PA: 4.
 - Número de excitadores: 2.
 - Refrigeración por aire forzado.
- Filtro de máscara crítica
 - Marca: Spinner.
- Carga fantasma
 - Marca: Termaline Coaxial Resistor.
 - Modelo: 8936-230.
 - Capacidad: 10 kW.

Se observó que el transmisor principal ULX8700IS posee dos excitadores redundantes y 16 módulos de amplificación de alta potencia. El transmisor también cuenta con una unidad de control denominada Transmitter Control Unit (TCU), el cual cumple la función de integrar los dispositivos que componen al equipo y ser el medio por el que el usuario accede a la *graphical user interface* (GUI) de este. A través de la GUI el usuario puede monitorear el estado de las distintas partes del equipo, configurar parámetros de transmisión, operar el transmisor y el sistema de enfriamiento líquido, entre otros.

Las salidas de los 16 módulos se suman con la finalidad de lograr que el transmisor posea una potencia promedio de salida prefiltro de 8.7 kW como máximo. Los módulos de amplificación, las fuentes de alimentación, los *predrivers* y los excitadores son intercambiables en caliente, lo que significa que pueden ser reemplazados ante cualquier desperfecto sin afectar la transmisión al aire.

El sistema de refrigeración líquida del transmisor está compuesto por un módulo externo de dos bombas paralelas que conmutan automáticamente en caso alguna de ellas quede inoperativa. El sistema también posee un intercambiador de calor en el exterior de la caseta, el cual mantiene el líquido refrigerante en el rango de temperatura de operación ideal. También posee válvulas, manómetros, filtros, entre otros dispositivos que permiten realizar un mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.

Se evidenció que el transmisor de respaldo poseía una potencia promedio máxima de transmisión de 500 W, dos excitadores redundantes, su refrigeración era por aire forzado, se utilizaba en caso de emergencias conmutando manualmente mediante el *patch panel* del sistema, pero, debido a su baja potencia, la cobertura se veía afectada considerablemente cuando se encontraba en operación, con el riesgo de no llegar a la cabecera de la empresa Movistar ubicada en Lurín, desde donde reciben la señal TDT del radiodifusor para distribuirla a través de su plataforma.

En la Figura 2 se visualiza el diagrama de bloques del sistema de transmisión existente en la caseta de transmisión al momento de realizar la evaluación *in situ*. Dicho sistema poseía una redundancia entre transmisores, pero esta no

garantiza la cobertura de la señal TDT a una gran parte de los televidentes debido a la baja potencia de transmisión del transmisor de respaldo. Por ello, la transmisión se encontraba en riesgo debido a que el transmisor principal podía quedar inoperativo por un tiempo considerable. La conmutación se ejecutaba manualmente a través de un *patch panel* de 3 vías que conectaba a ambos transmisores, la carga y la salida al sistema radiante.

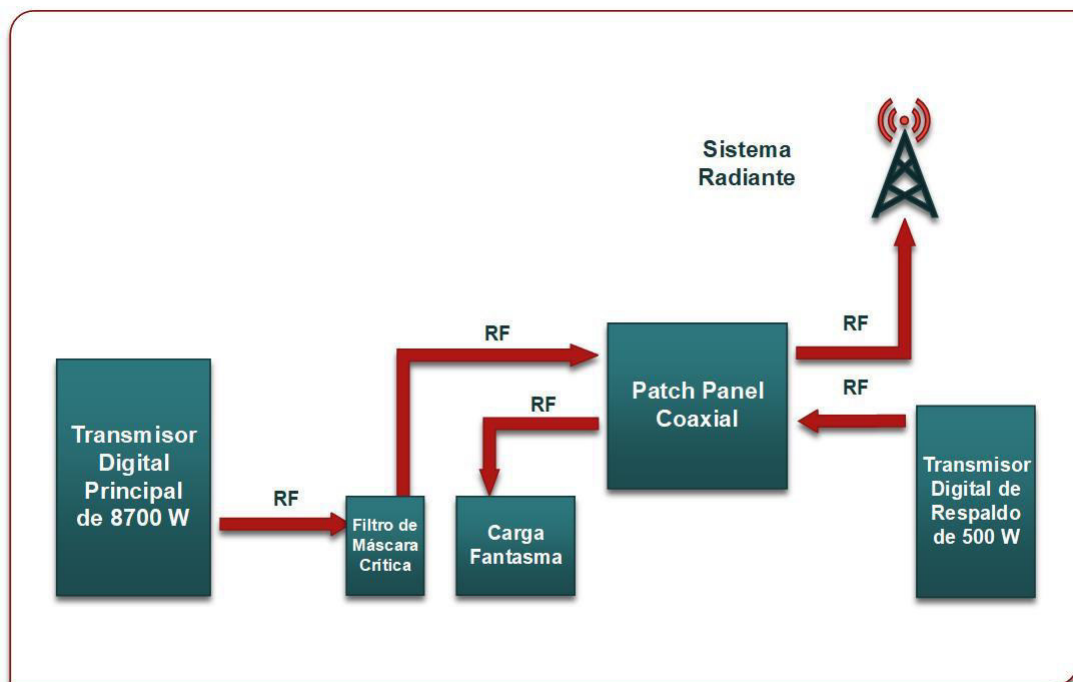


Figura 2: Diagrama de bloques básico del sistema de transmisión existente del radiodifusor. Fuente: *Elaboración propia.*

El sistema de transmisión existente poseía una antigüedad de aproximadamente 9 años al momento de efectuar la evaluación. La antigüedad del sistema ocasionaba que la confiabilidad de este disminuyese considerablemente. Del mismo modo, la eficiencia AC/RF del sistema se había visto mermada.

Se observa en la Figura 2 que la señal de RF viajaba a través de líneas de transmisión rígidas de 3 1/8", las cuales conectaban desde la salida del

transmisor hasta la entrada del filtro de máscara crítica, pasando previamente por un filtro de armónicos acoplado a la línea rígida. A la salida del filtro de máscara crítica, la línea rígida continuaba con un acoplador direccional posfiltro que mandaba las muestras de potencia directa y reflejada de retorno al transmisor para realizar la precorrección lineal. Luego de pasar por el acoplador direccional, la señal RF, continuaba su camino por la línea rígida hacia el *patch panel* del sistema, para culminar en la línea coaxial que sube la señal de radiofrecuencias (RF) hacia el sistema radiante.

3.5.2 Diseño

En esta etapa se elaboró la solución enviada al cliente, la cual incluyó el diseño propuesto. En la elaboración del diseño se utilizó la información obtenida en la etapa de evaluación de necesidades. La propuesta debía cumplir con todos los requisitos acordados en conjunto con el cliente y debía ser aceptada por el mismo; caso contrario, se realizaban las modificaciones necesarias.

El diseño que se muestra en esta etapa del informe es el diseño final de la solución; sin embargo, la propuesta presentada al cliente al inicio del proyecto fue un diseño preliminar. El diseño cumplió con los aspectos técnicos descritos en la etapa de evaluación de necesidades del cliente. El diseño obtenido al finalizar esta etapa aún sufrió modificaciones menores en las etapas posteriores por petición del cliente o por eventualidades que ocurrieron durante el desarrollo del proyecto; sin embargo, cualquier modificación fue informada oportunamente a todos los interesados clave del proyecto con la finalidad de obtener su aceptación.

Junto a la propuesta técnica, se presentó la propuesta económica, la cual fue elaborada a detalle cumpliendo con las expectativas del cliente y, adicionalmente, se incluyó el cronograma del proyecto, el cual completó la propuesta.

3.5.2.1 Elaboración del diseño del nuevo sistema de transmisión. El nuevo sistema de transmisión fue diseñado acorde a los requisitos acordados

con el cliente. Estos requisitos fueron recaudados en la etapa anterior del proyecto.

Para cumplir con las características requeridas por el cliente acerca del nuevo sistema de transmisión, se propuso utilizar el transmisor de la marca estadounidense GatesAir, modelo ULXTE-16, el cual cuenta con una potencia promedio prefiltro de 10 kW.

El diseño final contó con 2 etapas: El diseño del sistema de transmisión de RF y el diseño del sistema de refrigeración líquida. A continuación, se presentan las consideraciones para la realización de los diseños, las descripciones de los equipos y accesorios que se utilizaron para su elaboración y una descripción general de cada uno.

3.5.2.1.1 Diseño del sistema de transmisión. Las consideraciones para la elaboración del diseño son:

- Haber realizado el levantamiento de información de la caseta de transmisión.
- Cumplir con la lista de requisitos obtenidos anteriormente en conjunto con el radiodifusor.
- Se debe mantener el sistema perteneciente al transmisor ULX8700IS de 8.7 kW. Se requería que este transmisor permanezca como el transmisor de respaldo. Dicho sistema incluye a su sistema de refrigeración líquida, líneas de transmisión, filtro de máscara y el gabinete del transmisor en su totalidad.
- Se mantiene la carga del sistema de 10 kW, con la observación de que se debe renovar por otra de mayor capacidad.
- El diseño solo alcanzó hasta el *switch* motorizado que conmuta entre transmisores ante alguna falla del sistema transmisor principal.
- Debido a que el transmisor ULXTE-16 de GatesAir fue la base del diseño, se describe con mayor amplitud su funcionamiento y sus características más resaltantes.

Las principales características de los equipos y accesorios que componen el diseño son:

- Transmisor ULXTE-16 de GatesAir (ver Anexo A)

- El modelo ULXTE-16 posee 16 *power amplifiers* (PA) distribuidos en un gabinete. La potencia máxima promedio prefiltro de transmisión es de 10 kW. La potencia de operación a la que fue calibrado el equipo es 10 kW, por lo que cuando el equipo transmite a esta potencia se encuentra en un estado de máxima eficiencia.
- Estándar de modulación: ISDB-Tb.
- Banda de operación: UHF
- Tipo de refrigeración: Sistema de refrigeración líquida externo.
- Tipo de salida: 4 1/16" EIA flange.
- Dos módulos de fase y ganancia redundantes.
- Configuración de dos excitadores redundantes.
- Monitoreo y control a través de una *tablet* que será ubicada en la parte frontal del gabinete. La *tablet* se conecta a la unidad de control del transmisor mediante un *access point*. Mediante la *tablet* se pueden realizar todas las funciones de monitoreo y control de transmisor.
- En la Figura 3 se observa el diagrama de bloques del transmisor ULXTE-16, el cual muestra la distribución de los 16 módulos de amplificación, la separación de ambos bloques de potencia, los módulos de fase y ganancia de cada bloque. Adicionalmente se observa a ambos excitadores conectados mediante el Transmitter Manager, a través del cual se integran todas las secciones del transmisor.

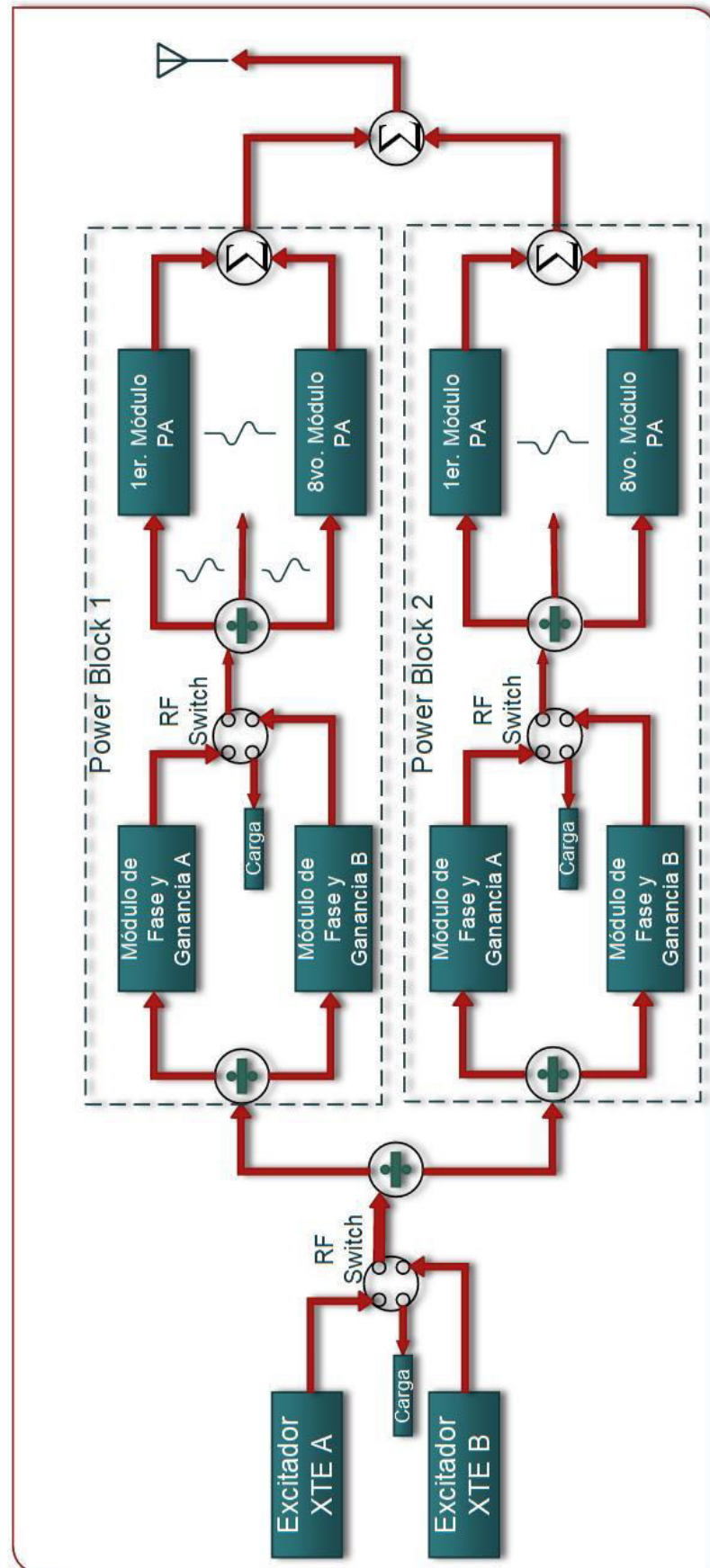


Figura 3: Diagrama de bloques de un transmisor ULXTE-16 de Gatesair.
Fuente: Gatesair (2019) y elaboración propia.

- Ambos excitadores reciben la señal Broadcast Transport Stream (BTS) con la información del material a ser transmitido y modulan la señal al estándar de transmisión ISDB-Tb y a la frecuencia requerida, generando una señal de RF de baja potencia que es enviada hacia el Exciter Switch del Transmitter Manager del equipo. Los excitadores, a su vez, realizan las precorrecciones de las distorsiones lineal y no lineal de la señal. La distorsión no lineal se genera en la etapa de amplificación de los bloques de alta potencia; mientras que, la distorsión lineal se genera en el filtro de máscara crítica.
- El *switch* de los excitadores posee 2 posiciones. De ellas, en la primera posición, el excitador A se encuentra conectado al divisor de RF; mientras que, el excitador B se encuentra conectado hacia una carga. La señal a la salida del *switch* va hacia un divisor que la distribuye hacia los dos bloques de potencia, cada uno de los cuales contiene a sus respectivos módulos de fase y ganancia, principal y de respaldo. Cada bloque posee un *switch* para los módulos de fase y ganancia que le otorga redundancia a esa parte del sistema. Luego, la señal se distribuye hacia un total de 8 módulos amplificadores de potencia, cada bloque de amplificación contiene 8 módulos PA. Las señales de RF a la salida de estos módulos se unifican mediante un sumador. La resultante del sumador del primer bloque de amplificación se suma con la salida del segundo bloque de amplificación para obtener la potencia total de los 16 módulos de amplificación del transmisor.
- El transmisor ULXTE-16 posee una calibración realizada en fábrica que le permite operar a 10 kW con una eficiencia aproximada AC/RF de 45 %. Este alto porcentaje de eficiencia se logró gracias al diseño de los pallets de amplificación, los cuales fueron fabricados con el método de amplificación Doherty. El transmisor ULX8700IS existente, el cual cuenta con una potencia máxima prefiltro de 8700 W, posee un método de amplificación convencional AB, por lo que

su eficiencia se encuentra muy por debajo de lo logrado con el nuevo transmisor ULXTE.

- Transmisor ULX8700IS
 - El transmisor de respaldo es de la marca Harris modelo ULX8700IS de 8.7 kW de potencia promedio. La salida de potencia de este transmisor es un conector de 3 1/8" EIA *flange*. Sus características fueron descritas anteriormente. En el diseño propuesto, es posible conmutar a este transmisor mediante un *switch* motorizado a través de un panel táctil ubicado en el transmisor principal.
- Acoplador direccional
 - El sistema de transmisión principal posee 2 acopladores direccionales. Uno de ellos se encuentra ubicado entre la salida del transmisor y la entrada del filtro de máscara (prefiltro); mientras que, el segundo se encuentra ubicado a la salida del filtro de máscara (posfiltro). En la Figura 4 se muestra el acoplador prefiltro instalado.



Figura 4: **Acoplador direccional.** Fuente: *Elaboración propia.*

- Estos dispositivos pasivos son insertados en las líneas de transmisión de un sistema de RF. Además, poseen puertos atenuados que permitirán el monitoreo de la señal que lo atraviesa.
- En el diseño propuesto, el principal uso que se les da es enviar muestras al transmisor de la potencia directa y reflejada desde las posiciones pre- y posfiltro. El transmisor requiere estas muestras para el monitoreo de las potencias directa y reflejada, protección del sistema, realizar ajustes en el Modulation Error Ratio (MER) y en los umbrales de potencias, así como realizar la corrección lineal del sistema con la finalidad de optimizar el rendimiento.
- Filtro de armónicos
 - El diseño del sistema de transmisión principal incluye un filtro de armónicos pasivo de la marca Dielectric acoplado a la línea de transmisión rígida de 4 1/16" EIA *flange*.
 - Los armónicos generados en el sistema son filtrados por este dispositivo con la finalidad de evitar distorsiones en la señal.
- Filtro de máscara crítica
 - El filtro de máscara crítica instalado en el sistema principal es de la marca RFS modelo 8PPXX201E de 8 polos, compatible con la normativa ISDB-Tb de 6 MHz, calibrado al canal del radiodifusor. El filtro es de refrigeración líquida y su potencia máxima promedio operativa es de 11 kW a 150 msnm. En la Figura 5 se muestra el filtro de máscara crítica utilizado en el diseño.



Figura 5: Filtro de máscara. Fuente: Elaboración propia.

- La finalidad del filtro de máscara crítica en el sistema diseñado es atenuar las frecuencias fuera del rango de los 6 MHz como señala la norma del ISDB-Tb y atenuar las frecuencias consideradas espurias. En el Anexo A se muestran las principales características del equipo.
- Switch motorizado
 - El *patch panel* posee un *switch* coaxial motorizado de la marca Dielectric de 4 vías de 3 1/8" EIA *flange*. El *switch* posee una impedancia de 50 Ω . En la Figura 6 se muestra el *switch* coaxial motorizado instalado.



Figura 6: Conmutador coaxial motorizado de 4 vías. Fuente: Elaboración propia.

- El *switch* puede actuarse desde el panel táctil ubicado en el transmisor principal o manualmente en caso de emergencia.
- Líneas de transmisión
 - Las líneas de transmisión rígidas utilizadas en el diseño son de 3 1/8" y 4 1/16". Este tipo de líneas de transmisión tienen un centro de cobre sostenido en el centro por un accesorio llamado *inner*, el cual está hecho de teflón.
 - El resto del interior de este tipo de línea de transmisión es aire, debido a que el interior de la línea puede estar expuesto a factores climáticos como la humedad. Asimismo, se utiliza un equipo deshidratador, el cual mantiene el interior presurizado y el aire seco.
- Power Monitor
 - El dispositivo externo al transmisor utilizado para monitorear la potencia es un monitor de potencia de la marca Bird, el cual se inserta en la línea de transmisión y puede ser accedido mediante red. Este dispositivo posee un panel LED que se instaló en el gabinete del transmisor principal. En este se puede visualizar la

potencia promedio irradiada y el *standing wave ratio* (SWR). En la Figura 7 se muestra el *power monitor* utilizado.



Figura 7: **Power Monitor.** Fuente: Elaboración propia.

- Carga fantasma
 - La carga coaxial utilizada en el diseño es de la marca Termaline.
 - La carga debe mantener la impedancia del sistema, por lo que la carga utilizada es de 50Ω y puede operar con una potencia de hasta 10 kW.
 - La carga fantasma, en un sistema de transmisión, sustituye al sistema radiante mientras el transmisor se encuentra operando con alta potencia. Esto puede aprovecharse para realizar la calibración del transmisor que está conectado a la carga, realizar pruebas y ajustes de rutina.

- Al momento de realizar pruebas con un transmisor, se debe asegurar que este se encuentre conectado al sistema radiante o a una carga que pueda soportar la potencia de transmisión; caso contrario, el equipo transmisor puede sufrir graves daños, debido a que la potencia transmitida se reflejará y retornará al equipo transmisor.

En la Figura 8 se observa el diseño final propuesto. El cual se describe de la siguiente manera:

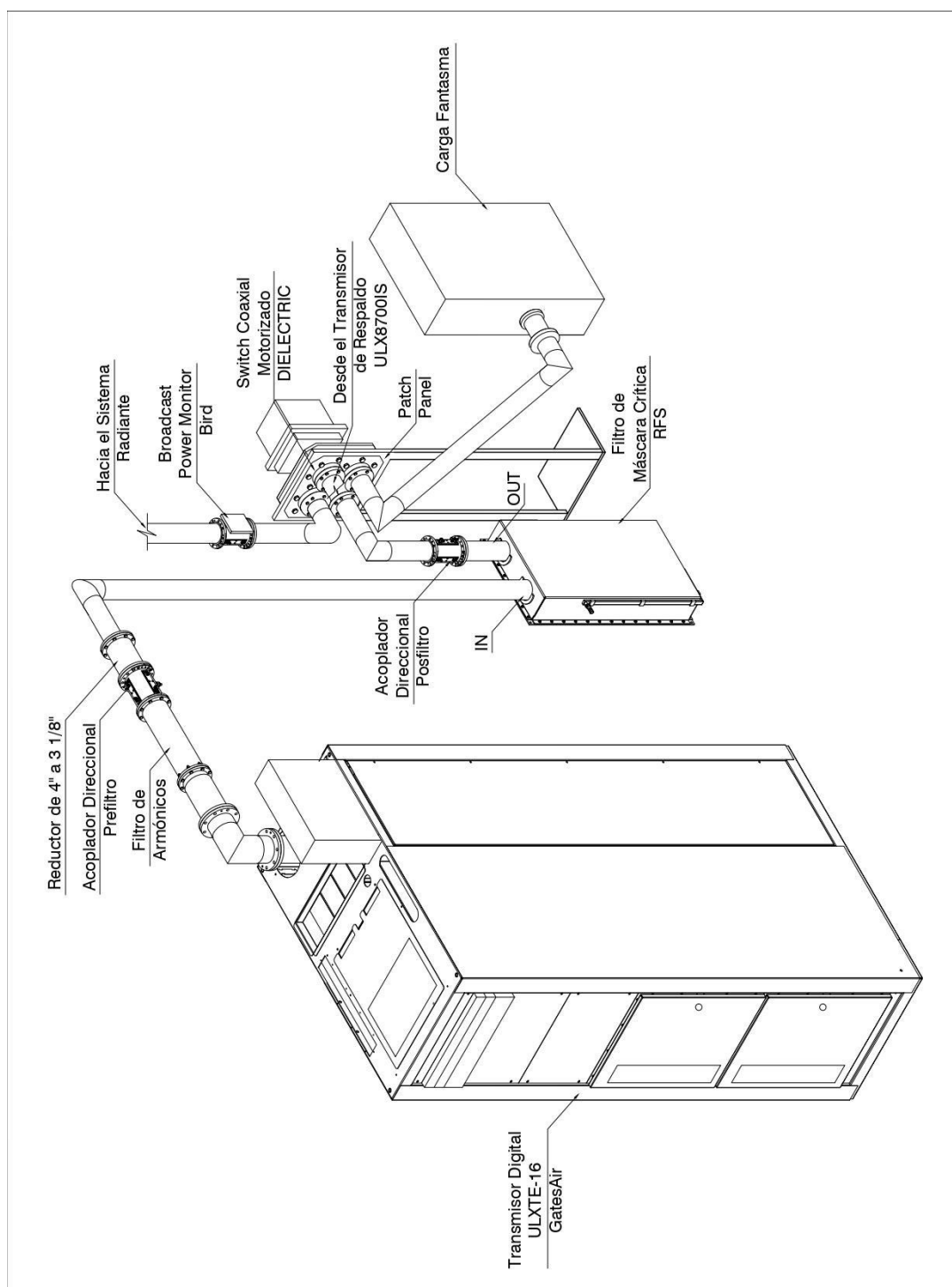


Figura 8: Diseño final del sistema de transmisión. Fuente: Elaboración propia.

- Para la elaboración del diseño, se dispuso que el gabinete del transmisor principal ULXTE-16 se encuentre ubicado físicamente al lado del transmisor de respaldo.
- La salida de RF del transmisor principal es un conector de 4 1/16" EIA *flange* que se conecta a un codo de 4 1/16" EIA *flange* orientado hacia la ubicación del *patch panel*.
- Debido a la alta potencia generada por el transmisor, alrededor de 10 kW prefiltro, se utilizaron líneas de transmisión rígidas, con la finalidad de minimizar las pérdidas de energía en forma calórica.
- La línea de transmisión continúa con un filtro de armónicos de 4 1/16" EIA *flange* de la marca Dielectric. Como ya se explicó previamente, este dispositivo pasivo filtra los armónicos generados en el sistema con la finalidad de evitar distorsiones en la señal.
- Un acoplador direccional de 4 1/16" EIA *flange* se conecta al filtro de armónicos. Este acoplador envía información de la potencia directa y reflejada prefiltro al transmisor. También permite tomar muestras de la potencia en algunos de sus puntos atenuados.
- Se utilizó un reductor de 4 1/16" EIA *flange* a 3 1/8" EIA *flange* que continúa hacia un codo de 3 1/8" EIA *unflange*. La reducción a 3 1/8 se realizó con la finalidad de uniformizar las líneas de transmisión entre el transmisor principal y el de respaldo.
- El codo baja hacia el filtro de máscara crítica mediante línea de transmisión de 3 1/8". Al llegar a la entrada del filtro de máscara, se conecta al conector de entrada de 3 1/8" EIA *flange*.
- El filtro utilizado es un filtro de 8 polos de la marca RFS modelo 8PPXX201E calibrado para el canal UHF del radiodifusor, en la norma ISDB-Tb de 6 MHz. La norma indica que cada canal no debe sobrepasar los 6 MHz de ancho de banda con la finalidad de no interferir con los canales adyacentes.
- La salida del filtro de máscara posee un conector de 3 1/8" EIA *flange*. Conectado a este, se encuentra el acoplador direccional posfiltro de 3 1/8" EIA *unflange* que envía muestras de la potencia directa y reflejada

hacia el transmisor. También puede usarse para tomar muestras en alguno de sus puntos atenuados.

- A través de un codo de 3 1/8" EIA *unflange*, la línea de transmisión se conecta al *switch* motorizado instalado en el *patch panel*.
- El *switch* coaxial motorizado permite realizar una conmutación entre el transmisor principal y el de respaldo. La conmutación se realiza mediante el panel de control instalado en la parte frontal del gabinete del transmisor principal. En caso de emergencia, el *switch* permite realizar la conmutación manual.
- El *switch* motorizado tiene 4 vías, cada una de estas posee conectores 3 1/8" EIA *flange*. Este *switch* se encuentra instalado en el *patch panel*, el cual se encuentra anclado al piso.
- Dos de las 4 vías del *switch* se conectan a los transmisores principal y de respaldo.
- La tercera vía del *switch* se conecta a la carga fantasma del sistema. La carga fantasma permite realizar calibraciones o mantenimientos al transmisor conectado a esta sin la necesidad de mandar la señal de RF al sistema radiante.
- A la salida de la cuarta vía se conecta un Power Monitor de la marca Bird. Este equipo permite monitorear la potencia del sistema independientemente del transmisor. El panel de control del Power Monitor se instaló en el gabinete del transmisor principal ULXTE-16. Luego la línea rígida continúa hacia el sistema radiante.

3.5.2.1.2 Diseño del sistema de refrigeración líquida del sistema principal. En general, el sistema de refrigeración líquida se basa en un circuito de mangueras, módulo de bombas, intercambiador de calor y dispositivos complementarios. Este circuito distribuye el líquido refrigerante en los módulos de alta potencia del transmisor principal, módulo de bombas, intercambiador de calor y el filtro de máscara crítica.

El módulo de bombeo se encarga de mantener el flujo del sistema a través de sus bombas. A su vez, el líquido refrigerante circula desde la salida del módulo de bombas hasta el transmisor digital, dentro del cual circula por sus 16 módulos de amplificación de potencia. El líquido se calienta y sigue su camino

hacia el intercambiador de calor, el cual está constituido por un radiador y 2 ventiladores. El líquido pasa a través del radiador, los cuales son enfriados por los 2 ventiladores. El refrigerante sigue su camino de regreso al módulo de bombeo cerrando, de esta manera, el circuito de refrigeración líquida del sistema transmisor principal.

A continuación, se describen los principales equipos y complementos que contiene el sistema de refrigeración líquida del sistema de transmisión principal:

- Módulo de bombas

El módulo de bombas y sus partes se muestran en la Figura 9. Este módulo contiene los dispositivos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración líquida. A través del panel de control del módulo de bombas se puede habilitar la operación local del módulo; caso contrario, se controla remotamente a través de la interfaz del transmisor principal. Los componentes que contiene el módulo de bombas se describen a continuación:

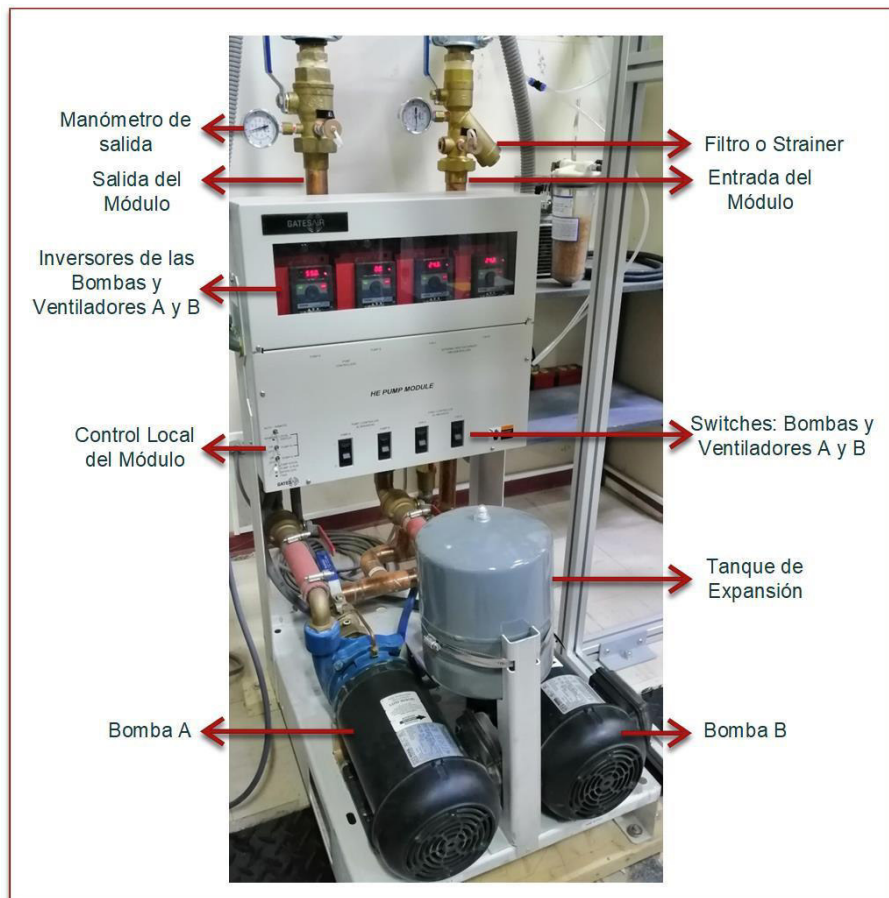


Figura 9: **Módulo de bombas.** Fuente: *Elaboración propia.*

- Panel de control del sistema de refrigeración:
Se muestra en la Figura 10.



Figura 10: Panel del módulo de bombas. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 10, el panel de control posee indicadores que muestran el estado del equipo y *switches* que sirven para controlar localmente a las bombas del módulo y al intercambiador de calor del sistema. En la parte superior se encuentran los inversores que controlan a las bombas A y B y a los ventiladores A y B del intercambiador de calor. Adicionalmente, el panel establece comunicación con el transmisor con la finalidad de que sea posible monitorear y controlar remotamente el sistema de refrigeración a través de su interfaz de usuario.

- Tanque de expansión

Se muestra en la Figura 9. El tanque de expansión se encuentra integrado al módulo de bombas y cumple la función de mantener la presión del líquido refrigerante del sistema entre los límites preestablecidos. Se recomienda revisar la presión de aire que ejerce el tanque de expansión a través de la válvula Schrader que posee el tanque. Esta presión debe ser de 12 psi; caso contrario, se debe agregar o retirar aire a través de la válvula Schrader hasta lograr los 12 psi.

- Manómetros

Se muestra en la Figura 9. Los manómetros se encuentran distribuidos a través de todo el sistema de refrigeración. Cumplen la función de

indicar la presión del refrigerante en todo el sistema. Con esto se asegura que el flujo del líquido que pasa a través de las bombas sea el adecuado.

- Sensor de temperatura

El sensor de temperatura es un termistor que encuentra ubicado en el módulo de bombas. Cumple la función de detectar la temperatura interna del líquido refrigerante que circula a través del sistema. Es utilizado como parámetro para controlar la velocidad con la que operan los ventiladores del intercambiador de calor. A mayor temperatura, los ventiladores aumentan su frecuencia de giro y viceversa.

- Filtro

Se muestra en la Figura 11.



Figura 11: Filtro o strainer del sistema de refrigeración líquida. Fuente: Elaboración propia.

El filtro del sistema de refrigeración se encuentra ubicado en la parte superior del módulo de bombas, en el puerto de entrada del líquido. Este se muestra como un apéndice del sistema. Cumple la función de retener partículas o impurezas que se forman con el tiempo en el líquido

refrigerante, las cuales podrían dañar los módulos de amplificación. Como se muestra en la Figura 11, alrededor del filtro se encuentra una válvula que retiene el líquido al momento de abrir la tapa del filtro para realizarle mantenimiento.

- Bombas duales

Se muestran en la Figura 12.



Figura 12: Bombas duales. Fuente: Elaboración propia.

Las bombas se encuentran integradas al módulo de bombas. Se encargan de distribuir el líquido refrigerante a través de todo el sistema de refrigeración. Pueden controlarse localmente a través del panel de control o remotamente a través del transmisor. El funcionamiento de las bombas es automático o manual, según sean configuradas. Solo una bomba se encuentra activa a la vez, manteniéndose la segunda en estado *standby* como un respaldo de la bomba activa. En el modo automático, la bomba de respaldo entra en funcionamiento automáticamente luego de detectarse una falla en la bomba activa.

- Válvula de alivio de presión

Este dispositivo se encuentra dentro del módulo de bombas. Es una válvula de emergencia que solamente se abre en caso el sistema supere los 75 psi de presión. Su finalidad es que el sistema no drene el líquido por otro punto del sistema que no sea a través de la válvula de alivio de presión, lo cual podría dañar alguna parte del equipamiento.

- Kit de plomería

El kit está constituido por mangueras, válvulas, codos, válvula de purga, líquido refrigerante, entre otros accesorios de instalación. A continuación, se describen los principales elementos del kit:

- Válvulas: Las válvulas se encuentran estratégicamente distribuidas en el sistema para cortar el flujo del líquido refrigerante en zonas clave para realizar mantenimientos preventivos o correctivos. También cumplen una función importante al momento de realizar el llenado inicial del sistema con líquido refrigerante aislando determinadas zonas como los amplificadores de potencia, por ejemplo.
- Sistema de mangueras: Las mangueras utilizadas en el sistema de refrigeración son de la marca Continental de 150 psi y de 1-1/2" para el tramo principal y de 3/4" y 250 psi para el tramo dirigido a refrigerar el filtro de máscara crítica del transmisor.
- Líquido refrigerante: El fabricante indica que el líquido refrigerante que debe circular por el sistema sea una mezcla de 50 % *glicol* y 50 % agua destilada.
- Purgador de aire y el visor de nivel o *sight glass*: Debe ser instalado en la parte más alta del sistema de refrigeración. Es utilizada para purgar el sistema en caso sea necesario. Viene precedido por un visor de nivel que es utilizado para mostrar el nivel del líquido en el sistema.

- Intercambiador de calor

Se muestra en la Figura 13.



Figura 13: Intercambiador de calor. Fuente: Elaboración propia.

El intercambiador de calor del sistema es similar al utilizado en el sistema de refrigeración del transmisor de respaldo. Está compuesto principalmente por un radiador por el cual circula el líquido refrigerante del sistema y dos ventiladores. Su operación básica se limita a dos ventiladores operando contantemente para enfriar el líquido refrigerante que circula por el radiador. El módulo de bombas posee un termistor que actúa como sensor de temperatura, el cual es utilizado como parámetro para controlar la velocidad de giro de los ventiladores del intercambiador de calor. Este es ubicado en el exterior de la caseta debido a que requiere un espacio libre en el que los ventiladores puedan expulsar el aire caliente.

- Módulos de amplificación con placas de enfriamiento

Los módulos de amplificación de potencia son las partes del transmisor que emiten mayor calor. Por ello, en un sistema de refrigeración líquida, los módulos de amplificación poseen placas de enfriamiento adaptadas a estos, las cuales permitirán que el líquido refrigerante fluya a través de ellas, enfriando constantemente el módulo de potencia.

El diseño del sistema de refrigeración líquida es mostrado en la Figura 14.

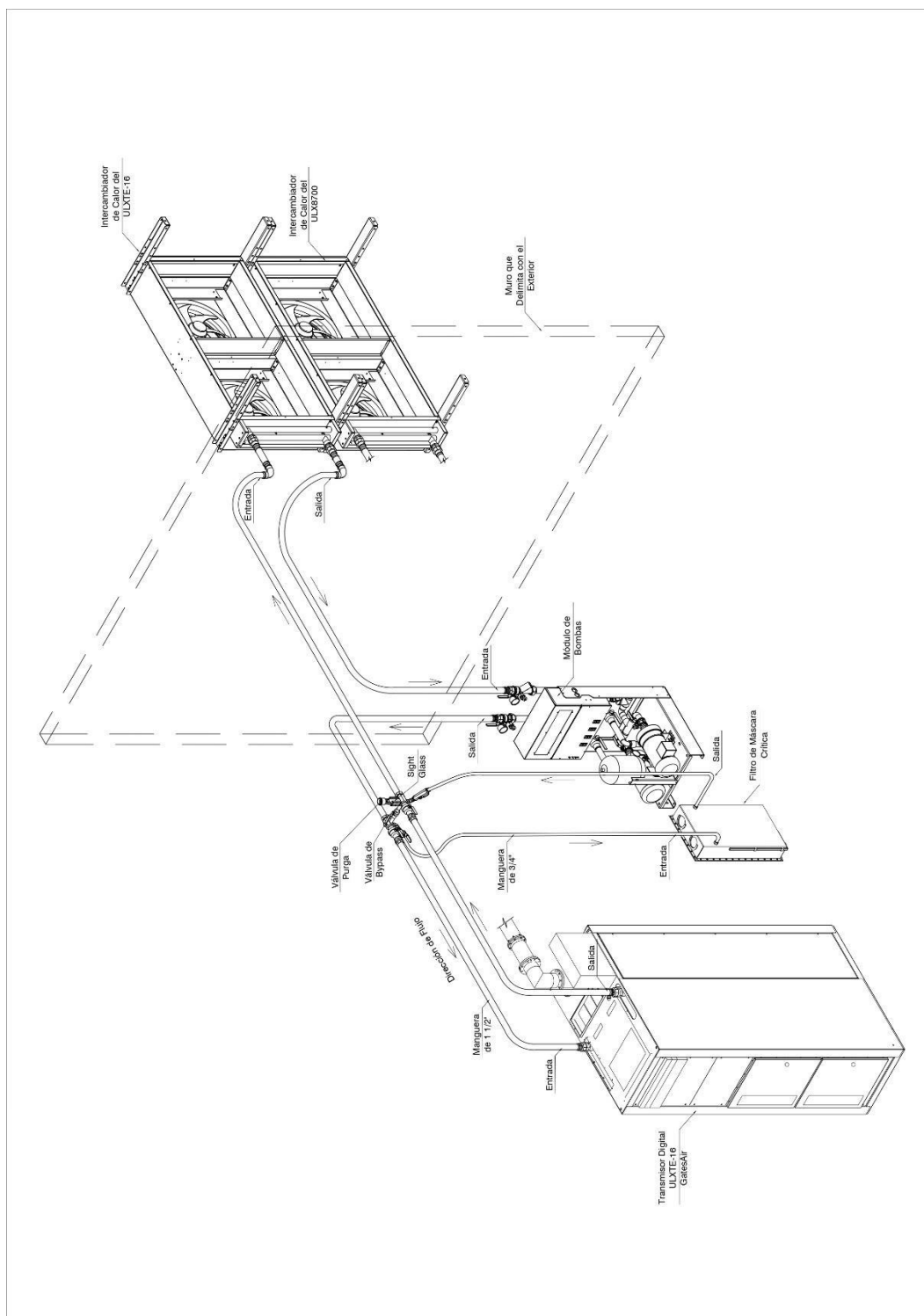


Figura 14: Diseño final del sistema de refrigeración líquida. Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración del diseño del sistema de refrigeración, se toma como base el diseño recomendado por fábrica realizando modificaciones. El diseño del sistema de refrigeración líquida se describe de la siguiente manera:

- En la Figura 14 se muestra la dirección del flujo del líquido refrigerante a través del sistema, así como la disposición de los equipos que componen el sistema de refrigeración líquida y sus accesorios. Este diseño se utilizó posteriormente para la instalación del sistema de refrigeración.
- El diseño cuenta con el transmisor ULXTE-16, módulo de bombas, filtro de máscara crítica, el intercambiador de calor y sus respectivos accesorios.
- Las mangueras utilizadas son de 1 ½" a excepción de las utilizadas para el filtro de máscara crítica, las cuales son de ¾".
- El líquido refrigerante es bombeado por el módulo de bombas hacia el transmisor a través de las mangueras de 1 ½". El líquido ingresa al transmisor y se distribuye hacia los módulos de amplificación de alta potencia (PA), cada uno de estos poseen placas internas en su diseño con ductos que permiten el paso del líquido refrigerante a través de las zonas que generan mayor cantidad de calor.
- El líquido caliente es unificado dentro de transmisor y expulsado por su ducto de salida hacia el intercambiador de calor a través de las mangueras de 1 ½".
- El intercambiador de calor se encarga de reducir la temperatura del líquido refrigerante utilizando sus dos ventiladores controlados por los inversores del módulo de bombas. A mayor temperatura del líquido refrigerante muestreado por el módulo de bombas, mayor será la velocidad de giro de los ventiladores. Por razones de diseño, el intercambiador de calor debe operar en el exterior de la caseta de transmisión.
- El líquido es enviado de regreso al módulo de bombas desde el intercambiador de calor con la finalidad de cerrar el circuito y que este vuelva a ser bombeado hacia el transmisor.

- El filtro de máscara crítica también es refrigerado por líquido. Para lograr su integración al sistema de refrigeración del transmisor, se utilizan mangueras de $\frac{3}{4}$ " instaladas en dos conectores de menor dimensión ubicados a la altura de la válvula de *bypass*. La dirección del flujo del líquido de refrigeración que atraviesa el filtro de máscara crítica también es mostrada en la Figura 14. El filtro de máscara también posee dos conectores adecuados a la dimensión de la manguera utilizada.
- La válvula de *bypass* es utilizada para aislar el transmisor del líquido circulante por el sistema. Para que el aislamiento del transmisor se realice correctamente, se deben cerrar las válvulas de las mangueras principales de retorno y suministro hacia el transmisor. Estas válvulas son mostradas a la altura de los extremos de la válvula de *bypass* de la Figura 14. Luego, abrir la válvula de *bypass*. Si se requiere aislar el filtro de máscara crítica, también se deben cerrar las válvulas de retorno y suministro de las mangueras de $\frac{3}{4}$ " que van hacia el filtro.
- El diseño muestra la ubicación de la válvula de purga y el visor de nivel. Estos dos dispositivos deben ser instalados en la parte más alta del diseño. Ambos dispositivos son utilizados al realizar inspecciones rutinarias y mantenimientos al sistema. La válvula de purga permite dejar salir el aire atrapado en el sistema y el visor de nivel permite verificar el nivel de agua y la cantidad de aire atrapado en el sistema.

3.5.2.2 Elaboración de la propuesta económica. La propuesta económica se elaboró siguiendo los estándares y políticas internos de la empresa Meditel Perú. En esta oportunidad, se consideraron una serie de factores para la elaboración de la propuesta económica, entre los más importantes se encuentran:

- Costo de fabricación e importación del transmisor de televisión digital ULXTE-16 y accesorios de instalación. El proveedor encargado de realizar este requerimiento es la fábrica GatesAir.
- Costo de fabricación e importación del filtro de máscara crítica y accesorios de instalación. El proveedor encargado de realizar este requerimiento es la fábrica Radio Frequency Systems (RFS).

- Costo de un kit de instalación de líneas rígidas y su importación. Se encargó este requerimiento a RFS.
- Costo de la capacitación en fábrica ubicada en EE. UU. en las instalaciones del proveedor del transmisor de televisión GatesAir.
- Costo de la capacitación local en las instalaciones del radiodifusor por un ingeniero de la fábrica del transmisor de televisión GatesAir.
- Costo de la puesta en marcha del sistema de transmisión. La puesta en marcha incluyó la inspección de la instalación por parte de un ingeniero de la fábrica GatesAir, la puesta en marcha del sistema, la verificación de los parámetros de transmisión, la calibración, entre otros servicios. En esta oportunidad, la puesta en marcha incluyó la inspección del transmisor de respaldo ULX8700IS.
- Costo del servicio de instalación del sistema por parte de un proveedor local.
- Costos adicionales derivados de un proyecto tipo llave en mano.
- Costos de los requisitos adicionales solicitados por el radiodifusor.
- Disposición de ambas partes para negociar los precios con el cliente o con los proveedores, los tiempos de entrega, los términos de garantía, entre otros puntos que pueden surgir conforme se presenten eventualidades.

Tomando en consideración los factores y requisitos mencionados, el valor de compra final fue alrededor de los 250 000 USD.

La oferta o propuesta económica realizada fue aceptada por el radiodifusor con la firma del contrato celebrado por Meditel y el radiodifusor.

3.5.2.3 Elaboración del cronograma del proyecto. Para la elaboración del cronograma se consideraron los siguientes factores:

- Disponibilidad de los recursos humanos.
- Duración de la fabricación de los equipos.
- Disponibilidad del radiodifusor.
- Duración de la capacitación y aceptación de los equipos en fábrica ubicada en U.S.A.
- Duración de la importación y trámites aduaneros de los equipos.
- Duración de la instalación del sistema.

- Duración de la puesta en marcha del sistema y de la capacitación local.

En la Tabla 1 se muestra el cronograma del proyecto a alto nivel.

Tabla 1: Cronograma del proyecto.

Actividad	Semanas																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Firma del contrato	■																							
Evaluación de las condiciones técnicas en planta		■																						
Coodinaciones técnicas con el radiodifusor y los proveedores		■	■																					
Planificación y elaboración del diseño de la solución		■	■																					
Fabricación del equipamiento				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Capacitación y aceptación en la fábrica del transmisor																■	■							
Transporte, nacionalización y trámites aduaneros																	■	■	■	■	■			
Implementación del equipamiento																					■			
Puesta en marcha y capacitación local																						■	■	
Cierre del proyecto																								■

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se visualizan las principales actividades del proyecto y sus duraciones. Se considera el inicio del proyecto con la firma del contrato, pues este es la evidencia formal de la existencia del proyecto. El cronograma fue aceptado, junto con la propuesta económica y técnica con la firma del contrato. Luego de firmado el contrato, se realiza una evaluación técnica a detalle de la caseta de transmisión del radiodifusor ubicada en el Morro Solar. Durante la evaluación técnica también se realizan coordinaciones con el radiodifusor y los proveedores que participaron en el proyecto. De forma paralela, el equipo del proyecto fue realizando la planificación del proyecto y la elaboración de los diseños utilizados en el proyecto.

La fabricación del transmisor ULXTE-16 fue la más extensa debido a su complejidad. Tuvo una duración aproximada de 12 semanas o 3 meses. Luego de culminada la fabricación del transmisor se invitó al personal del radiodifusor y de Meditel para que realicen la aceptación del equipamiento en la fábrica de Gatesair en Estados Unidos y para que reciban una capacitación sobre el equipo.

La importación del equipamiento tuvo una duración aproximada de 4 semanas. Este tiempo incluye el transporte del equipamiento desde sus lugares de origen hasta Lima Perú, la documentación requerida para el desaduanaje del equipamiento como certificados de homologación, traducciones de factura, etc. En esta etapa se coordina activamente con el agente de aduanas de Meditel.

La implementación del equipamiento inicia al culminar la entrega del equipamiento de los diferentes proveedores con los que se trabajó en este proyecto.

Culminada la instalación, se realizó una capacitación al personal del radiodifusor en Lima. La puesta en marcha al aire dependió del criterio del radiodifusor.

Se realizó el cierre del proyecto con la documentación descrita posteriormente.

3.5.3 Suministro

En esta etapa se efectuaron las adquisiciones de los recursos humanos y materiales, los cuales permitieron hacer realidad la propuesta aceptada por el cliente.

El principal objetivo de esta etapa fue proveer los recursos eficientemente en el tiempo programado y manteniendo el presupuesto asignado.

El principal proveedor de materiales, el cual es fabricante de transmisores de televisión digital de alta gama, es GatesAir, ubicado en Quincy, Illinois, EE. UU. Además, cabe señalar que se cuenta con proveedores de España, Australia y proveedores de servicios locales.

Principales proveedores:

- GatesAir (EE. UU.): Realizó la entrega del transmisor de televisión digital de 10 kW, líneas rígidas de transmisión, equipos de medición, líneas de refrigeración líquida y material adicional.
- RFS (Australia): Realizó la entrega del filtro de máscara crítica refrigerado por líquido. Compatible con el sistema de refrigeración del transmisor GatesAir.

- Proveedores de servicios locales: Comprende al proveedor encargado de la implementación del sistema de transmisión, el proveedor encargado de los servicios aduaneros y el proveedor encargado del transporte local de los equipos, entre otros.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta en esta etapa son las siguientes:

- Las cargas con los equipos descritos deben tratarse con especial cuidado debido a los componentes sensibles que contienen.
- El trámite aduanero puede dilatar el tiempo de importación más allá de lo habitual debido a la cantidad de equipos y accesorios importados. La gestión aduanera se llevó a cabo en coordinación con un agente de aduanas.
- La entrega de la totalidad del equipamiento se entregó en el local transmisor del radiodifusor ubicado en el Morro Solar de Chorrillos. Para efectuar la entrega en la caseta transmisora del radiodifusor, se contrató a un proveedor de transporte de carga pesada, el cual se encargó de la carga, transporte y descarga de los equipos empleando un camión con pluma a fin de descargarlos en el destino pactado.

3.5.4 Implementación

En esta sección se explica la secuencia y los procedimientos realizados durante la instalación del sistema de transmisión diseñado. Para ello, se añaden figuras que facilitan la descripción de los procedimientos desarrollados. Adicionalmente, se agregan comentarios con el objetivo de introducir sugerencias y observaciones.

Luego de entregar los recursos materiales y contratar los servicios de los recursos humanos, se prosiguió con la implementación del sistema de transmisión. Para la ejecución de la instalación del sistema se tuvieron en cuenta los requisitos del proyecto, el diseño aceptado por el radiodifusor, el cronograma del proyecto, el presupuesto asignado y los parámetros de calidad del entregable.

Para la ejecución de la instalación del sistema diseñado se tomaron como referencias las recomendaciones y la secuencia mostrada en el manual del proveedor GatesAir. (Gatesair, 2018).

A continuación, se describe la secuencia seguida en la instalación del sistema luego de haber culminado la etapa de suministro. Posteriormente, se procede a describir cada parte de la secuencia a detalle.

- Reconocimiento y análisis de los equipos suministrados y del material complementario del sistema. Luego de la confirmación del equipamiento a instalar, el equipo de instalación inició con la lectura de los manuales y búsqueda de información pertinente a la implementación de los equipos a instalar debido a que los manuales del transmisor y complementos son de acceso libre para los clientes de la empresa GatesAir.
- Reconocimiento por parte de todo el equipo de trabajo de la caseta de transmisión del radiodifusor y del sistema de transmisión existente.
- Instalación del gabinete del transmisor.
- Instalación del sistema de líneas de transmisión de RF, filtro de máscara crítica, *patch panel* y *switch* motorizado.
- Instalación del sistema de refrigeración líquida.
- Conexión del sistema AC del transmisor y equipos complementarios.
- Conexión de señales del transmisor y de la toma a tierra.
- Conexión del control del módulo de bombas y de red:
- Instalación de los módulos *power supplies* (PS), *phase and gain modules* (P/G) y *power amplifiers* (PA):
- Revisión final del sistema de refrigeración líquida.
- Encendido inicial de RF.

3.5.4.1 Instalación del gabinete del transmisor. Debido a que el nuevo sistema transmisor requería conservar el transmisor principal existente como respaldo, se consideró su ubicación como referencia para el nuevo sistema transmisor. El sistema existente lo componen el transmisor ULX8700, las líneas de transmisión instaladas hasta el *patch panel*, filtro de máscara crítica,

sistema de refrigeración líquida, entre otros. El transmisor de respaldo existente de 500 W quedó deshabilitado y desconectado del sistema.

- Se desinstaló y se reubicó el gabinete del transmisor de 500 W, el cual no formó parte del diseño del nuevo sistema.
- Se retiró el material de embalaje del gabinete del transmisor. Tomar en consideración los cuidados que se deben tener con el manejo de la carga, cuyo peso es de 611.5 kg según el *packing list*.
- Se inició con la ubicación del gabinete del transmisor luego de haber estudiado el diseño del sistema de transmisión, así como el paquete de diagramas proporcionados por el fabricante, el cual proporciona información a detalle acerca de las dimensiones exactas del gabinete y del material de instalación.
- Se dispuso que la ubicación del gabinete del nuevo transmisor de 10 kW al lado del transmisor de 8.7 kW, el cual operara como el transmisor de respaldo del sistema. En la ubicación del nuevo gabinete se toma en cuenta la distancia entre el conector de salida del transmisor y el *patch panel* debido a que el diseño indica la instalación de un filtro de armónicos, acoplador direccional y un reductor de 4 1/16" a 3 1/8" en el tramo de línea rígida hasta la entrada del filtro de máscara. El fabricante recomienda que el gabinete tenga una distancia mínima libre de 1 metro a cada lado y en su parte posterior. Para facilitar la operación y mantenimiento del transmisor, se recomendó tener 1.5 metros de espacio libre en la parte delantera del gabinete.
- El gabinete fue anclado al piso para evitar que, con el tiempo, este se descuadre o fuerce a las líneas rígidas.
- Se verificaron los *interlocks* del transmisor.
- Se integraron los equipos adicionales al gabinete del transmisor.
- En la Figura 15 se muestra el gabinete del transmisor luego de haber realizado la incorporación de los equipos adicionales a su gabinete. En la parte superior del gabinete se visualizan ambos excitadores XTE A (principal) y B (redundante), seguidos por la unidad de control del transmisor. Se puede ver que se ha integrado el Dual Switch Controller de la marca Dielectric que permite realizar la conmutación entre

transmisores a través del *switch* motorizado. El módulo True Average Power de la marca Bird también se encuentra integrado al gabinete del transmisor. Dicho módulo muestra la potencia de salida promedio posfiltro. La *tablet* que se encuentra integrada al gabinete permite controlar y monitorear el equipo. En la parte inferior del gabinete se encuentran los 2 bloques de amplificación de potencia del transmisor. Debido a la alta potencia de este transmisor, el gabinete de refrigeración líquida es externo.

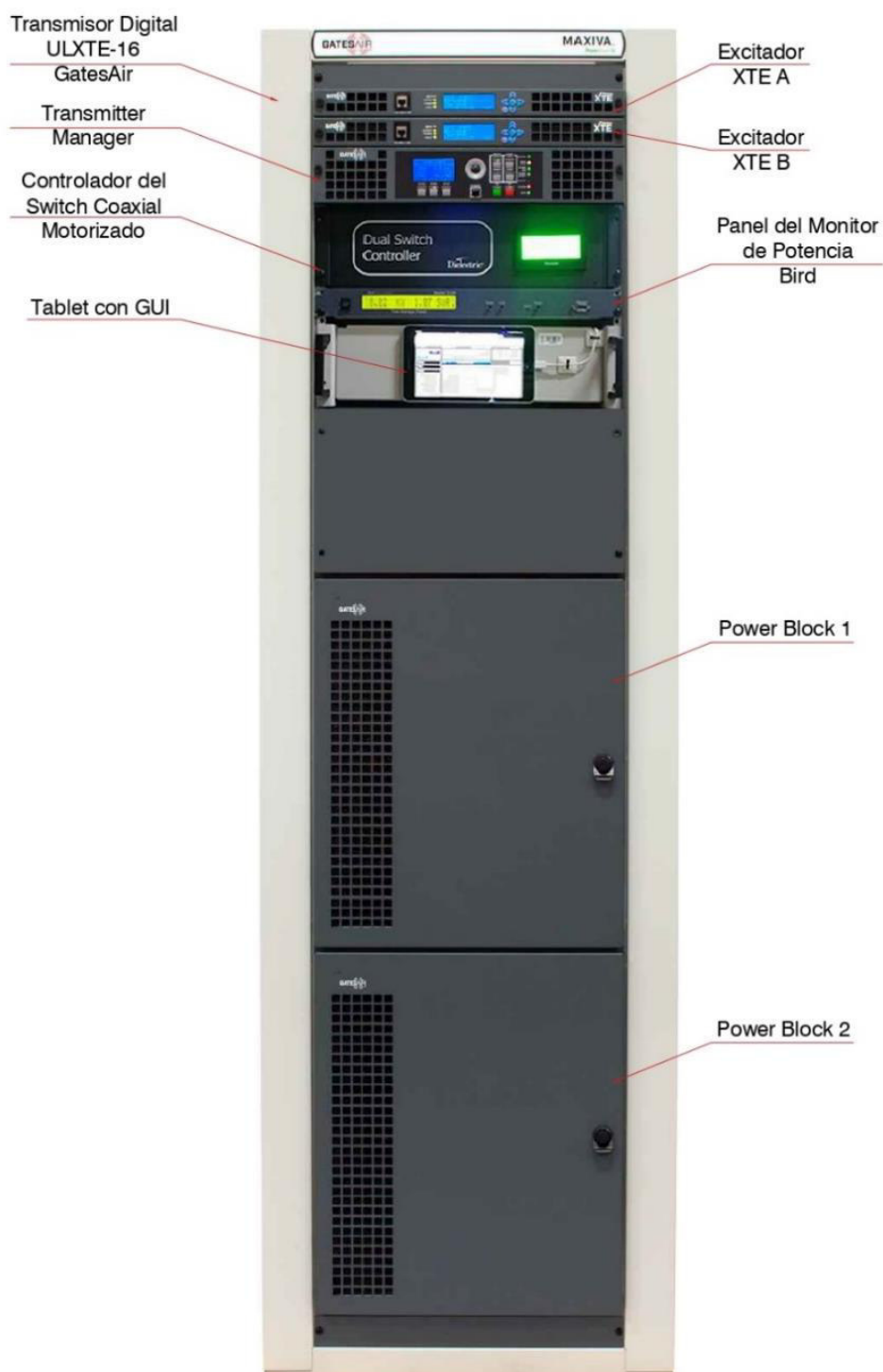


Figura 15: Transmisor UXTE-16 con equipos adicionales instalados.
 Fuente: Adaptado de Gatesair (2022) y elaboración propia.

3.5.4.2 Instalación del sistema de líneas de transmisión de RF, filtro de máscara crítica, patch panel y switch motorizado. En esta sección se

describe la etapa de instalación de las líneas rígidas del sistema. Entre la instalación de las líneas rígidas y el sistema de refrigeración se debe priorizar la instalación de las líneas rígidas primero debido a que estas deben tener la menor cantidad de codos y tramos posibles.

Durante la instalación de las líneas rígidas, se debe tomar en cuenta que una mala instalación de estas se verá reflejada al momento de realizar las pruebas finales de RF como una alta potencia reflejada.

Cada tramo de línea debe estar conectado a través de un soporte interior de línea rígida EIA denominado *inner*, el cual debe poseer las dimensiones correctas según las líneas que se quieren conectar. Para nuestro diseño se utilizaron *inners* de 4-1/16" y 3-1/8" según se requirió.

A continuación, se describe la sucesión de trabajos realizados que permitieron conectar la salida del transmisor digital con la entrada del filtro de máscara crítica utilizando líneas rígidas de 4-1/16" y 3-1/8".

- Se procedió con iniciar la instalación de las líneas rígidas que conectan desde el transmisor hasta la entrada del filtro de máscara crítica. Según el diseño del sistema, desde la salida de RF del transmisor principal hasta la entrada del filtro de máscara crítica deben estar integrados a la línea de transmisión el filtro de armónicos, seguido por el acoplador direccional prefiltro y el reductor de línea rígida de 4-1/16" a 3-1/8". Se decidió que la altura de este tramo de línea sea el mismo que la del sistema de respaldo con la finalidad de que ambos estén sujetos al mismo soporte que se encuentra anclado al techo de la caseta de transmisión. Para este tramo de utilizaron dos codos EIA *flange*. Uno de ellos es de 4-1/16" y va a la salida del transmisor después de un pequeño tramo de línea, el cual sirvió para otorgar la altura deseada a esta sección. El segundo es de 3-1/8" y va luego de un tramo de línea conectado a la salida del reductor.
- Se ubicaron en el espacio dispuesto el filtro de máscara crítica y *el patch panel* coaxial. Este último fue reutilizado adaptándolo al nuevo sistema. La ubicación final de estos elementos se confirmó luego de realizar la conexión del tramo de línea que baja del codo *unflange* de 3-1/8".

- Designada la posición final del *patch panel*, se procedió a instalar el *switch* motorizado de 4 vías. Este *switch* posee un panel de control que se instala en el gabinete del transmisor principal. Una vez montado el *switch*, solo quedó pendiente la instalación de su cable de energía y su cable de comunicación con su panel de control, lo que se realizará una vez culminada la instalación de las líneas de transmisión. Las 4 vías del *switch* motorizado mostrado en la Figura 6 están destinadas para el transmisor principal, el transmisor de respaldo, la carga y la salida del sistema hacia el sistema radiante.
- Siguiendo el diseño, se conectó la salida del filtro de máscara crítica del transmisor principal al acoplador direccional prefiltro. Este, mediante un tramo de línea rígida de 3-1/8", se conecta a un codo *unflange* de 3-1/8", el cual se conecta, utilizando un tramo de línea rígida, a la vía asignada del *switch* motorizado.
- Se adaptó la salida del filtro de máscara crítica del transmisor de respaldo para conectarse a la vía asignada del *switch* motorizado, su posición es opuesta a la del transmisor principal. Debido a que las líneas del sistema de respaldo son de 3-1/8" EIA y que estas se mantienen en sus posiciones originales, no se requirieron realizar cambios adicionales en su estructura.
- La carga fantasma existente se reutilizó en el nuevo sistema. Esta carga también posee un conector 3-1/8" EIA, por lo que su conexión, mediante un tramo de línea rígida y un codo de las mismas dimensiones, a la vía asignada del *switch* motorizado mostrada en el diseño del sistema.
- La última vía del *switch* motorizado está asignada a la salida de potencia del sistema transmisor hacia el sistema radiante, Esta vía se encuentra en la posición opuesta a la carga fantasma como se muestra en el diseño. No se modificó el sistema radiante existente debido a que está fuera del alcance del proyecto. La adaptación que se realizó en la salida hacia el sistema radiante es la conexión al *switch* motorizado y la integración de un monitor de potencia de la marca Bird. El panel de este control también es instalado en el gabinete del transmisor principal. La instalación del monitor de potencia en la línea rígida es similar a un

acoplador direccional *unflange*. Adicionalmente, se instalaron los cables de comunicación y alarmas hacia el panel del equipo.

3.5.4.3 Instalación del sistema de refrigeración líquida. Al culminar la instalación de las líneas rígidas del sistema de transmisión, se procedió a iniciar la instalación del sistema de refrigeración líquida.

El sistema de refrigeración líquida del nuevo sistema de transmisión es similar al sistema de refrigeración líquida del sistema de transmisión de respaldo. Los equipos que componen este sistema fueron descritos en la etapa de diseño del presente informe. A continuación, se procede a describir la secuencia de instalación utilizada con este sistema:

- Instalación del intercambiador de calor (Gatesair, 2014).
 - Se realizó la revisión del diseño y características del intercambiador de calor por parte de todo el equipo de trabajo.
 - Se inspeccionó el equipamiento y accesorios recibidos para descartar alguna parte dañada.
 - Se verificó en la válvula Schrader que el interior del equipo esté presurizado a 10 psi. Este procedimiento se realizó para verificar la existencia de fugas en el interior del equipo.
 - Se procedió a ubicar el intercambiador de calor en la parte trasera de la caseta. Se minimizó la distancia del intercambiador de calor con el resto del sistema de refrigeración con la finalidad de utilizar menos material y controlar eficientemente la circulación y presión del sistema.
 - Luego de determinar la ubicación final del intercambiador, se procedió a asegurarlo a través de una estructura metálica soportada en la pared y la estructura del intercambiador de calor del sistema de respaldo.
 - Una vez ubicado y asegurado el intercambiador de calor, se procedió a realizar las conexiones de plomería. Se comenzó aflojando las tapas del equipo de entrada y salida.
 - El teflón y el sellador que se proporcionaron como accesorios de instalación del sistema de refrigeración se utilizarán en cada unión que se realice en las conexiones de plomería.

- Se toma la recomendación del fabricante como la forma correcta de aplicación de estos materiales, la cual es aplicar, con tensión, hasta cinco vueltas de teflón en la parte roscada macho de la unión, luego aplicar el sellador generosamente y proceder a realizar la instalación de los accesorios roscados.
- Fijar los codos a los terminales de entrada y salida en posición vertical para facilitar la instalación del sistema de mangueras. Tener cuidado con la fuerza aplicada para fijar estos accesorios debido a que puede dañarse la estructura del equipo.
- El conexionado eléctrico será revisado en el siguiente apartado en conjunto con el conexionado de los demás equipos.
- Instalación del módulo de bombas.
 - Se revisó la documentación enviada por fábrica acerca de las consideraciones para realizar la instalación del módulo y sus especificaciones técnicas con todo el equipo de trabajo.
 - El módulo de bombas está diseñado para ser instalado en interiores y lo más próximo al transmisor. Por otro lado, la ubicación final del módulo no debe estar expuesta a altas temperaturas, vibraciones, choques con objetos o personas, aire salino, agua o gases corrosivos. Se debe tener en cuenta que la parte frontal del módulo debe tener un espacio de 1 metro de espacio libre para facilitar su operación a través del panel de control frontal.
 - Según el manual de instalación del equipo (Gatesair, 2018), la temperatura de operación del módulo de bombas está entre los -33 y +50 °C; mientras que la humedad relativa está entre los 5 y 95 % sin condensación.
 - Luego de haber dispuesto su posición final, el panel de bombas fue anclado al piso.
 - El conexionado eléctrico será descrito posteriormente.
- Instalación del sistema de mangueras y los accesorios del diseño.
 - Una vez ubicados el intercambiador de calor y el módulo de bombas, se inició con la instalación del sistema de mangueras y los demás

dispositivos que completan el sistema de refrigeración según el diseño propuesto.

- Se realizó la medición de las longitudes de los tramos de manguera que se utilizará. Se verificó el recorrido del líquido hasta cerrar el sistema.
- Se recomienda cortar la manguera con una cuchilla para tener los mínimos residuos de realizar esta operación.
- Los extremos de las mangueras deben estar cubiertos mientras se esté trabajando para evitar que se filtren impurezas en su interior.
- Se procedió a conectar las mangueras a los dispositivos y equipos según el diseño propuesto. Tener en cuenta todos los manómetros que contiene el diseño, así como las válvulas, válvula de purga y demás accesorios.
- Se toma en cuenta las consideraciones sobre el uso del teflón y el sellador mencionadas anteriormente.
- Entre el transmisor y el módulo de bombas existe una pieza en forma de 'H', la cual permite aislar al transmisor del sistema de refrigeración. Esta pieza incluye dos válvulas que aislarán el gabinete del transmisor del flujo del refrigerante, una válvula de *bypass*, un visor del nivel del líquido y una salida de aire. Adicionalmente, posee dos apéndices por los cuales se aprovecha el flujo del refrigerante para suministrar el líquido al filtro de máscara crítica en sentido de ida y vuelta.
- Culminada la instalación del sistema de mangueras de la ruta principal del líquido y sus accesorios, se procedió a instalar las mangueras de $\frac{3}{4}$ " del filtro de máscara crítica. Se toma en cuenta la dirección del flujo del líquido para la instalación de estas mangueras.
- Instalación del conexionado AC de los equipos.
 Los equipos fueron enviados con la capacidad de conectarse a una red de 208 – 240 V trifásico delta, la cual es la que dispone el radiodifusor. El módulo de bombas contiene al panel de control que posee los dos inversores de las bombas y los dos inversores de cada ventilador del intercambiador de calor. Para realizar este conexionado, se utilizó el

diagrama enviado por fábrica debido a que no se requirieron mayores cambios.

A continuación, se describirán los conexiones AC del módulo de bombas y del intercambiador de calor (Gatesair, 2018):

- Se inició con el conexionado AC del módulo de bombas. En el diagrama suministrado por el fabricante, se muestra el conexionado del módulo de bombas, en el cual se detalla la configuración de los jumpers del quipo. Esta configuración permite que la energía de la red eléctrica de la caseta de transmisión sea suministrada correctamente a través del módulo de bombas.
- Para seguir la configuración 208 – 240 V, trifásica delta, se requiere posicionar los 3 jumpers como se muestra en el diagrama enviado por el fabricante. Luego de posicionar los jumpers, se procedió a realizar la conexión eléctrica de entrada al módulo de bombas como es mostrado en el diagrama de fábrica.
- Se conectó la puesta a tierra del módulo de bombas a la toma de tierra del radiodifusor para evitar descargas eléctricas o daños en el equipo.
- Luego de realizar estas conexiones, se procedió con la instalación y conexión del cableado AC entre el módulo de bombas y el intercambiador de calor siguiendo el diagrama eléctrico suministrado por el radiodifusor. Se usan cables eléctricos independientes entre los inversores y ventiladores del intercambiador de calor.
- Luego de culminar con el cableado AC del intercambiador de calor, se procedió a probar por un momento la rotación de los ventiladores. Estos deben coincidir con la flecha indicada en la cubierta del ventilador. Si los ventiladores giran en sentido opuesto a la flecha, se deben invertir las dos líneas AC del ventilador. Se puede acceder a estas líneas desmontando el panel frontal del módulo de bombas.
- Se procedió a conectar el cable de control y estado entre el panel de control del módulo de bombas y el transmisor ULXTE-16. Este cable permite establecer la comunicación entre el módulo y el transmisor

para controlar y verificar remotamente el estado del sistema de refrigeración a través de la interfaz del transmisor.

- Carga del sistema de refrigeración líquida con líquido por primera vez.
Una vez instalado el sistema de refrigeración, se procedió con la primera carga del sistema, esta debe realizarse con agua pura. Se deben repetir los pasos descritos a continuación hasta obtener agua limpia en el drenaje del sistema. Una vez limpio el sistema, se procedió a llenar el sistema con el líquido refrigerante, el cual debe ser una mistura compuesta por 50 % agua destilada y 50 % glicol, según la recomendación del fabricante.

A continuación, se describe la secuencia utilizada en la instalación del sistema de refrigeración tomando como base las recomendaciones del fabricante (Gatesair, 2018) y el diseño del sistema de refrigeración líquida mostrado en la Figura 14:

- Se comprobó la presión del aire del tanque de expansión. Se puede medir con un manómetro a través de la válvula Schrader ubicada en el tanque. Esta presión debe ser de 12 psi; caso contrario, se debe adicionar o dejar salir aire hasta lograr la presión deseada.
- Se abrieron las ventilaciones de purga ubicadas en la parte superior del sistema de mangueras en la pieza en forma de 'H' y en el módulo de bombas. Esto permitió que el aire que se encuentra atrapado dentro del sistema pueda ser expulsado.
- Debido a que se debe evitar que el líquido sucio circule por el transmisor y el filtro de máscara, se procedió a cerrar las válvulas de suministro y retorno en el dispositivo que permite realizar el *bypass* del transmisor, se abre la válvula de *bypass* y, por último, se cierran las válvulas que derivan el líquido al filtro de máscara crítica. Con este procedimiento se aislaron el transmisor y el filtro de máscara del líquido hasta que el sistema esté limpio.
- El procedimiento realizado requirió de una bomba de carga externa, la cual se utilizará para hacer circular el líquido por el sistema sin utilizar las bombas principales. En la Figura 16 se muestra la bomba de carga del radiodifusor, la cual fue utilizada en este procedimiento.

Debido a que se está describiendo la primera carga del sistema, se utiliza agua hasta que se limpie el sistema. El procedimiento para cargar el sistema con líquido se describe a continuación:



Figura 16: Bomba de carga. Fuente: Elaboración propia.

- Se verificó que los módulos de amplificación de potencia del transmisor se hayan removido del gabinete del transmisor.
- Se conectó la manguera entre la salida de la bomba de carga y el puerto de llenado del módulo de bombas.
- Se conectó otra manguera en la entrada de la bomba de carga y el otro extremo en el recipiente que contiene el líquido.
- Se conectó una manguera entre el puerto de drenaje del módulo de bombas, el cual se encuentra al lado del filtro mencionado anteriormente, y el otro extremo en el recipiente que contiene el líquido.
- Se procedió a abrir los puertos de llenado y drenaje.
- Se cerró la válvula de entrada de la bomba B y se mantuvo abierta la válvula de entrada de la bomba A.

- Se encendió la bomba de carga. La bomba empieza a operar automáticamente hasta que la presión del sistema llegue a 35 psi, momento en el que entrará en estado de espera.
- Se procedió a verificar la salida de la manguera del puerto de drenaje del módulo de bombas. Inicialmente se observó aire, posteriormente, aire con líquido, y se culmina observando un chorro de líquido sólido. Dejar operando la bomba de carga unos minutos.
- Se cerró el puerto de drenaje del módulo de bombas.
- Se procedió a abrir la válvula de la entrada de la bomba B.
- Se dejó operando la bomba de carga hasta que los manómetros lleguen a 35 psi. Una vez que se llegó a la presión mencionada, la bomba de carga se apagará automáticamente. La bomba de carga se dejó enchufada hasta culminar con el procedimiento.
- Se procedió a encender la bomba A por un momento. Se revisó que la dirección del giro de las aletas de la bomba coincida con la flecha indicada en la cubierta de la bomba. Se repitió el procedimiento con la bomba B.
- Se volvió a encender la bomba A y se verificaron los manómetros de entrada y salida. La presión debe ser mayor a 12 psi. Se dejó operando durante unos 30 minutos.
- Se repitió el procedimiento para la bomba B.
- Si es la primera vez que se carga el sistema, el líquido usado debe ser agua. Repetir el procedimiento hasta conseguir agua limpia. Una vez limpio el sistema, se procedió a llenar el sistema con el líquido refrigerante, para lo cual se repitieron los pasos descritos en este procedimiento.
- Luego de cargar el sistema con el líquido refrigerante, se debe mantener el sistema en observación por varias horas. Se observó la mirilla ubicada en la parte superior del sistema verificando que no contenga aire.
- Luego de varias horas operando el sistema, se cerraron los respiraderos del sistema.

- Se restableció el flujo a través del transmisor mediante de las válvulas del *bypass*. Se abrieron las válvulas a través del filtro de máscara.
- Se cerraron los puertos de llenado y drenaje. Se retiró la bomba de carga y sus mangueras para culminar con el procedimiento.

3.5.4.4 Conexión del sistema AC del transmisor y equipos complementarios. Las características de la red eléctrica de la caseta deben ser especificadas al momento de realizar el pedido de los equipos debido a que estos deben ser fabricados siguiendo la configuración solicitada por el cliente. Esta información fue recaudada al inicio del proyecto en la etapa de levantamiento de información de la caseta de transmisión.

Los equipos fueron fabricados siguiendo la configuración 208 – 240 VAC, trifásico, delta, por lo que se siguió el diseño y secuencia de instalación en base a esta configuración.

El diagrama detallado fue enviado por el fabricante al radiodifusor y el mismo no requiere adaptaciones de diseño.

Se siguió la siguiente secuencia recomendada por el fabricante (Gatesair, 2018) para realizar el conexión eléctrico del transmisor y equipos complementarios:

- Se retiró la cubierta del panel de distribución AC del transmisor. A continuación, se verificó que el transmisor haya sido enviado con la configuración solicitada según el diagrama suministrado por el fabricante.
- Se instaló el cable de energía de la red del radiodifusor en el distribuidor AC del transmisor, el cual distribuye la corriente eléctrica entre los bloques de amplificación, los excitadores y la unidad de control del transmisor.
- Antes de instalar los módulos de amplificación de potencia y las fuentes de alimentación, se cerraron las llaves y se debe verificar que el voltaje en las llaves sea el correcto.
- Se abren las llaves nuevamente y se procede a colocar la cubierta del panel de distribución AC del transmisor.

3.5.4.5 Conexión de señales y de la toma a tierra. En la presente sección se describe la secuencia de las conexiones que complementan la instalación como las señales de entrada a los excitadores, la señal de GPS, la puesta a tierra, entre otras importantes conexiones que deben realizarse para que el sistema opere correctamente.

- Se realizaron las conexiones de las señales de BTS a los excitadores. Para realizar las conexiones correctamente, previamente se verificaron los tipos de señales que aceptan los excitadores.
- El equipo posee adaptadores de BNC-HD a BNC hembra que son colocados en las entradas TS1 y TS2, así como en la señal de monitoreo (TS MON OUT). Por otro lado, los excitadores tienen la capacidad de recibir señales TSolP, a través de las cuales se pueden enviar señales de BTS mediante un cable de red a las entradas TSOIP1 y TSOIP2.
- Depende del radiodifusor conectar las señales que crea conveniente. Estas 4 señales de entrada se pueden utilizar de manera redundante, por lo que es recomendable ingresar señales de fuentes distintas.
- En el material de instalación del equipo se incluyeron dos kits para instalar dos antenas GPS, una por cada excitador. Las antenas GPS fueron instaladas en el techo de la caseta y se conectan mediante los cables suministrados en las entradas GPS ANT de cada excitador.
- Las siguientes señales por conectar en la unidad de control del transmisor son las muestras de potencias directa y reflejada. Estas señales están nombradas como SYS FWD y SYS REFLD, respectivamente, en el diagrama enviado por el fabricante y en la unidad de control del transmisor. Estas señales se instalaron con cables RF que conectan al acoplador direccional posfiltro y la unidad de control, como se muestra en el diagrama. Los cables utilizados para realizar estas conexiones se fabricaron a la medida durante la instalación. Luego de conectar estas señales, se aseguraron con cintillos a la línea rígida.
- Las siguientes conexiones por describir son las señales PRE FLTR RTAC y POS FLTR RTAC, las cuales se encuentran indicadas en la parte posterior de ambos excitadores. Las conexiones a ambos

excitadores se realizaron a través de dos *splitters* de Real Time Adaptive Correction (RTAC), los cuales se encontraron dentro del gabinete del transmisor en la parte superior del mismo. Luego, se conectaron las señales de RTAC a los *splitters* desde los acopladores direccionales pre- y posfiltro, siguiendo los puertos indicados hasta las entradas de ambos *splitters*. Se debe tener en cuenta que el diagrama indica que se debe conectar el atenuador de 20 dB en la entrada de ambos *splitters*.

- En los accesorios de instalación suministrados al radiodifusor se incluyó un rollo de cobre tipo correa, el cual fue utilizado para conectar el gabinete del transmisor, módulo de bombas e intercambiador de calor a la toma a tierra de la estación del radiodifusor. El fabricante recomienda soldar la conexión a tierra y empalmes, si fuera el caso. Las dimensiones del rollo de cobre que recomienda el fabricante son de por lo menos 5 cm de ancho y 0.5 mm de grosor. El conector de toma a tierra del transmisor se encuentra ubicado en la parte superior del gabinete.

3.5.4.6 Conexión del control del módulo de bombas y de red

- El módulo de bombas se conectó al gabinete del transmisor a través de un cable de comunicación serial ubicado en la parte superior del gabinete. Debido a que el transmisor solo posee un gabinete, se utilizó el conector nombrado como J5.
- Los excitadores y la unidad de control del transmisor poseen conectores RJ45 ubicados en la parte frontal de estos. Los conectores RJ45 frontales solo deben utilizarse para conexiones locales. Los excitadores se comunican internamente con la unidad de control del transmisor a través de la GUI de este, por lo que es posible acceder a los excitadores a través de la unidad de control.
- Los excitadores están conectados a la unidad de control a través del puerto WAN de estos hasta los puertos EXC A y EXC B. El puerto WAN de la unidad de control debe conectarse a la red del radiodifusor para que sea posible el acceso remoto.

- El transmisor también posee la opción de acceder a través de un *access point* conectado en el interior del gabinete al puerto WAP de la unidad de control. Las credenciales fueron proporcionadas al radiodifusor.

3.5.4.7 Instalación de los módulos *power supplies (PS)*, *phase and gain modules (P/G)* y *power amplifiers (PA)*. El transmisor posee 16 módulos de amplificación de potencia, 16 fuentes de alimentación independientes y 4 módulos de fase y ganancia que deben ser instalados luego de haber culminado con los pasos descritos anteriormente. A continuación, se describe la secuencia realizada para instalar los módulos mencionados teniendo como referencia la secuencia recomendada por fábrica (Gatesair, 2018):

- Se aseguró que todo el gabinete del transmisor se encuentre desenergizado.
- Se retiró el embalaje o protección de los conectores de todos los módulos y se verificó que los conectores del gabinete no se encuentren dañados. En la Figura 17 se muestran internamente los bloques de amplificación del transmisor instalados en el primer bloque de amplificación de potencia. El modelo del transmisor posee dos bloques de amplificación de potencia iguales.

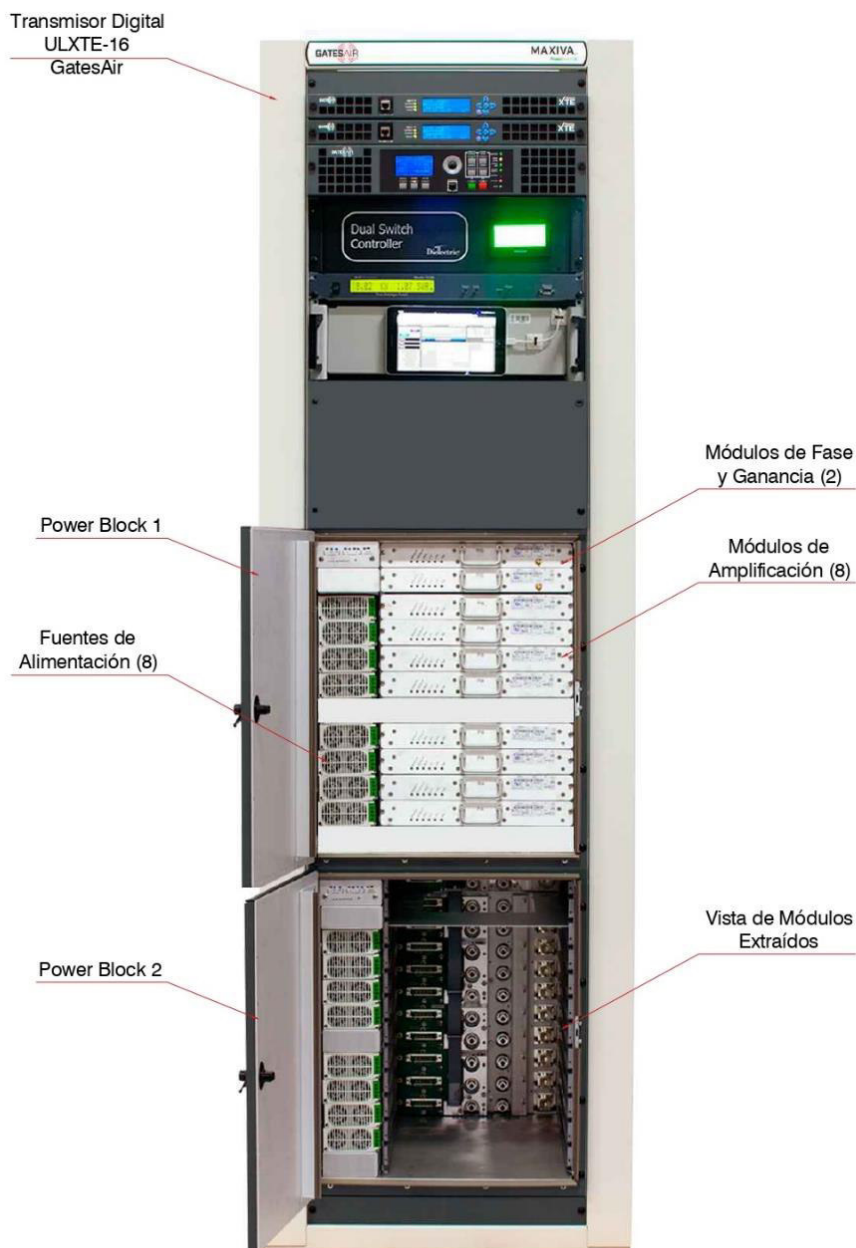


Figura 17: Transmisor ULXTE-16 con vista interior a los gabinetes de potencia. Fuente: Adaptado de Gatesair (2022) y elaboración propia.

- La recomendación de fábrica es instalar todos los módulos en las mismas posiciones con las que fueron testeados por el fabricante. Esta información se encuentra detallada en el *test data* enviado al radiodifusor.
- Al instalar los módulos, no se debe aplicar excesiva fuerza debido a que puede dañar el conector trasero del gabinete. Luego de instalar los

módulos de amplificación de potencia y los módulos de fase y ganancia, se fijaron con los tornillos suministrados.

- Los módulos de las fuentes de alimentación se pueden instalar indistintamente, por lo que no es necesario seguir el orden de testeo de fábrica.

3.5.4.8 Revisión final del sistema de refrigeración líquida. Luego de instalar todos los módulos de cada bloque de amplificación de potencia, se procedió a realizar una verificación final de la operación del sistema de refrigeración líquida. Esta verificación debe realizarse antes del encendido inicial de RF del transmisor.

Se energizó el gabinete del transmisor para realizar la revisión final, pero manteniendo desenergizados los excitadores. Con la finalidad de verificar los parámetros del transmisor y del sistema de refrigeración durante las pruebas, se sugiere conectar una computadora al puerto frontal de la unidad de control del transmisor ingresando la dirección IP 192.168.117.88 en el URL del navegador (esta IP es fija). También se deben verificar que todas las válvulas de drenaje y suministro del sistema se encuentren cerradas. Por último, antes de seguir con el procedimiento, se debe verificar que la presión estática, con las bombas apagadas, del sistema esté entre 10 y 15 psi.

- Se verificó que los niveles de flujo del sistema de refrigeración se encuentren dentro de los niveles sugeridos por fábrica según el número de módulos que posee el modelo del transmisor.
- Otro punto crítico verificado es la conmutación de las bombas a través de la GUI del transmisor. Esta debe realizarse para verificar el correcto funcionamiento de las bombas del módulo y del sistema de conmutación.

3.5.4.9 Encendido inicial de RF. En la propuesta enviada al radiodifusor se incluyó la visita de un ingeniero de la fábrica GatesAir a su caseta de transmisión para realizar la inspección final del sistema y el encendido inicial de RF de este. El ingeniero de GatesAir también se encargó de realizar la capacitación de los ingenieros del radiodifusor. En esta capacitación les mostró la operación del equipamiento suministrado, realizó recomendaciones

acerca de la operación habitual y los mantenimientos y resolvió las dudas del personal presente.

A continuación, se procede a describir la secuencia para realizar el encendido inicial de RF del sistema de transmisión instalado. Dicha secuencia toma como base lo recomendado por el fabricante (Gatesair, 2018):

- El encendido inicial se realizó con la salida del sistema conectado a la carga. Se verificó a través del panel del *switch* coaxial motorizado que el transmisor principal se encuentre conectado a la carga y el transmisor de respaldo se encuentre conectado al sistema radiante.
- Se cerraron las llaves eléctricas del gabinete del transmisor, excitadores y las correspondientes al módulo de bombas.
- Se deshabilitó el modo remoto del transmisor a través del panel frontal y se procede a conectar una laptop en el puerto de red frontal de la unidad de control. Para acceder a la GUI del equipo se requiere un navegador web e ingresar la dirección IP 192.168.117.88.
- El radiodifusor configuró las opciones de red del transmisor para que sea posible el acceso remoto a través de la red de este. Esta configuración se realizó a través de la GUI del transmisor.
- Por recomendación de fábrica, la primera vez que el transmisor opera con RF debe iniciar desde 0 W. Para configurar rápidamente el nivel de RF de salida del transmisor a 0 W se presionan, al mismo tiempo, los botones *Power* y *Lower* ubicados en el panel frontal de la unidad de control.
- Se debe deshabilitar la opción RTAC de ambos excitadores a través de la interfaz del transmisor.
- Para activar la transmisión de RF del transmisor, se presiona el botón *On* del panel de control de la parte frontal de la unidad de control. Debido a que previamente configuramos la potencia de salida en 0 W, se procede a presionar el botón *Raise* hasta llegar lentamente a 2500 W. Al llegar a esa potencia, se verifica el estado del transmisor. La potencia reflejada no debe superar el 4 %. Si la potencia reflejada es superior al 4 %, es muy probable que el problema se encuentre en las líneas de transmisión.

- Puesto que todos los parámetros y alarmas del transmisor indicaron un buen funcionamiento de este, se procedió a seguir aumentando la potencia de RF mediante el botón *Raise*. La potencia máxima de transmisión del transmisor es de 10.7 kW aproximadamente, pero, a pedido del radiodifusor, el transmisor se calibró en fábrica a 10 kW, por lo que se considera esa potencia de salida al realizar el presente procedimiento en carga. Al llegar a la potencia de calibración, se compararon las métricas mostradas por el transmisor con las enviadas desde fábrica en el *test data* entregado al radiodifusor. Se compararon con mayor rigurosidad las lecturas de corriente y voltaje de los módulos de amplificación de potencia del transmisor.
- Se ejecutó una última revisión de las conexiones de RTAC realizadas entre los acopladores direccionales y los excitadores del transmisor. La señal enviada al transmisor desde el acoplador prefiltro es la muestra no lineal; mientras que, la señal enviada desde el acoplador direccional posfiltro es la muestra lineal. Adicionalmente, se verificó que los atenuadores indicados en el diagrama se encuentren correctamente instalados. Una vez realizada esta revisión, se procedió a activar la función RTAC en ambos excitadores y a verificar los valores mostrados en la interfaz de la unidad de control. En este punto se procedió a verificar valores como el MER y la relación señal ruido con el *test data*.
- Manteniendo la potencia de transmisión de 10 kW, se procedió a realizar la calibración del sistema a través de la pantalla LCD de la unidad de control. Luego de realizar la calibración, se procedió a grabar la configuración del transmisor a través de su interfaz.
- Se dejó el transmisor operando por unas horas en carga. Luego, se procedió a revisar las lecturas mostradas por su interfaz y se compararon con el *test data*. Luego de verificar que las lecturas se mantuvieron, se procedió a realizar las pruebas al aire a través del sistema radiante del radiodifusor. Para realizar la conmutación se utiliza el *switch* coaxial motorizado instalado. Las potencias de ambos transmisores deben ser de 0 W al momento de realizar la conmutación.

3.5.5 Cierre

El cierre del proyecto es la etapa final del proyecto, la cual incluye la documentación necesaria para dar por culminado el proyecto a nivel administrativo. Uno de los requisitos para dar por culminado el proyecto fue que el entregable final se encuentre debidamente validado por el radiodifusor. Para gestionar la validación del entregable del proyecto, se requirió, principalmente, que se hayan cumplido con los requisitos del proyecto y del entregable que fueron acordados con el radiodifusor al inicio del proyecto.

A continuación, se presentarán los principales indicadores obtenidos luego de haber culminado con las pruebas finales del sistema instalado. Los indicadores obtenidos se relacionan con el cumplimiento de los requisitos acordados previamente con el radiodifusor.

- Se cumplió satisfactoriamente con el tiempo de entrega acordado al inicio del proyecto, así como el cumplimiento con la propuesta económica y técnica.
- Se utilizó el sistema del transmisor ULX8700IS como respaldo del sistema del transmisor ULXTE-16 suministrado. Los sistemas se encuentran acoplados a través de un *switch* coaxial motorizado que permite la conmutación entre estos.
- El nuevo sistema cumple con la normativa nacional de televisión digital terrestre, la cual es el estándar ISDB-Tb.
- El sistema de refrigeración instalado es de refrigeración líquida a través de un módulo de bombas externo.
- El transmisor principal posee dos excitadores redundantes.
- El transmisor acepta los tipos de señal solicitados por el radiodifusor: 2 ASI y 2 TSOIP.
- Debido a la tecnología utilizada por el transmisor, este posee una eficiencia AC/RF superior a 40 %.
- Se comprobó el correcto funcionamiento de las conmutaciones entre transmisores, excitadores, módulos de fase y ganancia, bombas, así como el reemplazo en caliente de las fuentes de alimentación y los módulos de amplificación.

- Se analizaron los parámetros de transmisión del nuevo sistema, identificándose que están dentro de lo esperado para su correcto funcionamiento.

3.6 Resultado de la actividad

Los procedimientos descritos previamente permitieron cubrir satisfactoriamente los requerimientos del radiodifusor. Se logró instalar un sistema de transmisión de televisión digital cumpliendo con la normativa de transmisión peruana y con las características solicitadas por el cliente, entre las cuales destacan el aumento de la capacidad máxima de transmisión a 10 kW, redundancia en puntos críticos del sistema de transmisión, incremento de la eficiencia entre la energía consumida y la energía transmitida, entre otras importantes características.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

4.1 Justificación

Debido a que el cliente radiodifusor se encontró en la necesidad de realizar una mejora tecnológica en su sistema de transmisión con la finalidad de mejorar su potencia de transmisión, confiabilidad, redundancia, eficiencia energética, entre otros beneficios, se realizó el diseño e instalación de un nuevo sistema de transmisión acorde a sus nuevas necesidades y al avance tecnológico actual. Este proyecto también benefició a los televidentes del radiodifusor debido a que permite que su señal llegue gratuitamente a un sector más extenso de la ciudad.

4.2 Metodología aplicada

4.2.1 Evaluación técnica

4.2.1.1 Evaluación del sistema de transmisión principal. El transmisor instalado en el nuevo sistema de transmisión del radiodifusor de la marca GatesAir, modelo ULXTE-16 posee una Graphical User Interface (GUI) mediante la cual el operador puede controlar y monitorear el estado general del transmisor.

En la Figura 18 se visualiza la pantalla principal de la GUI del *transmitter manager*. La pantalla muestra en la parte central un diagrama de bloques de la composición del transmisor desde los excitadores redundantes hasta la

salida al sistema radiante. En el diagrama se evidencia la existencia de dos excitadores, de los cuales el excitador A se encuentra al aire. El color verde de los diferentes bloques del diagrama indica que no existe ninguna alarma o avería en el sistema. En la parte superior de la pantalla se monitorea la potencia directa y reflejada muestreadas por los acopladores direccionales instalados en el sistema de transmisión. Por decisión del radiodifusor, la potencia de transmisión seteada es de 7.7 kW. La esquina superior derecha de la pantalla muestra un resumen del estado de las diferentes partes del sistema. Finalmente, el estado de color verde también indica que no existen alarmas ni averías.

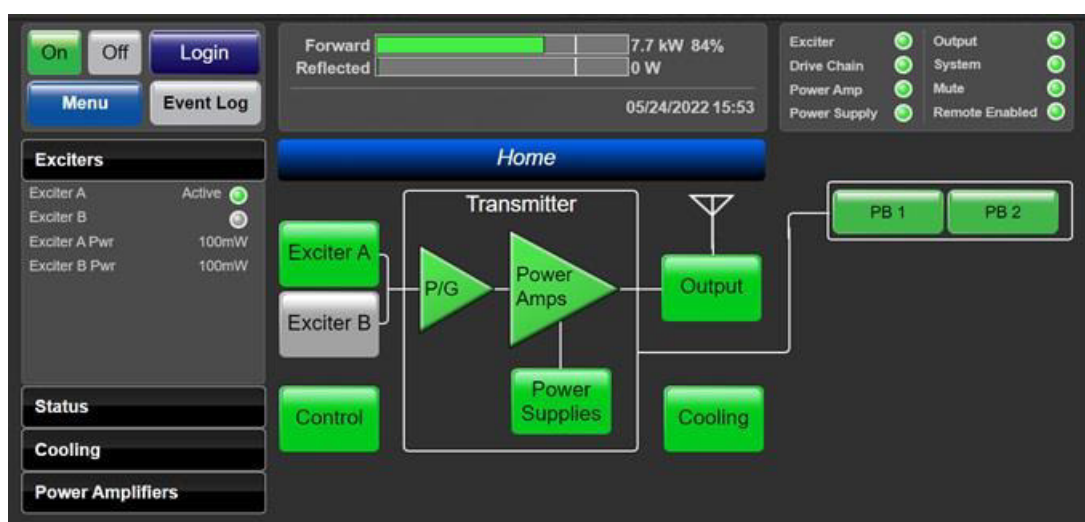


Figura 18: Interfaz del transmisor ULXTE-16: Pantalla principal. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del transmisor ULXTE-16.

En la Tabla 2 se muestra un resumen del estado del primer bloque de amplificación de potencia. En la pantalla se muestra la potencia directa y reflejada a nivel del primer bloque de amplificación. La potencia directa que entrega el bloque es de 4.34 kW; mientras que, la potencia reflejada detectada en el primer bloque es de 11 W. La potencia reflejada del bloque de amplificación se direcciona a la carga de rechazo del transmisor. El estado del

segundo bloque de amplificación de potencia del transmisor también se muestra en la Tabla 2 y posee el mismo estado del primer bloque con algunas variaciones en las potencias directa y reflejada, las cuales son 3.95 kW y 16 W, respectivamente.

Tabla 2: Lecturas de operación de los bloques de potencia 1 y 2 del transmisor ULXE-16.

Parámetro	Bloque de potencia 1	Bloque de potencia 2
Potencia directa	4.34 kW	3.95 kW
Potencia reflejada	11 W	16 W
VSWR	1.11:1	1.14:1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestra el detalle del estado de los 8 amplificadores de potencia que posee cada bloque de amplificación. Cabe señalar que en total son 16 amplificadores de potencia. La pantalla muestra la potencia que entrega cada amplificador, el voltaje y corriente que consumen para entregar dicha potencia y la temperatura de operación en la que se encuentran. Esta pantalla permite realizar una revisión rápida del estado general de los amplificadores con la finalidad de encontrar averías. En el caso de las pantallas mostradas, todos los valores se encuentran dentro de lo esperado.

Tabla 3: Lecturas de operación de los amplificadores de potencia del transmisor ULXTE-16.

Módulo PA	Lectura de los PA del PB 1				Lectura de los PA del PB 2			
	Pot. de salida (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	T (°C)	Pot. de salida (W)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	T (°C)
PA 1	550	48	25.8	50.5	540	48	26.1	51.5
PA 2	500	48	24	48.2	507	48	25.2	52.3
PA 3	576	48	26.4	51.3	511	48	24.3	52.6
PA 4	521	48	23.9	49.4	517	48	24.6	55.9
PA 5	587	48	27	55.1	561	48	27.2	54.8
PA 6	558	48	25.2	56.3	534	48	26.9	54.1
PA 7	542	48	25.5	55.6	574	48	26.9	54.8
PA 8	611	48	27.9	51.8	573	48	26.8	51.5

Fuente: Elaboración propia.

Cada amplificador posee una fuente de alimentación independiente que cumple la función de entregar la energía eléctrica suficiente para su operación. En la Tabla 4 se muestra el estado de las fuentes asociadas a los amplificadores de ambos bloques de amplificación. Las fuentes de alimentación mostradas también son 16 en total, 8 para cada bloque de amplificación. Las pantallas muestran el voltaje entregado por cada fuente de alimentación a cada amplificador, la corriente entregada, el estado del fusible, el voltaje alterno de entrada y el estado de los 5 V de cada fuente de alimentación, el cual es utilizado como señal de control.

Tabla 4: Lecturas de operación de las fuentes de alimentación del transmisor ULXTE-16.

Módulo PS	Lectura de los módulos PS del PB 1				Lectura de los módulos PS del PB 2			
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Fusible	AC (VAC)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Fusible	AC (VAC)
PS 1	48	27.1	OK	218	48	26.4	OK	216
PS 2	48	24.1	OK	219	48	26.3	OK	216.5
PS 3	48	26.9	OK	217	48	24.6	OK	219
PS 4	48	24.5	OK	217.5	48	26	OK	216
PS 5	48	27.4	OK	218	48	27.6	OK	217.5
PS 6	48	26.5	OK	216	48	27.3	OK	219
PS 7	48	25.9	OK	218	48	27	OK	216
PS 8	48	28.3	OK	217.5	48	26.8	OK	217.5

Fuente: Elaboración propia.

De manera general, se han mostrado las principales partes del transmisor que demuestran su correcto funcionamiento como equipo de transmisión. En las siguientes figuras se mostrarán las pantallas de los excitadores, las cuales mostrarán su estado de operación.

En la Figura 19 se muestra la vista principal de la GUI del excitador A, el cual se encuentra al aire al momento de la toma de la captura. En la parte central de la figura se aprecia un diagrama de bloques que simplifica la navegación y el monitoreo del equipo por parte del usuario. Cuando un bloque presenta alguna alarma o error crítico, el color del bloque afectado se torna amarillo o rojo, respectivamente. En el caso mostrado, todos los bloques se encuentran de color verde, lo cual es un buen indicativo de que el excitador se encuentra operando correctamente. En el extremo izquierdo de la GUI, se visualiza un resumen del estado del equipo. Los datos mostrados corresponden a los grados de temperatura muestreados en las partes zonas críticas del equipo, así como la velocidad de giro de cada ventilador asociado a este. La luz verde al lado de cada valor indica que se encuentra dentro de los valores esperados o normales. En el extremo derecho de la GUI, se visualiza el espectro de la señal a la salida del filtro de máscara crítica. Esto se puede utilizar para monitorear el estado de operación de ese equipo. La norma indica que el ancho de banda de la señal posfiltro debe ser de 6 MHz, por lo que la imagen mostrada por la GUI evidencia que el filtro opera correctamente. En la esquina

superior derecha de la GUI se muestra el rendimiento del excitador y el estado del RTAC. La zona central superior de la GUI muestra la potencia directa generada por el excitador, la cual es de 100 mW, y la potencia reflejada en el mismo.

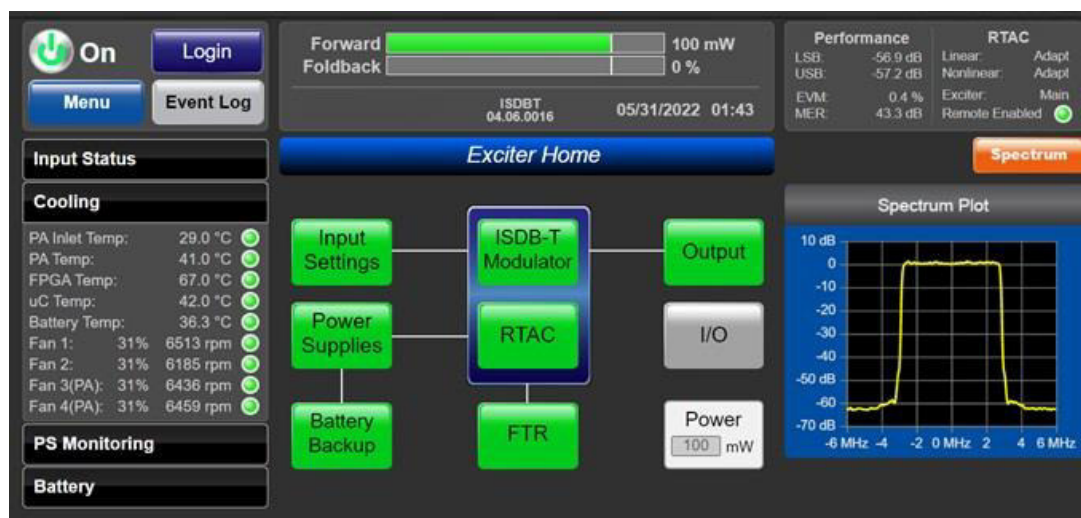


Figura 19: Interfaz del excitador del transmisor ULXTE-16: Pantalla principal. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del transmisor ULXTE-16.

La Figura 20 muestra el apartado de la GUI acerca del RTAC. El RTAC es la corrección adaptativa en tiempo real que realizan los excitadores tomando las muestras que envían los acopladores direccionales pre- y posfiltro. En la figura se visualiza que el RTAC utiliza una muestra lineal y una no lineal. La muestra lineal se obtiene en el acoplador direccional posfiltro y el corrector la utiliza para optimizar la respuesta de frecuencia generada en el filtro de máscara crítica y para generar la vista del espectro mostrada en la GUI del excitador. La muestra no lineal se obtiene en el acoplador direccional prefiltro y el corrector la utiliza para optimizar la intermodulación y el rendimiento del MER. Ambos tipos de correcciones se encuentran operando en el modo adaptativo, el cual es el estado normal para ambas correcciones. En la figura se muestran las veces que el corrector intentó realizar una corrección lineal y no lineal, así

como las veces que logró realizarla correctamente. Se considera que el algoritmo de corrección se encuentra operando correctamente cuando el número de intentos de corrección es cercano al número de intentos satisfactorios de corrección.

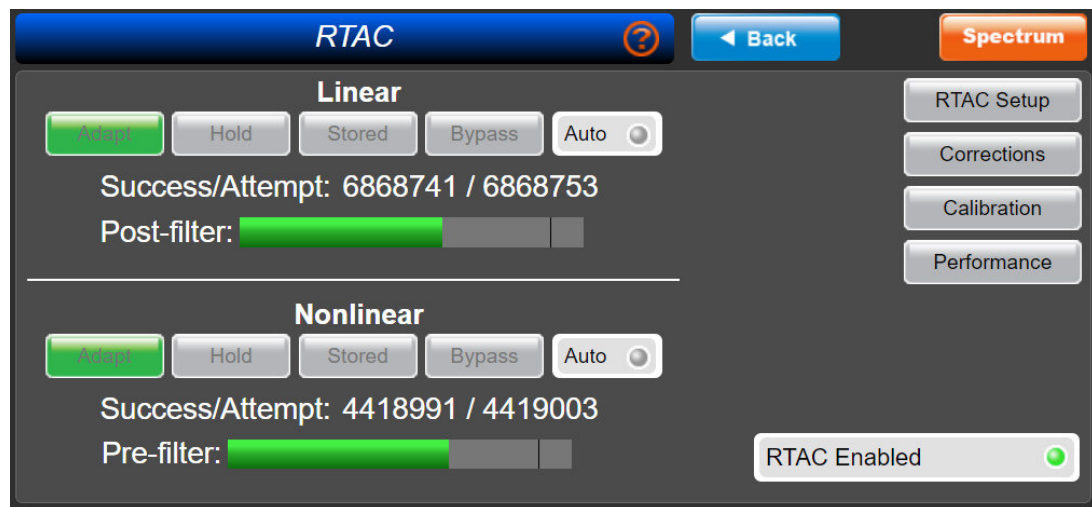


Figura 20: Interfaz del excitador del transmisor ULXTE-16: RTAC.
 Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del transmisor ULXTE-16.

En la Figura 21 se muestran los parámetros de la modulación generada en el excitador. Se observa que se están utilizando las capas A y B. El tipo de modulación de la capa A es QSPK con una tasa de código de $2/3$; mientras que, la modulación de la capa B es de tipo 64QAM con una tasa de código de $1/2$. En ambos casos se genera el código convolucional correctamente. En la parte inferior de la GUI se visualiza que el intervalo de guarda utilizado en la modulación es de $1/8$ y que el modo ISDB-T es el modo 3.

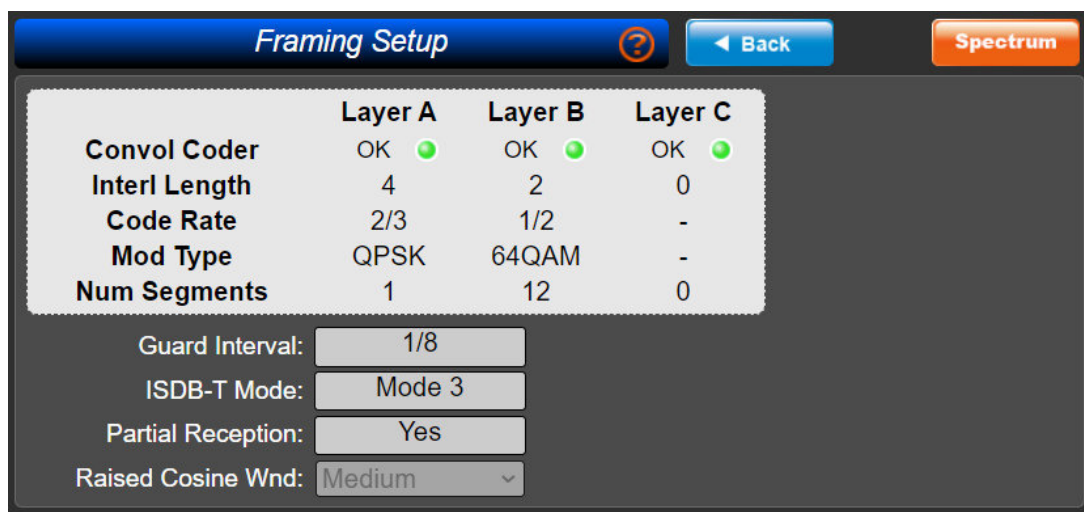


Figura 21: Interfaz del excitador del transmisor ULXTE-16: Parámetros de modulación. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del transmisor ULXTE-16.

4.2.1.2 Evaluación del sistema de refrigeración líquida. El sistema de transmisión instalado posee un sistema de refrigeración líquida externo, el cual fue descrito anteriormente. El módulo de bombas posee ciertos parámetros que son indicadores de su buen funcionamiento.

En la Figura 22 se muestra una vista frontal del panel del módulo de bombas, en el cual se visualizan los cuatro inversores que componen al sistema. Los dos primeros inversores de la izquierda son los que controlan la frecuencia de las bombas que componen el módulo de bombas. Normalmente solo una de estas está activa. Los dos siguientes inversores muestran la frecuencia de rotación de los ventiladores del intercambiador de calor. En la Figura 22 también se muestran los valores obtenidos en los inversores mencionados. Solo el inversor que controla a la bomba B se encuentra activo con una frecuencia de 55 Hz; mientras que, ambos inversores que controlan a los ventiladores A y B del intercambiador de calor se encuentran activos con una frecuencia de 25.2 Hz y 25 Hz, respectivamente.



Figura 22: Lecturas del panel de control del módulo de bombas. Fuente: *Elaboración propia.*

Los valores mostrados se encuentran dentro de lo esperado y son un buen indicador de que el módulo de bombas se encuentra operando correctamente. Otros indicadores que se pueden obtener del sistema de refrigeración líquida son los niveles de presión al interior del sistema, el nivel de líquido y la existencia de aire dentro del sistema de refrigeración.

En la Figura 23 se observan las presiones de entrada y salida al módulo de bombas, respectivamente.

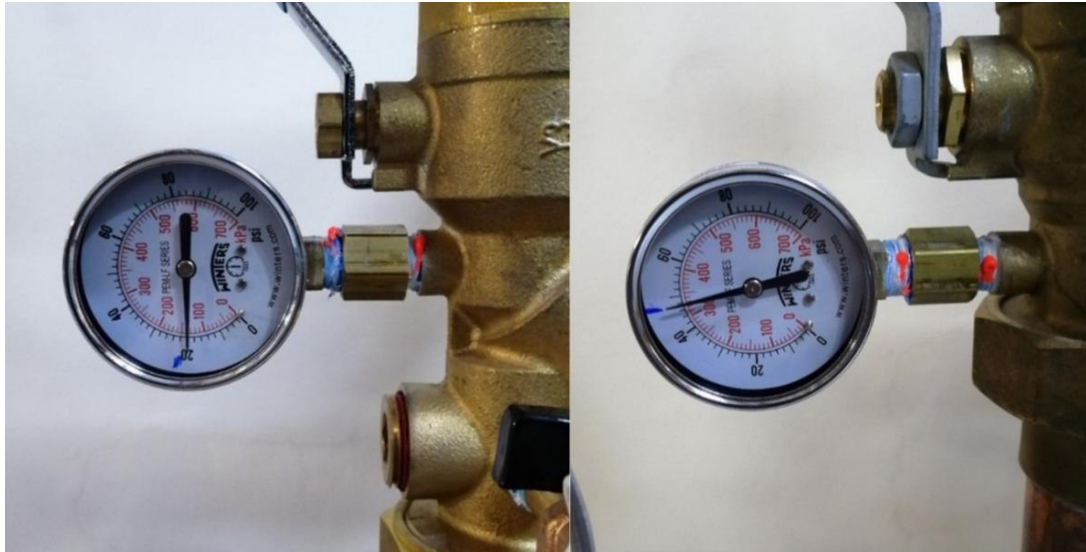


Figura 23: Lecturas de los manómetros de entrada (izquierda) y salida (derecha). Fuente: *Elaboración propia.*

La presión de entrada al módulo de bombas es de 20 psi y es mostrada en el manómetro de la derecha en la Figura 23. El fabricante recomienda mantener esta presión en 20 psi. Una presión de entrada menor a 5 psi es indicativa de que el sistema ha perdido su nivel de líquido refrigerante óptimo y es necesario que se agregue más líquido al sistema hasta obtener los 20 psi mostrados. La presión de salida del módulo de bombas es de 50 psi y se encuentra dentro de los valores esperados. Esta presión es mostrada en el manómetro de la derecha de la Figura 23. La presión de salida del módulo es mayor debido a la operación de la bomba activa. Cuando las bombas se encuentran apagadas se considera que el sistema posee una presión estática, la cual se mostrará de manera indistinta en ambos manómetros. La presión estática se utiliza al momento de cargar el sistema con líquido y se considera que un valor óptimo es 20 psi.

Como se mencionó anteriormente, el nivel del líquido y la presencia de aire dentro del sistema son indicadores que deben considerarse durante una revisión rutinaria del sistema de refrigeración. En la Figura 24 se muestra el visor de nivel y el dispositivo de purga del sistema, los cuales son instalados juntos y en la parte más alta del sistema de refrigeración.



Figura 24: Visor del nivel de líquido del sistema de refrigeración. Fuente: *Elaboración propia.*

La Figura 24 muestra el visor de nivel lleno de líquido uniforme, lo cual es un buen indicador de que el sistema tiene un adecuado nivel de líquido y no posee aire. Si el líquido no llena el interior del visor de nivel, se debería inspeccionar el nivel del líquido del sistema, ya que no es un buen indicador. Si se observan burbujas en el visor de nivel, se debe sospechar de presencia de aire en el sistema, lo cual es una condición indeseada y se debería purgar el sistema con el dispositivo de purga ubicado en la parte superior del visor de nivel y el que se encuentra ubicado en el módulo de bombas.

Luego de verificar la operatividad del módulo de bombas a través de los dispositivos mencionados e instalados en el sistema, se procede a verificar el estado del sistema de refrigeración a través de la GUI del transmisor.

En la Figura 25 se observa el monitoreo del líquido circulante por el primer bloque de amplificación de potencia (PB 1).

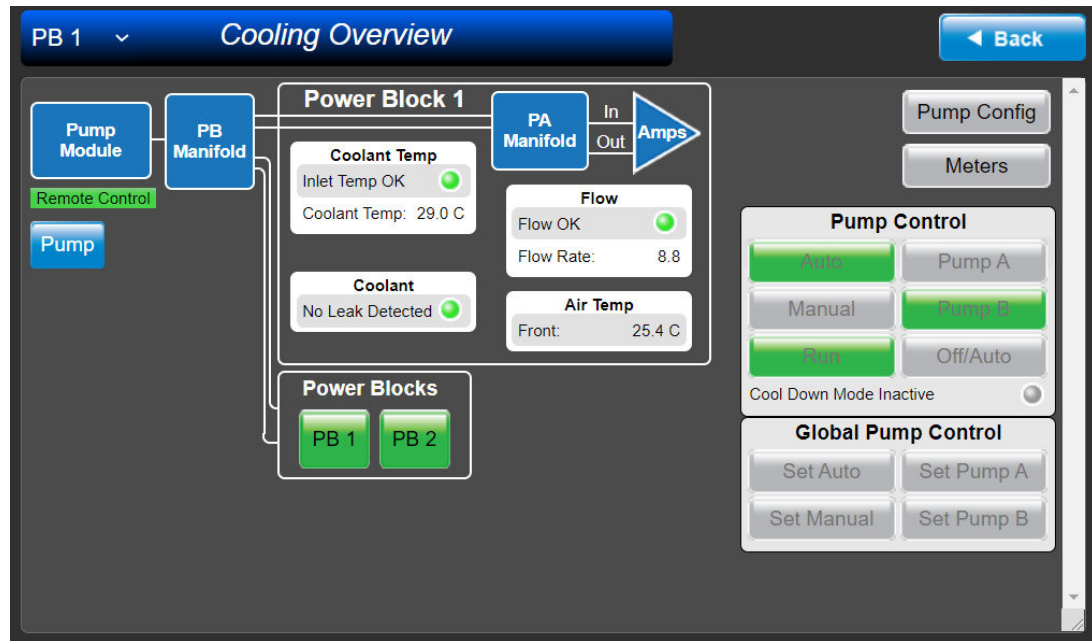


Figura 25: Interfaz del transmisor ULXTE-16: Lecturas del PB 1 del sistema de refrigeración líquida. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del transmisor ULXTE-16.

En esta pantalla se observa que la temperatura del refrigerante circulante por el primer bloque de amplificación de potencia es de 30.6 °C y no presenta alarmas de temperatura. También se observa que la velocidad de flujo del líquido circulante es de 8.9 galones por minuto (GPM), la cual es un valor aceptable por lo que no presenta alarmas de flujo. La velocidad de flujo es controlada por el inversor de la bomba activa del sistema. Si llegase a caer la velocidad de flujo en los bloques de amplificación, se debería revisar el inversor de la bomba activa, la frecuencia de operación de esta se puede modificar mediante el potenciómetro del inversor en cuestión. Esta pantalla también muestra la temperatura del aire que ingresa por el frente del bloque de amplificación a través del filtro de aire, la cual es de 25 °C. Adicionalmente, se observa que el sistema no detecta fugas del refrigerante.

Esta pantalla de la GUI también permite realizar conmutaciones a nivel de bombas del módulo de bombas, para lo cual es necesario ingresar las credenciales de nivel ingeniero en la GUI.

En la Figura 26 se muestra el estado del segundo bloque de amplificación de potencia del transmisor. Los parámetros mostrados en esta pantalla también

se encuentran dentro de lo esperado. La temperatura del refrigerante que circula a través de este bloque de amplificación es de 31.4 °C, la velocidad de flujo del refrigerante es de 10.1 GPM, la temperatura que ingresa por el frente del bloque de amplificación es de 24.9 °C y no presenta fugas de refrigerante.

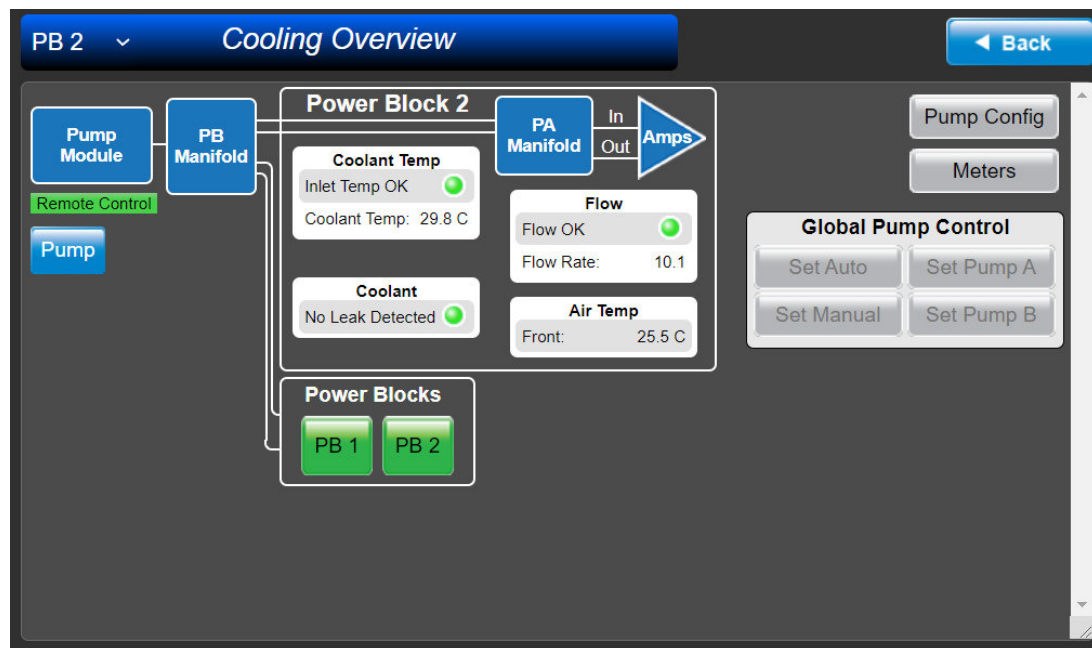


Figura 26: Interfaz del transmisor ULXTE-16: Lecturas del PB 2 del sistema de refrigeración líquida. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del transmisor ULXTE-16.

En la Tabla 5 se muestra un resumen del estado del líquido refrigerante que circula por ambos bloques de amplificación. Siendo los parámetros principales la velocidad de flujo del líquido refrigerante y la temperatura de este en cada bloque de amplificación.

Tabla 5: Lecturas adicionales del sistema de refrigeración líquida.

	Flujo (GPM)	T (°C)	T (°F)
PB 1	9.1	29	84.2
PB 2	10.2	29.8	85.6

Fuente: Elaboración propia.

Lo expuesto acerca del estado del sistema de refrigeración revela que el sistema se encuentra operando correctamente sin ninguna alarma o avería presente.

4.2.1.3 Evaluación de la recepción de la señal. En este apartado se presenta la evaluación del estado de la recepción de la señal transmitida por el nuevo sistema de transmisión instalado en la caseta del radiodifusor utilizando un equipo especializado en el monitoreo de redes ISDB-Tb de la marca Gsertel, modelo RCS 100, el cual se conectó a una antena UHF de tipo Yagi.

En la Figura 27 se muestra una vista de la interfaz del equipo de monitoreo conectado a la antena UHF. En la sección “Measure” se muestran las lecturas hechas por el equipo. Los valores que destacan son los de la potencia de recepción con -39.4 dBm, la relación señal/ruido (C/N) con 51.1 dB y el MER con un valor de 33.2 dB. El equipo no muestra ningún valor fuera del rango normal por lo que no posee alarmas. La sección “Param” muestra el tipo de modulación de la señal recepcionada. Se evidencia que todos los parámetros mostrados en esta sección corresponden a los configurados desde el excitador de transmisor. En la parte superior de la figura se muestra el espectro radioeléctrico mostrado por equipo con la frecuencia central del radiodifusor.



Figura 27: Interfaz del analizador Gsertel. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del analizador Gsertel.

La Figura 28 fue obtenida ingresando a la sección “Measures”. En la figura se visualiza la constancia de los tres valores mencionados anteriormente, los cuales se muestran constantes en el intervalo de tiempo utilizado.

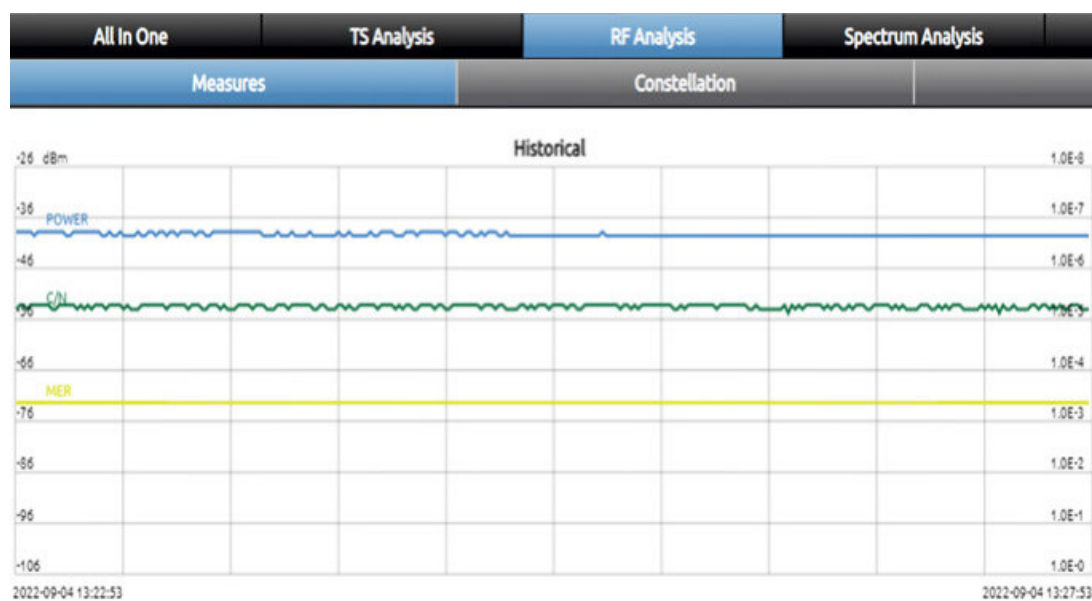


Figura 28: Interfaz del analizador Gsertel: Historial de mediciones de la señal recepcionada. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del analizador Gsertel.

En la Tabla 6, se muestra el detalle de las lecturas obtenidas por el equipo RCS 100. La potencia de recepción, en esta ocasión, es de -40 dBm, la relación C/N es mayor a 52.0 dB y el MER es de 33.7 dB.

Tabla 6: Lecturas de la señal recibida en la frecuencia del radiodifusor.

Estado de recepción en el Gsertel de la señal del radiodifusor	
Parámetro	Valor
Potencia	-40.0 dBm
C/N	>52.0 dB
MER	33.7 dB
CBER (A)	<1.0E-6
VBER (A)	<1.0E-8
CBER (B)	<1.0E-6
VBER (B)	<1.0E-8
CBER (C)	-
VBER (C)	-

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 29 se obtuvo ingresando a la sección “Spectrum” del equipo. En esta figura se muestra, de forma ampliada, el espectro radioeléctrico monitoreado por el RCS 100 con un *span* de 50 MHz, un RBW de 300 kHz a la frecuencia central del radiodifusor. La zona sombreada corresponde a los 6 MHz del radiodifusor. También se observan tres canales digitales y un canal analógico a la izquierda del canal central, mientras que por el lado derecho se visualizan 3 canales digitales y un canal libre justo al lado del canal del radiodifusor. Se observa que los 6 MHz del radiodifusor (zona sombreada) no interfiere con los canales adyacentes gracias al filtro de máscara crítica.



Figura 29: Interfaz del analizador Gsertel: Espectro de la señal receptionada. Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del analizador Gsertel.

En la Tabla 7 se muestra, principalmente, la potencia de recepción entre dos canales. El marcador 1 se encuentra en la frecuencia central del primer canal digital a la izquierda del canal del radiodifusor y el marcador 2 se colocó en la frecuencia central del radiodifusor. La potencia de recepción en el marcador 1 es de -63.2 dBm y la del marcador 2 es de -55.5 dBm, siendo la diferencia (Δ) entre estas dos muestras igual a 6.7 dBm.

Tabla 7: Lecturas de la señal recibida en las marcas de la figura 29.

Marca	Valor
①	-63.2 dBm
②	-55.5 dBm
Δ -12.000 MHz	6.7 dBm

Fuente: Elaboración propia.

En el espectro radioeléctrico mostrado en la Figura 30 se ha modificado el *span* a 10 MHz. Se visualiza con mayor detalle los 6 MHz del canal del radiodifusor y se han colocado las marcas 1 y 2 en los extremos del canal de 6 MHz asignado al radiodifusor para verificar el funcionamiento del filtro de máscara crítica.



Figura 30: Interfaz del analizador Gsertel: Espectro de la señal recepcionada con marcas en los extremos del canal de 6 MHz. *Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del analizador Gsertel.*

En la Tabla 8 se muestran los niveles de potencias -91.2 dBm y -91.3 dBm, para las marcas 1 y 2, respectivamente, y la diferencial (Δ) mostrada por el equipo en el instante en el que se tomó la muestra fue de 0.2 dBm.

Tabla 8: Lecturas de la señal recibida en las marcas de la figura 30.

Marca	Valor
①	-91.2 dBm
②	-91.3 dBm
Δ -6.000 MHz	0.2 dBm

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se han colocado las marcas 1 y 2 espaciadas por 2 MHz a ambos extremos de la frecuencia central.



Figura 31: Interfaz del analizador Gsertel: Espectro de la señal recepcionada con marcas dentro del canal de 6 MHz. *Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del analizador Gsertel.*

En la Tabla 9 se muestran las potencias obtenidas, para la marca 1 fue de -62.1 dBm y para la marca 2 fue de -62.4 dBm con un diferencial (Δ) de -2.0 dBm.

Tabla 9: Lecturas de la señal recibida en las marcas de la figura 31.

Lecturas en las marcas seleccionadas	
Marca	Valor
①	-62.1 dBm
②	-62.4 dBm
Δ -2.000 MHz	-2.0 dBm

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 32 muestra la constelación obtenida por el RCS 100, en la cual se diferencian los tipos de modulación de la señal recepcionada. En la constelación se visualizan los símbolos digitales superpuestos de cada muestra. En la constelación donde se muestra la capa A se diferencian las portadoras en modulación QPSK y las portadoras piloto en el eje horizontal. En la constelación B+C se muestran las portadoras en modulación 64QAM de la capa B y las portadoras piloto en el eje horizontal. La tercera constelación muestra la suma de las capas A+B+C, en la cual se superponen las tres capas. Los símbolos superpuestos se encuentran centrados, definidos y no se desplazan con el paso del tiempo, lo que evidencia un buen comportamiento de la señal.

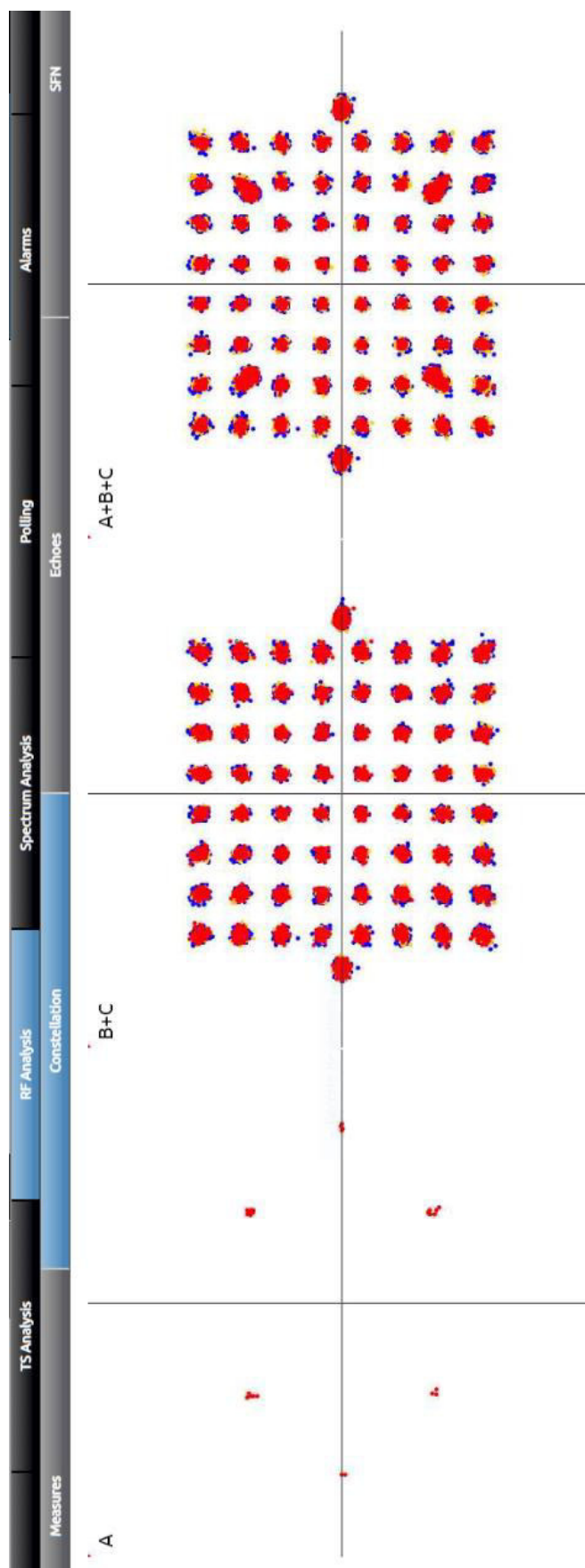


Figura 32: **Constelación de la señal recepcionada.** Fuente: Recuperado de la interfaz gráfica del analizador Gsertel.

4.3 Descripción de la implementación

La implementación del proyecto descrito en el presente informe se llevó a cabo considerando las recomendaciones del fabricante y la opinión experta de los especialistas consultados. Se realizó en conjunto con especialistas locales y del fabricante GatesAir. El especialista de la empresa GatesAir llegó a la caseta de transmisión del radiodifusor en la etapa final de la implementación. En conjunto con el especialista del fabricante se realizó la revisión final del sistema de transmisión y la puesta en marcha de este.

Durante la implementación se logró cumplir satisfactoriamente con los indicadores de calidad del proyecto. Estos indicadores permitieron gestionar eficientemente el proyecto desde la etapa de reconocimiento de las necesidades del radiodifusor hasta la etapa de cierre de este.

Al finalizar la implementación del sistema de transmisión, se realizó la capacitación del personal del radiodifusor, quienes se encargan de la operación del sistema y de los mantenimientos preventivos y correctivos.

4.4 Conclusiones

- Luego de culminar las pruebas operativas, se ha validado que el sistema de transmisión implementado en la caseta de transmisión del radiodifusor cumple satisfactoriamente con los indicadores de calidad del proyecto y con las expectativas del radiodifusor.
- Se evidenció que la transmisión de la señal de televisión digital terrestre emitida desde la caseta de transmisión del radiodifusor ubicada en el Morro Solar presenta una mayor confiabilidad debido a la redundancia aplicada al sistema al agregar un *switch* coaxial motorizado que realiza la conmutación entre transmisores.
- La capacidad máxima de transmisión de la señal TDT del radiodifusor se incrementó de 8.7 kW a 10 kW, este incremento de cobertura se hará

efectivo cuando el radiodifusor decida incrementar su potencia de transmisión a 10 kW.

- La eficiencia de transmisión se incrementó al utilizar el transmisor principal ULXTE-16 debido a que este utiliza la tecnología Doherty en sus módulos de amplificación.
- El personal del radiodifusor encargado de la operación y mantenimiento del nuevo sistema de transmisión fue capacitado para realizar dichas funciones por personal del fabricante del transmisor GatesAir en sus instalaciones de EE. UU. y en las instalaciones del radiodifusor en Lima.

CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES

- Las recomendaciones técnicas acerca del mantenimiento del sistema de transmisión instalado son cubiertas en el anexo B.
- Se recomienda la instalación de un sistema de conmutación automatizado 1+1, el cual permite conmutar automáticamente entre transmisores al detectar una falla crítica en el transmisor que se encuentra al aire.
- Se recomienda que se reemplace la carga fantasma del sistema de transmisión por una carga de alrededor de 15 kW de capacidad.
- Se recomienda adquirir repuestos del nuevo sistema transmisor antes de la culminación de la garantía extendida del mismo.
- Se recomienda que el personal técnico del radiodifusor debe continuar capacitándose a través de la lectura de la documentación proporcionada y los recursos que ofrece el fabricante en su página web.

CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFIA

Paucar Curasma, R. (2010). Análisis y Modelamiento de las Técnicas de Canal de Retorno e Interactividad para el Estándar de Televisión Digital Terrestre ISDB-T [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis.

Saavedra Muñoz, C. R. (2019). Participación y cambio de hábitos de los televidentes con la aparición de un sistema de aplicaciones audiovisuales interactivas en la televisión digital terrestre – TDT [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis.

Paul Denisowski. [Rohde Schwarz] (15 de octubre de 2020). What is RF? [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=WPjnibIApww>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (s.f.). TDT Televisión Digital Terrestre. Estado Peruano. <http://www.tdt.pe/#/>

Tinjacá Soler, J. J. (2015). Diseño de un amplificador Doherty con etapa de pre-amplificación para aplicaciones Wimax [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio institucional.

Pérez Vega, C. (2005). Introducción a los sistemas transmisores de televisión [Archivo PDF]. Universidad de Cantabria.

<https://personales.unican.es/perezvr/index.htm>

Gatesair (2019). Maxiva™ ULXTE with PowerSmart® Plus [Archivo PDF].

<https://www.gatesair.com/documents/products/broch-maxiva-ulxte-ka-mh-011019.pdf>

Gatesair (2022). Maxiva™ ULXTE with PowerSmart® Plus [Imagen].

Recuperado de <https://www.gatesair.com/products/transmit-tv/uhf-transmitters/maxiva-ulxte-with-powersmart-plus>

Gatesair (2018). *Maxiva™ ULXTE Series*. Gatesair.

Gatesair (2014). *HE Heat Exchanger™*. Gatesair.

Gatesair (2018). *HE-II Pump Module™*. Gatesair.

RFS (2021). 8PPXX201E Series [Archivo PDF].

<https://www.rfsworld.com/pim/product/pdf/8PPXX201E%20Series>

CAPÍTULO VII: ANEXOS

Anexo A: Datasheet de los equipos.

Tabla 10: Principales características técnicas del filtro de máscara crítica instalado.

Características generales	
Tipo de producto	Filtro pasabanda para TV UHF
Modelo	8PPXX201E / RFS
Tipo de filtro	Filtro de 8 polos con refrigeración líquida
Conector de entrada y salida	3-1/8" EIA
Impedancia	50 ohms
Peso	82 Kg
Refrigeración	
Flujo	$1 \leq x \leq 4$ (GAL/min)
Concentración máxima de glycol / agua	50%
Especificaciones adicionales	
Norma	ISDB-Tb
Ancho de banda del canal	6 MHz
Potencia de entrada	12.5 kW
Pérdida de inserción	<0.37 dB
Atenuación	$<1.45 \text{ dB} \pm 2.79 \text{ MHz}$ $>14.0 \text{ dB} \pm 3.15 \text{ MHz}$ $>31.0 \text{ dB} \pm 4.5 \text{ MHz}$ $>61.0 \text{ dB} \pm 9.0 \text{ MHz}$
VSWR promedio	≤ 1.1
Pérdida de retorno promedio	≥ 26.4
Temperatura máxima de operación	80°C
Rango de temperatura ambiente	-5°a 55°C
Aumento máximo de temperatura	$\Delta 40^\circ\text{C}$

Fuente: RFS (2021).

Tabla 11: Principales especificaciones técnicas del transmisor ULXTE-16.

General	
Rango de frecuencias	Banda UHF
Estándar de transmisión	ISDB-Tb
Ancho de banda del canal	6 MHz
Impedancia de la carga RF	50 ohms
VSWR	1.4:1
Conector RF de salida	4-1/16" EIA
Altura	2.11 m (rack)
Peso	646 Kg (solo el transmisor)
Características eléctricas	
Voltaje AC de línea	208 a 240 V (trifásico)
Variación de línea AC	±15 % (entre 208 a 230 V)
Factor de potencia	>0.95
Características de operación	
Altitud máxima de operación	3000 m
Temperatura ambiente	0° a 45° C al nivel del mar
Temperatura de almacenamiento	-10° a 65°C
Humedad	95 %, sin condensación
Método de refrigeración	Refrigerado por líquido
Ruido acústico	<65 dBA
Entradas externas	
Entrada de GPS	SMA hembra, 50 ohms
Entrada de 1 PPS	BNC hembra, 50 ohms
Entrada de frecuencia de referencia de 10 MHz	BNC hembra, 50 ohms
Salidas de monitoreo	
Monitoreo de RF (en el excitador)	SMA hembra
1 PPS	BNC hembra
10 MHz	BNC hembra
Especificaciones del ISDB-Tb	
Potencia de salida (promedio)	10 kW (antes del filtro de máscara)
Estándar	ISDB-Tb
Entradas ASI/T2MI	2 entradas BNC hembra, 75 ohms
Entradas de transporte IP	2 entradas, 1000Base-T, RJ-45
Factor de cresta	13 dB máximo
Nivel umbral	<-37 dB (antes del filtro de máscara)
END	<0.5 dB
MER	≥34 dB (normalmente >36 dB)
Armónicos (antes del filtro)	<-60 dB
Emisiones espúreas	<-60 dB (después del filtro pasabajos y filtro de máscara crítica)

Fuente: Gatesair (2019).

Anexo B: Mantenimiento preventivo del sistema de transmisión.

Tabla 12: Programa de mantenimiento del sistema transmisor instalado.

ITEM		Frecuencia
Remotamente		
Lecturas de los meters		Diariamente (o con mayor frecuencia si lo desea)
Monitoreo del rendimiento		Continuamente monitoreado
Conmutación de bombas		Semanalmente
Cualquier evento o falla anormal		Programar una visita al lugar de transmisión
Actualización de software		Según sea necesario
Controles in-situ		
Limpieza del transmisor		Cada 3 a 6 meses (normalmente)
Inspección de suciedad o fugas		Cada vez que se visita el lugar de transmisión
Sonidos inusuales en bombas o ventiladores		Cada vez que se visita el lugar de transmisión
Verificación o reemplazo del refrigerante		Cada 5 años (Prestone / agua destilada: 50/50)
<i>* Las condiciones del programa de mantenimiento puedes variar según el tipo de transmisor y las condiciones del lugar de transmisión.</i>		

Fuente: Gatesair (2018).