

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
	Dependencia	Aprobado		Pág.
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(1)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Juan Sebastian Carrascal Parra		
<b>FACULTAD</b>	Facultad de ingeniería		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería mecánica		
<b>DIRECTOR</b>	MSc. Jhon Arévalo Toscano		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire acondicionado de las salas del edificio turbina, AQCS, carbones y planta de agua, y presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos para Termotasajero Dos S.A E.S. P		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Technical feasibility study for changing the air conditioning units in the rooms of the turbine, AQCS, coal and water plant building, and presentation of a proposal for the acquisition of new equipment for Termotasajero Dos S.A E.S. P.		
<b>RESUMEN (70 palabras)</b>			
El presente trabajo de grado tiene como objetivo realizar el estudio de factibilidad de los equipos de aire acondicionado, primeramente, realizando un diagnóstico del estado en que se encuentran los equipos, seguido de ello, analizar diferentes propuestas de cambio de los equipos instalados, bajo las mismas condiciones de funcionamiento; para por último presentar una propuesta factible y viable para la planta de Termotasajero Dos, bajo los factores, técnicos operativos y económicos que se adecuen a los propósitos de la empresa.			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
The objective of this degree work is to carry out the feasibility study of the air conditioning equipment, firstly, making a diagnosis of the state in which the equipment is found, followed by analyzing different proposals for changing the installed equipment, under the same operating conditions; to finally present a feasible and viable proposal for the Termotasajero Dos plant, under the technical, operational and economic factors that suit the purposes of the company.			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Aire acondicionado, Carga térmica, Hvac, Termoeléctrica.		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Air conditioning, Thermal load, Hvac, Thermoelectric.		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 167	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 56	CD-ROM:



**Estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire  
acondicionado de las salas del edificio turbina, AQCS, carbones y planta de agua, y  
presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos para Termotasajero Dos  
S.A E.S.P.**

**Juan Sebastian Carrascal Parra**

**Facultad de ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería Mecánica**

**Director: MSc Jhon Arévalo Toscano**

**09 de febrero de 2023**

## Tabla de contenido

Tabla de contenido .....	2
Lista de tablas.....	5
Lista de figuras.....	10
Apéndice.....	16
Agradecimientos.....	17
Resumen.....	18
Introducción.....	19
Capítulo 1. Estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire acondicionado de las salas del edificio turbina, AQCS, carbones y planta de agua, y presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos para Termotasajero Dos S.A E.S.P. ....	20
1.1 Descripción de la empresa.....	20
1.1.1 Misión.....	20
1.1.2 Visión .....	20
1.1.3 Objetivos de la empresa .....	21
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.....	22
1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado.....	22
1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.....	23
1.2.1 Planteamiento del problema.....	24
1.3 Objetivos de la pasantía.....	26
1.3.1 Objetivo general.....	26
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
1.4 Descripción de las actividades a desarrollar.....	26
2. Enfoques referenciales .....	29
2.1 Enfoque conceptual .....	29

2.2 Enfoque legal.....	31
3. Informe de cumplimiento de trabajo. ....	33
Objetivo 1. Efectuar un diagnóstico del estado actual de los componentes y unidades de aire acondicionado de la planta, destinado al funcionamiento de Termotasajero Dos. ....	33
3.1.1 Identificación de los equipos, realizando inspección visual y consultando con los operadores de la planta el funcionamiento de los mismos.....	33
3.1.2 Verificación del estado de las unidades manejadoras instaladas, describiendo cuales de ellas se encuentran en funcionamiento o fuera de servicio. ....	38
3.1.3 Consultas de la funcionalidad de los equipos y componentes de los aires acondicionado que allí se encuentran. ....	41
3.1.4 Dar diagnóstico del estado actual de cada una de las unidades manejadoras.....	44
Objetivo 2. Definir las condiciones de diseño y las cargas de enfriamiento, para los edificios de la planta identificando los requerimientos de los equipos instalados para trabajar en óptimas condiciones. ....	46
3.2.1 Verificación de fichas técnicas o manuales de equipos electrónicos de control en cada área con el fin de conocer las temperaturas óptimas y requeridas de trabajo de estos equipos. ....	46
3.2.2 Determinación de la carga de enfriamiento requerida en cada edificio, teniendo en cuenta la orientación y cantidad de paredes, ventanas, techos, puertas, además de los equipos y las temperaturas que estos requieren para trabajar en óptimas condiciones. ....	50
3.2.3 Verificación de los planos el direccionamiento de las corrientes de ventilación,	

con el fin de conocer detalladamente el funcionamiento de cada una de las unidades instaladas y las medidas de los ductos y rejillas para la distribución de caudales. ....	90
3.2.4 Cálculo de los caudales de aire que deben ser suministrados en los puntos específicos de la planta.....	92
Objetivo 3. Demostrar análisis de factibilidad de las unidades de aire acondicionado de los edificios turbina, AQCS, planta de agua y carbones.....	114
La Factibilidad técnica. ....	114
Ventajas y desventajas de cada sistema. ....	114
Depreciación de equipos. ....	116
Factibilidad operativa. ....	119
3.3.1 Verificación de costos de mantenimiento de los equipos instalados. ....	119
3.3.2 Realizar medidas de consumo de energía de los equipos de aire acondicionado, tanto en unidades manejadoras, como en las condensadoras. ....	131
Factibilidad económica. ....	138
3.3.3 Realizar el análisis de los equipos requeridos y cotizar precios respecto a lo requerido.....	138
4. Diagnóstico final .....	157
5. Conclusiones .....	158
6. Recomendaciones.....	160
Referencias .....	161
Apéndice.....	166

### Lista de tablas.

<b>Tabla 1.</b> Matriz FODA.....	23
<b>Tabla 2.</b> Actividades a desarrollar en la empresa Termotasajero Dos S.A E.S.P.....	27
<b>Tabla 3.</b> Identificación de las unidades de aire acondicionado de cada edificio. ....	36
<b>Tabla 4.</b> Verificación del estado actual de equipos de refrigeración. ....	39
<b>Tabla 5.</b> Cuadro de parámetros de grafico psicrométrico.....	53
<b>Tabla 6.</b> Cálculo de coeficientes k para paredes de ladrillo macizo de arcilla. ....	57
<b>Tabla 7.</b> Cálculo de coeficientes k para paredes de concreto armado. ....	58
<b>Tabla 8.</b> cálculo de coeficiente k para techo.....	59
<b>Tabla 9.</b> Cálculo de coeficiente k para ventanas.....	60
<b>Tabla 10.</b> Cálculo de coeficiente k para puertas. ....	62
<b>Tabla 11.</b> Carga térmica por radiación en nivel 1 de edificio turbina.....	67
<b>Tabla 12.</b> Carga térmica por radiación nivel 2 edificio turbina.....	67
<b>Tabla 13.</b> Carga térmica por radiación nivel 3 edificio turbina. ....	69
<b>Tabla 14.</b> Carga térmica por radiación edificio carbones. ....	71
<b>Tabla 15.</b> Carga térmica por radiación edificio AQCS.....	71
<b>Tabla 16.</b> Carga térmica por radiación edificio planta de agua. ....	73
<b>Tabla 17.</b> Calor emitido según estado de actividad de las personas. ....	75

<b>Tabla 18.</b> Carga térmica interna por personas, edificio Turbina, nivel 1.....	76
<b>Tabla 19.</b> Carga térmica interna por personas, edificio Turbina, nivel 2.....	76
<b>Tabla 20.</b> Carga térmica interna por personas, edificio Turbina, nivel 3.....	77
<b>Tabla 21.</b> Carga térmica interna por personas, edificio AQCS.....	77
<b>Tabla 22.</b> Carga térmica interna por personas, edificio Planta de agua.....	78
<b>Tabla 23.</b> Carga térmica interna por personas, edificio carbones.....	78
<b>Tabla 24.</b> Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio carbones.....	82
<b>Tabla 25.</b> Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio AQCS.....	82
<b>Tabla 26.</b> Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio planta de agua.....	83
<b>Tabla 27.</b> Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio turbina, nivel 1.....	83
<b>Tabla 28.</b> .....	84
<b>Tabla 29.</b> Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio turbina, nivel 3.....	85
<b>Tabla 30.</b> Carga térmica por infiltración y ventilación en edificios.....	88
<b>Tabla 31.</b> Carga térmica total calculada en los edificios turbina, AQCS, planta de agua y carbones.....	89
<b>Tabla 32.</b> Especificaciones de los ductos de suministro de aire refrigerado.....	91
<b>Tabla 33.</b> Caudal de suministro de aire por carga de calor sensible.....	93
<b>Tabla 34.</b> Caudal de suministro de aire por ocupantes.....	94

<b>Tabla 35.</b> Caudal de suministro de aire por ventilación e infiltraciones.....	96
<b>Tabla 36.</b> Total, de caudales de suministro de aire. ....	97
<b>Tabla 37.</b> Cálculo de factor de calor sensible efectivo. ....	99
<b>Tabla 38.</b> Cálculo de temperaturas de mezcla de aire.....	100
<b>Tabla 39.</b> Cálculo de temperaturas de suministro. ....	102
<b>Tabla 40.</b> Cantidad de equipos de aire acondicionado, tipo Split (piso-techo) requeridos. ....	110
<b>Tabla 41.</b> Cantidad de equipos de aire acondicionado, sistema combinado (VRF y tipo paquete). ....	112
<b>Tabla 42.</b> Cantidad de equipos de aire acondicionado, tipo central.....	113
<b>Tabla 43.</b> Ventajas y desventajas de sistemas propuestos. ....	114
<b>Tabla 44.</b> Depreciación de equipos piso techo.....	116
<b>Tabla 45.</b> Depreciación de sistema VRF.....	117
<b>Tabla 46.</b> Depreciación de sistema centralizado propuesto. ....	117
<b>Tabla 47.</b> Costos totales en mantenimientos de las unidades manejadoras y condensadoras de los edificios de la planta.....	124
<b>Tabla 48.</b> Costos totales en mantenimientos de aires Split de sala de relés, 3 nivel, edificio turbina. ....	125

<b>Tabla 49.</b> Costo anual de personal de mantenimiento externo para las unidades centrales (sistema actual) de los edificios de operaciones. ....	129
<b>Tabla 50.</b> Costo anual de personal de mantenimiento externo para equipos Split piso techo. ....	130
<b>Tabla 51.</b> Posibles costos de mantenimiento para la cantidad de equipos calculada para edificios de operaciones. ....	130
<b>Tabla 52.</b> Potencia aparente de consumo en las unidades centrales de aire acondicionado.....	132
<b>Tabla 53.</b> Potencia de consumo de equipos en kWh en unidades centrales. ....	133
<b>Tabla 54.</b> Costo por operación de las unidades centrales. ....	134
<b>Tabla 55.</b> Potencia aparente de consumo en las unidades Split, piso-techo de aire acondicionado.....	136
<b>Tabla 56.</b> Costo de consumo por operación de los aires Split piso-techo.....	136
<b>Tabla 57.</b> Tipos de equipos de requeridos en el proyecto.....	137
<b>Tabla 58.</b> Costos totales por consumo del sistema piso techo. ....	137
<b>Tabla 59.</b> Costos de equipos Split piso techo para las salas específicas de la planta. ....	143
<b>Tabla 60.</b> Oferta de equipos centrales por la empresa Refriplast. ....	144
<b>Tabla 61.</b> Comparativa de costos de inversión de los diferentes sistemas.....	146
<b>Tabla 62.</b> Criterios de inversión equipos piso techo. ....	155

**Tabla 63.** Criterios de inversión equipos sistema VRF..... 155

**Tabla 64.** Criterios de inversión equipos sistema centralizado propuesto. .... 156

### Lista de figuras.

<b>Figura 1.</b> Organigrama de la empresa Termotasajero S.A E.S. P.....	22
<b>Figura 2.</b> Unidades evaporadoras. ....	34
<b>Figura 3.</b> Unidades condensadoras. ....	34
<b>Figura 4.</b> Unidades condensadoras edificio planta de agua. ....	35
<b>Figura 5.</b> Unidades evaporadoras edificio planta de agua. ....	35
<b>Figura 6.</b> Unidades evaporadoras edificio carbones. ....	35
<b>Figura 7.</b> Unidades condensadoras edificio carbones. ....	35
<b>Figura 8.</b> Paquete unidades refrigeración edificio AQCS .....	36
<b>Figura 9.</b> Unidad condensadora sin motor y ventilador disipador de calor. ....	41
<b>Figura 10.</b> Unidad condensadora sin ventilador disipador de calor.....	42
<b>Figura 11.</b> Unidad condensadora funcional, completa. ....	42
<b>Figura 12.</b> Ventiladores de impulsión aire.....	43
<b>Figura 13.</b> Ductos y rejillas de ventilación. ....	43
<b>Figura 14.</b> PLC de control de aires acondicionados. ....	45
<b>Figura 15.</b> Termografía de cuadro MNS de baja tensión en sala MCC 2 nivel edificio turbina.....	49
<b>Figura 16.</b> Termografía en transformador 480 v sala MCC 2 nivel edificio turbina....	49

<b>Figura 17.</b> Ubicación de la empresa Termotasajero S.A E.S. P .....	51
<b>Figura 18.</b> diagrama psicrométrico. ....	53
<b>Figura 19.</b> Ecuación 1, para coeficientes de transmisión de calor. ....	56
<b>Figura 20.</b> Paredes interiores de ladrillo macizo sin recubrimiento. ....	58
<b>Figura 21.</b> Paredes de concreto armado. ....	59
<b>Figura 22.</b> Tipo de ventanas instaladas en los edificios de la planta. ....	60
<b>Figura 23.</b> Tipo de puertas instaladas en los edificios de la planta.....	61
<b>Figura 24.</b> Ecuación 2, para ganancia de calor en paredes y techos. ....	63
<b>Figura 25.</b> Ecuación 3, Ganancia de calor en vidrios. ....	64
<b>Figura 26.</b> Simulación temperaturas en paredes. ....	65
<b>Figura 27.</b> Simulación de diferencia de temperaturas críticas, por radiación en paredes. .....	65
<b>Figura 28.</b> Simulación de la transferencia de calor (Watt), en pared de ladrillo. ....	66
<b>Figura 29.</b> Ecuación 4, carga térmica por personas. ....	74
<b>Figura 30.</b> Equipos de salas MCC edificio turbina (transformadores, inversores, cargadores). ....	79
<b>Figura 31.</b> Luminarias led de 36 W tubulares.....	80
<b>Figura 32.</b> Luminarias led de 36 W cuadradas. ....	80

<b>Figura 33.</b> Ecuación 5, para carga térmica por luminarias fluorescentes .....	81
<b>Figura 34.</b> Ecuación 6, para carga térmica por luminarias incandescentes .....	81
<b>Figura 35.</b> Ecuación 7, para carga térmica sensible por infiltración y ventilación.....	86
<b>Figura 36.</b> Ecuación 8, para carga térmica latente por infiltraciones y ventilación.....	87
<b>Figura 37.</b> Ecuación 9, para caudal de suministro por carga térmica sensible. ....	93
<b>Figura 38.</b> Ecuación 10, para caudal de suministro por ocupantes.....	94
<b>Figura 39.</b> Ecuación 11, para caudal de suministro por infiltración.....	95
<b>Figura 40.</b> Ecuación 12, para factor de calor sensible efectivo. ....	98
<b>Figura 41.</b> Ecuación 13, ángulo para punto de rocío. ....	98
<b>Figura 42.</b> Ecuación 14, para temperatura de mezcla de aire. ....	100
<b>Figura 43.</b> Ecuación 15, para temperatura de suministro en salas.....	101
<b>Figura 44.</b> Ecuación 16, Radio de eficiencia energética.....	103
<b>Figura 45.</b> Clasificación de los equipos según su EER. ....	106
<b>Figura 46.</b> Interpretación de valores SEER. ....	107
<b>Figura 47.</b> Aire acondicionado de paquete. ....	108
<b>Figura 48.</b> Aire acondicionado, sistema VRF.....	108
<b>Figura 49.</b> Unidad tipo central (condensadora - manejadora)- aire acondicionado....	109
<b>Figura 50.</b> Aire acondicionado piso-techo.....	110

<b>Figura 51.</b> Comparativa de depreciación por año de servicio de cada sistema. ....	118
<b>Figura 52.</b> Gráfica de costos de mantenimiento vs año en que se presentaron. ....	120
<b>Figura 53.</b> Costos de mantenimientos totales por año de unidades de edificio AQCS. .....	121
<b>Figura 54.</b> Costos de mantenimientos totales por año de unidades de edificio tratamiento de agua. ....	122
<b>Figura 55.</b> Costos de mantenimientos totales por equipo de unidades de edificio tratamiento de agua. ....	123
<b>Figura 56.</b> Costos de mantenimientos totales por año de unidades de edificio carbones. .....	124
<b>Figura 57.</b> Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio turbina 2022. .....	126
<b>Figura 58.</b> Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio planta de agua 2022. ....	127
<b>Figura 59.</b> Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio AQCS 2022. .....	127
<b>Figura 60.</b> Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio carbones 2022. ....	127
<b>Figura 61.</b> Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado piso techo de sala de relés desde 2020. ....	128

<b>Figura 62.</b> Ecuación 17. Ecuación de potencia de consumo de los equipos de aire acondicionado trifásicos. ....	131
<b>Figura 63.</b> Ecuación 18. Ecuación de potencia de consumo de los equipos de aire acondicionado monofásicos. ....	135
<b>Figura 64.</b> Oferta de desmontajes de unidades manejadoras, condensadores y ventiladores de edificio turbina. ....	139
<b>Figura 65.</b> Oferta de la empresa Thermotar de equipos Split marca Starlight. ....	140
<b>Figura 66.</b> Oferta de instalación y puesta en marcha de equipos Split piso techo por parte de la empresa TODOLINEAS.....	141
<b>Figura 67.</b> Oferta de la empresa Bajo cero de equipos tipo Split. ....	142
<b>Figura 68.</b> Oferta de sistema VRF y tipo paquete y Split.....	143
<b>Figura 69.</b> Comparativa de costos de energía consumida, estimada en kW.....	147
<b>Figura 70.</b> Comparativa de costo de consumo de energía anual estimada en \$.....	148
<b>Figura 71.</b> Flujos netos de caja de sistema de acondicionamiento con piso techo. ....	150
<b>Figura 72.</b> Flujos netos de caja de sistema de acondicionamiento con sistema VRF.	151
<b>Figura 73.</b> Flujos netos de caja de sistema de acondicionamiento con sistema centralizado (empresa Refriplast).....	151
<b>Figura 74.</b> Ecuación 19. Valor actual neto. ....	153
<b>Figura 75.</b> Ecuación 20. Tasa retorno de inversión. ....	153

<b>Figura 76.</b> Comparación tasa interna de retorno.....	158
--	-----

**Apéndice.**

<b>Apéndice A.</b> tabla de condiciones interiores para condiciones industriales. ....	166
<b>Apéndice B.</b> factores de calor sensible y latente en personas según actividad de trabajo. .....	166
<b>Apéndice C.</b> Caudales de aire exterior, según la aplicación industrial.....	167
<b>Apéndice D.</b> Condiciones de oferta para desmontaje de equipos de aire acondicionado instalados actualmente.....	168
<b>Apéndice E.</b> Condiciones y oferta de desmontaje de la empresa IMCERBA. ....	169

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecer a Dios por todas sus bendiciones y por siempre iluminar mis pasos, agradezco a todas las personas que han contribuido de alguna manera en mi formación académica y personal, agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado, a mi universidad por brindarme las bases y conocimientos para adquirir y desarrollar habilidades que me han permitido desarrollar este trabajo. Quiero agradecer a aquellas personas que, en algún momento, me han inspirado y motivado a seguir adelante y perseguir mis metas.

Por último, agradezco a mi director y a mi coordinadora de pasantía, por sus aportes y consejos, por confiar en mí y en mis habilidades, con lo que me han dado la oportunidad de demostrar mis capacidades.

## **Resumen.**

Este proyecto tiene como objetivo la presentación de un estudio de análisis de factibilidad direccionado al cambio de las unidades de aire acondicionado de las salas del edificio turbina, AQCS, carbones y planta de agua de TT2 realizado como modalidad de pasantía del alumno Juan Sebastian Carrascal Parra perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Francisco De Paula Santander Seccional Ocaña, en la empresa TERMOTASAJERO SA, en un período de 4 meses, comenzando el 12 de septiembre del 2021 y finalizando el 11 de enero del 2023, primeramente iniciando con un estudio de los equipos que se encuentran en funcionamiento actualmente, realizando un diagnóstico del estado en que se encuentran ellos, seguido de ello, analizar diferentes propuestas bajo las mismas condiciones de funcionamiento; para por último presentar una propuesta factible y viable para la planta de Termotasajero Dos, bajo los factores, técnicos operativos y económicos que se adecuen a los propósitos de la empresa.

## **Introducción.**

En la planta 2 de la empresa Termotasajero SA, se requiere realizar un análisis de factibilidad de las unidades de aire acondicionado instaladas, debido a que estas unidades manejadoras-condensadoras instaladas actualmente, en los edificios turbina, AQCS, carbones y planta de agua, presentan fallas constantes y sus respectivos mantenimientos son costosos.

Por tal motivo, se requieren efectuar los respectivos cálculos para determinar el caudal de aire que se suministra en los diferentes puntos, verificar con las dimensiones de los edificios y fichas técnicas de los equipos a refrigerar, la temperatura que se requiere en las salas, para trabajar en óptimas condiciones y realizar la selección para los aires acondicionados industriales que se requieren para ser cambiados. Con ello se busca disminuir los problemas de fallas en las unidades de acondicionamiento de aire, instaladas actualmente, efectuando la propuesta de adquisición de los nuevos equipos.

**Capítulo 1. Estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire acondicionado de las salas del edificio turbina, AQCS, carbones y planta de agua, y presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos para Termotasajero Dos S.A E.S.P.**

**1.1 Descripción de la empresa.**

La empresa Termotasajero S.A E.S. P es una empresa generadora y comercializadora de energía eléctrica, con altos estándares de calidad y efectividad para satisfacer todas las necesidades de sus clientes. Además, fue recientemente adquirida por Inversiones Termotasajero S.A, que es una sociedad colombiana integrada por los fondos de pensiones Protección, Porvenir, Citi-Colfondos y Skandia, la comisionista de bolsa Correval e inversiones internacionales. (TERMOTASAJERO DOS S.A E.S.P, 2021)

***1.1.1 Misión.***

Su misión es generar y comercializar energía eléctrica con altos estándares de calidad para satisfacer las necesidades de sus clientes.

Sus actividades se desarrollan con criterios de rentabilidad y eficacia para garantizar la sostenibilidad empresarial y la generación del valor económico, con profundo respeto hacia las personas y con responsabilidad ambiental. (TERMOTASAJERO DOS S.A E.S.P, 2021)

***1.1.2 Visión***

Termotasajero será reconocido en el año 2030 como una empresa competitiva en la generación térmica y fotovoltaica en el país. Tendrá consolidadas sus iniciativas de modernización e incorporación de las mejores prácticas en sus procesos operativos, administrativos, comerciales, financieros y de sostenibilidad, basadas en el desarrollo de las competencias de su talento humano.

Su participación creciente en los mercados permitirá consolidar la sostenibilidad empresarial, la creación de valor y el bienestar social de las personas comprometidas con su actividad. (TERMOTASAJERO DOS S.A E.S.P, 2021)

### ***1.1.3 Objetivos de la empresa***

Sus objetivos son:

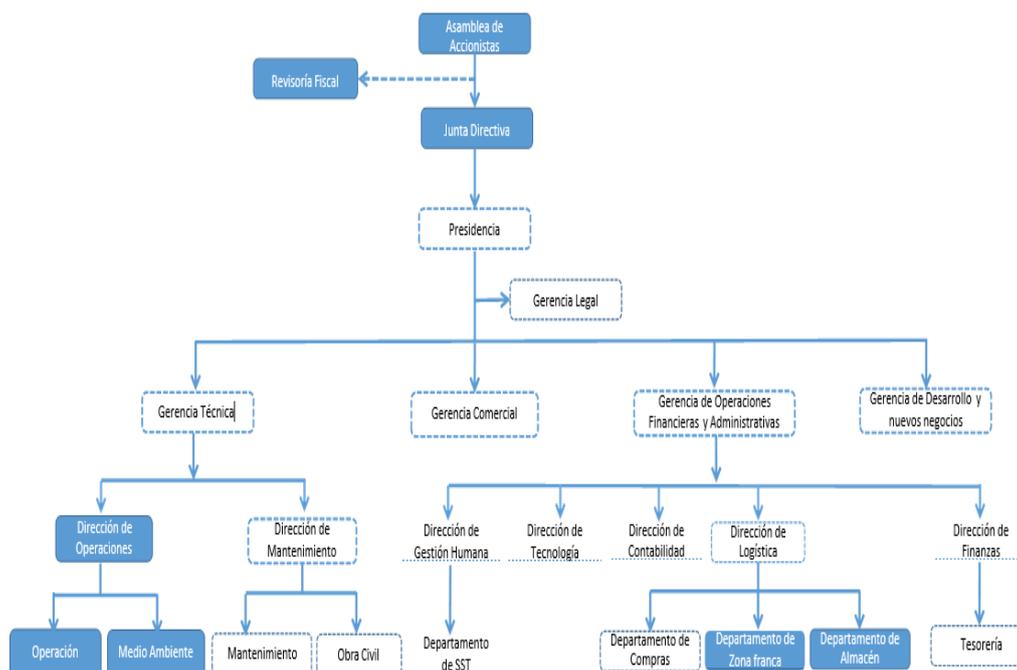
- Orientar el talento humano hacia equipos de alto desempeño, fomentando el desarrollo de sus competencias.
- Fomentar la eficacia y oportunidad de las comunicaciones internas y externas.
- Mantener las condiciones de seguridad del personal y los equipos de la organización.
- Mantener el cumplimiento de las exigencias ambientales, administrativas y técnicas para la operación óptima de la planta.
- Mantener en buenas condiciones de operación y mantenimiento los equipos.
- Contar con proveedores estratégicos confiables.
- Mejorar continuamente los procesos del sistema de gestión de calidad y gestión de sus riesgos.
- Mantener un adecuado y oportuno flujo de información con los clientes directos.

### 1.1.4 Descripción de la estructura organizacional

**Figura 1.**

*Organigrama de la empresa Termotasajero S.A E.S. P*

#### Organigrama Termotasajero Dos S.A. E.S.P.



*Nota. Esquema organizacional de la empresa Termotasajero Dos S.A E.S. P, Obtenido de (TERMOTASAJERO DOS S.A E.S.P, 2021)*

### 1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado

El proyecto asignado en la empresa Termotasajero S.A consiste en realizar un estudio técnico de factibilidad para realizar el cambio de las unidades de aire acondicionado del edificio turbina, sistema de control de calidad de aires (AQCS, por sus siglas en inglés.), carbones y planta de agua de TT2, además, con base en ello presentar una propuesta de adquisición de nuevos equipos, con base a criterios de inversión.

## 1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.

**Tabla 1.**

*Matriz FODA.*

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
MATRIZ DOFA	1. En la empresa se genera y comercializa energía eléctrica con altos estándares de calidad y efectividad. 2. Actividades desarrolladas con criterios de rentabilidad y eficacia. 3. Trabajo con total ética y transparencia	1. Los equipos de aire acondicionado instalados actualmente presentan muchas fallas. y sus mantenimientos son costosos. 2. Mantener en buenas condiciones de operación y mantenimiento los equipos.
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS DE ATAQUE (FO)	ESTRATEGIAS DE REFUERZO (DO)
1. Mejora continuamente de los procesos de sistemas de gestión de calidad 2. Necesidad de expansión y nuevas inversiones.	F101. Mejoramiento a mediano plazo de las instalaciones de la planta con el fin de prestar mejor servicio y dar más confiabilidad. F102. Diseño de planes a futuro donde se ofrezca beneficio y fidelización a los clientes.	D1O2. Realizar inversión en nuevos aires acondicionados industriales, brindando mejoras y confianza en la planta. D201. Revisar planes de mantenimiento con sus respectivos procedimientos con el fin de realizar mejoras en los mismos y disminuir fallas en los equipos de acondicionamiento del aire.
AMENAZAS	ESTRATEGIAS DEFENSIVAS (FA)	ESTRATEGIAS DE RETIRADA(DA)
1. Falta de empresas de suministro de consumibles, repuestos y mantenimientos calificados en sistemas de aire acondicionado.	F2A1. Definir estrategias de cambio, mantenimiento y/o modificación, para los respectivos equipos de climatización.	D1A1. Implementar programas instructivos, con el fin de brindar óptimas condiciones de mantenibilidad y operación de equipos y además brindando confort a empleados con calidad de servicio en las salas de control. D2A1. Efectuar un sistema de información sobre los planes de mantenimientos realizados a la planta, complementando con un mejor plan de mantenimiento para nuevos equipos de adquisición.

*Nota.* La tabla anterior describe la relación de debilidades y fortalezas y oportunidades y

amenazas en el proyecto realizado.

### ***1.2.1 Planteamiento del problema.***

Hoy en día debido a las altas temperaturas en verano y las bajas temperaturas en invierno, se ha causado un auge importante en los sistemas de aire acondicionado, a nivel mundial siendo estos equipos de vital importancia en acondicionamiento de lugares industriales, centros hospitalarios, oficinas y casas, estos equipos actúan como elementos de confort y además de protección contra altas temperaturas de los equipos en el sector industrial, esto conlleva a problemas globales, en los cuales se debe priorizar o enfatizar en reducir el consumo de energía que implica la instalación de estos aparatos, para ello se deben tomar consideraciones como lo son; no sobrepasarse en la reducción o elevación exagerada de la temperatura de los equipos de aire acondicionado, también comprar equipos de altas eficiencias, los cuales son más costosos, también se deben realizar los mantenimientos de los equipos eficientemente y por último se deben instalar los equipos convenientes y únicamente necesarios. (Ayuso, 2016)

La empresa Termotasajero Dos está compuesta de un edificio turbina en el cual hay cuatro unidades manejadoras que distribuyen el aire. En el sistema de calidad de aires (AQCS) hay dos unidades manejadoras que distribuyen el aire en MCC y oficina. En Carbones hay dos unidades manejadoras, es un solo nivel, con un centro de control. En planta de agua hay dos unidades manejadoras, es un solo nivel, con un centro de control.

En la empresa se requiere realizar un análisis de factibilidad de los equipos de aire acondicionado instalados en los edificios de operaciones, debido a que estas unidades

manejadoras instaladas actualmente en los edificios turbina, AQCS, carbones y planta de agua, presentan fallas constantes, estas deben ser corregidas rápidamente, debido a la importancia de los equipos que refrigeran, además, sus repuestos y sus respectivos mantenimientos son costosos, asimismo estos repuestos son complicados de conseguir, sus consumos de energía también son muy elevados, igualmente son equipos de gran tamaño que ocupan grandes espacios en las salas instaladas y además se presenta dificultad para encontrar personal capacitado para el mantenimiento de estos equipos.

Se requieren efectuar los cálculos para determinar el caudal de aire que se suministran en los diferentes puntos, verificar con las dimensiones de los edificios y fichas técnicas de los equipos a refrigerar, la temperatura que requieren los equipos de las salas de operaciones, para trabajar en óptimas condiciones y realizar la selección para los aires acondicionados industriales que se requieren para ser cambiados. En la empresa Termotasajero Dos S.A E.S. P se pretende realizar un estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire acondicionado de sala de mandos, AQCS, carbones y planta de agua de TT2, además efectuar la presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos.

### **1.3 Objetivos de la pasantía.**

#### ***1.3.1 Objetivo general.***

Realizar estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire acondicionado de las salas del edificio turbina, AQCS, carbones y planta de agua, y presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos para Termotasajero Dos S.A E.S.P.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos.***

Efectuar un diagnóstico del estado actual de los componentes y unidades de aire acondicionado de la planta, inspeccionando los equipos de la planta, destinado al funcionamiento de Termotasajero Dos S.A E.S.P.

Definir las condiciones de diseño y las cargas de enfriamiento, identificando los requerimientos de los equipos instalados para que trabajen en óptimas condiciones, según los requisitos de la planta.

Desarrollar estudio de factibilidad de las unidades de aire acondicionado de los edificios turbina, AQCS, planta de agua y carbones, definiendo los factores técnicos, operativos y económicos para los nuevos equipos propuestos.

### **1.4 Descripción de las actividades a desarrollar.**

**Tabla 2.**

*Actividades a desarrollar en la empresa Termotasajero Dos S.A E.S.P.*

<b>Objetivo General</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Actividades A Desarrollar En La Empresa</b>
Realizar estudio técnico de factibilidad para cambio de las unidades de aire acondicionado de sala de mandos, AQCS, carbones y planta de agua de Termotasajero dos y presentación de propuesta de adquisición de nuevos equipos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectuar un diagnóstico del estado actual de los componentes y unidades de aire acondicionado de la planta, inspeccionando los equipos de la planta, destinado al funcionamiento de Termotasajero Dos. S.A E.S. P</li> </ul>	Identificar los equipos, realizando inspección visual y consultando con los operadores de la planta el funcionamiento de los mismos.
		Verificar el estado de las unidades manejadoras instaladas, describiendo cuales de ellas se encuentran en funcionamiento o fuera de servicio.
		Inspeccionar en las ubicaciones requeridas la funcionalidad de los equipos y componentes, como rejillas, ductos, compresores y motores de los aires acondicionado que allí se encuentran.
		Dar diagnóstico del estado actual de cada una de las unidades manejadoras.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir las condiciones de diseño y las cargas de enfriamiento, identificando los requerimientos de los equipos instalados para que trabajen en óptimas condiciones, según los requisitos de la planta.</li> </ul>	Verificar las fichas técnicas o manuales de equipos electrónicos de control en cada área con el fin de conocer las temperaturas óptimas y requeridas de trabajo de estos equipos.
		Conocer las potencias y calor disipado por los equipos que se encuentran en los MCC y las salas a enfriar para tener en cuenta en la carga de enfriamiento que se requiere en el lugar.
		Determinar la carga de enfriamiento requerida en cada edificio, teniendo en cuenta la orientación y cantidad de paredes, ventanas, techos, puertas, además de los equipos eléctricos y electrónicos que se encuentran.
		Verificar en los planos el direccionamiento de las corrientes de ventilación, con el fin de conocer detalladamente el funcionamiento de cada una de las unidades instaladas y las medidas de los ductos y rejillas para la distribución de caudales.
		Calcular los caudales de aire que deben ser suministrados en los puntos específicos de la planta.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar estudio de factibilidad de las unidades de aire acondicionado de los edificios turbina, AQCS, planta de agua y carbones, definiendo los factores técnicos, operativos y económicos para los nuevos equipos propuestos.</li> </ul>	<p>Verificar costos de mantenimiento de los equipos instalados.</p>
	<p>Realizar medidas de consumo de corriente de los equipos de aire acondicionado, tanto en unidades manejadoras, como en las condensadoras y se compararon con los sistemas de aire acondicionado evaluados.</p>
	<p>Realizar el análisis de los equipos requeridos y cotizar precios de distintos sistemas de aire acondicionado.</p>
	<p>Establecer en los criterios de inversión y flujos netos de dinero para los sistemas propuestos.</p>

*Nota.* La tabla indica las actividades llevadas a cabo para la realización del proyecto realizado para la empresa Termotasajero S.A E.S.P.

## 2. Enfoques referenciales

### 2.1 Enfoque conceptual

Para el desarrollo de este proyecto se requiere del conocimiento previo de algunos conceptos que serán aplicados en el desarrollo del trabajo.

La **carga térmica** es un ítem importante a tratar, ya que corresponde a la ganancia de calor que entra a un espacio a climatizar, además se convierte en la barrera a vencer para lograr climatizar el área requerida. Los modos de ganancia de calor que se pueden presentar son por medio de conducción, convección y radiación.

La **convección** es el proceso mediante el cual se transporta energía térmica de una región de alta temperatura a una de menor temperatura entre un medio sólido y un fluido que están en contacto físico directo. (ÇENGEL, 2016)

La **conducción** es la energía transmitida por la interacción molecular directa, es decir, entre los átomos, electrones o moléculas adyacentes, de manera que el calor fluye de las partes calientes a las más frías. Esto se presentará en cada uno de los materiales que conformen las paredes, ventanas, puertas y techo que se encuentran en cada sala. (ÇENGEL, 2016)

La **radiación** es la energía emitida por la materia en forma de ondas electro magnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. (ÇENGEL, 2016).

Asimismo, se debe conocer la carga térmica generada por los equipos electrónicos y eléctricos, además del personal de trabajo, que se encuentra en cada una de las salas que se requieren refrigerar.

**El Calor sensible** está definido como aquel calor que causa un aumento de temperatura en una sustancia sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.

**El Calor latente** está definido como aquel calor que hace que una sustancia cambie de estado, sin que su temperatura varíe. (Viladomat, 2018). Ya obtenidos los datos de carga térmica o de refrigeración se debe conocer más sobre los aires acondicionados.

**ASHRAE**, sus siglas provienen de American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, la cual es una sociedad global de ingenieros con más de 56,000 miembros de 100 países. Esta membresía de ASHRAE está abierta para cualquier persona que esté vinculada con industria de la refrigeración, el aire acondicionado, la ventilación o la calefacción. ASHRAE es único porque sus miembros vienen de una amplia gama de disciplinas relacionadas con la climatización y el aire.

El principio de funcionamiento de un sistema de **aire acondicionado** es la expansión y compresión de un refrigerante con características especiales. Las unidades de aire acondicionado cuentan con un compresor, cuyo efecto sobre el refrigerante es aumentar el punto de vaporización al someterlo a presión. El compresor es el encargado de forzar el flujo del refrigerante dentro de las tuberías, gracias a que crea una diferencia de presión.

Al comprimirse el refrigerante, este se calienta y se tiene la necesidad de enfriarlo mediante el condensador. El condensador lleva unido un ventilador que promueve el movimiento de corrientes de aire que lo atraviesan y causa la disminución de la temperatura y presión del refrigerante que va circulando en su interior. Un subsistema de gran importancia, es el de los elementos reguladores de variables dentro del circuito de refrigeración. Se cuenta con un presostato, que controla el embrague del compresor y hace que funcione o deje de funcionar el ventilador de este.

El refrigerante en su camino pasa por un filtro, que es capaz de extraer toda la humedad del refrigerante. Después de esto el refrigerante pasa por una válvula de expansión, que regula el paso del refrigerante al evaporador por medio de un orificio, el cual se abre o cierra según el valor estipulado.

Al conseguir una diferencia de presión entre los lados de la válvula se consigue el cambio de estado de refrigerante el cual pasa a estado gaseoso, consiguiendo una temperatura muy baja en esta parte del circuito. Este refrigerante pasa finalmente por el evaporador, el cual es atravesado, por el aire forzado del ventilador y que entra al recinto para darle las condiciones de confort establecidas. (Viladomat, 2018)

## **2.2 Enfoque legal**

En Colombia no se rige como tal de una regulación estatal para el tema de aire acondicionado y mucho menos para el Aire Acondicionado en el comercio privado, lo que si esta aceptado y generalizado es incluir en el diseño las normas de (ASHRAE, American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, 2011) , La cual cuenta con un

capítulo para Colombia ASHRAE Colombia. Esto con el fin de evitar cometer errores de sobrecostos.

Sin embargo, cabe aclarar que, sí está regulado lo que concierne a la parte de conectores y conductos de aire, los materiales en forma de láminas para la fabricación por la (NTC COLOMBIANA 2348, 2022).

La norma técnica colombiana (NTC 3714, 2022), establece requisitos para aire acondicionado y acondicionadores de aire para recintos, están clasificados para equipos que no sobrepasen los 600 V de corriente alterna y destinados a la instalación eléctrica según el código eléctrico nacional 600 V de corriente alterna y destinados a la instalación según el Código Eléctrico Nacional, (NTC 2050, 2022).

La norma técnica colombiana (NTC 5183, 2023), rige para ventilación de calidad aceptable de aire en todos los espacios interiores o cerrados que las personas pueden ocupar.

La (Ley 55 de 1993, 2023), Por medio de la cual se aprueba el "Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el trabajo", en reunión de la Conferencia General de la O.I.T., Ginebra, 1990.

### **3. Informe de cumplimiento de trabajo.**

**Objetivo 1. Efectuar un diagnóstico del estado actual de los componentes y unidades de aire acondicionado de la planta, destinado al funcionamiento de Termotasajero Dos.**

*3.1.1 Identificación de los equipos, realizando inspección visual y consultando con los operadores de la planta el funcionamiento de los mismos.*

Se identificó que los edificios de la planta, cuentan con unidades centrales para el manejo del aire acondicionado, las cuales están unidas por sistemas de ductos que distribuyen el aire a cada sitio requerido, llevando este aire, desde las unidades condensadoras que se encuentran en el exterior de cada edificio y liberándolo en las salas requeridas, a través de las unidades evaporadoras ubicadas en salas internas de cada edificio.

Cada uno cuenta con dos sets de manejo del aire acondicionado, los cuales tienen diferentes capacidades de enfriamiento, según los parámetros establecidos de diseño, estos equipos están diseñados para que trabajen alternándose los días de funcionamiento, esto, con el fin de dar descanso a las unidades de condensación, además para contar con un respaldo a la hora de hacer mantenimiento o que alguna de las unidades presente fallas. Estas unidades están direccionadas a mantener una temperatura ideal de trabajo para los equipos electrónicos de las salas MCC y de las salas de control y además brindar confort a las personas que trabajan dentro de estas zonas de los edificios.

Desde la figura 2, hasta la figura 8 se pueden observar las unidades evaporadoras y condensadoras del sistema de aire acondicionado instaladas en cada edificio.

**Figura 2.**

*Unidades evaporadoras.*



*Nota.* En la imagen de la parte izquierda se encuentran las unidades de evaporación del aire enfriado del edificio turbina.

**Figura 3.**

*Unidades condensadoras.*



*Nota.* en la imagen del lado derecho se encuentran las unidades de condensación del edificio turbina.

**Figura 4.**

*Unidades condensadoras edificio planta de agua.*



*Nota.* En la imagen se logra apreciar las unidades de condensación de aire del edificio planta de agua.

**Figura 5.**

*Unidades evaporadoras edificio planta de agua.*



*Nota.* En la imagen se encuentran las unidades de evaporación de aire del edificio planta de agua.

**Figura 6.**

*Unidades evaporadoras edificio carbones.*



*Nota.* En la imagen se logra apreciar las unidades de evaporación del aire enfriado del edificio carbones.

**Figura 7.**

*Unidades condensadoras edificio carbones.*



*Nota.* En la imagen se logra apreciar las unidades de condensación del edificio carbones.

**Figura 8.**

*Paquete unidades refrigeración edificio AQCS*



*Nota.* En la figura se evidencian las unidades tipo paquete de aire acondicionado del edificio AQCS.

En la tabla 3, se señala los equipos instalados, identificados con la codificación de la planta, el tipo de unidad, su funcionamiento, capacidad de enfriamiento y su respectiva ubicación y marca de los equipos, que como de evidencia es coreana.

**Tabla 3.**

*Identificación de las unidades de aire acondicionado de cada edificio.*

Ítem	No. Equipo	Tipo Unidad	Área De Servicio	Cantidad	Marca	Capacidad De Refrigeración (W)
1	20SAF00AH501 B	unidad de condensación enfriada por aire	patio de Edificio control de carbones	2 sets (A Y B) (100% x	Kiturami-Bumyang	9400
2	20SAF00AH501 A	unidad de condensación enfriada por aire	patio de Edificio control de carbones	2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami-Bumyang	9400
3	20SAF00AH301 A	unidad de control de	Edificio control	2 sets (A Y B)	Kiturami-Bumyang	9400

		temperatura y humedad	de carbones	(100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)		
<b>4</b>	20SAF00AH301 B	unidad de control de temperatura y humedad	Edificio control de carbones		Kiturami-Bumyang	9400
<b>5</b>	20SAG00AH501 A (1 Y 2)	unidad de condensación enfriada por aire	Edificio planta de agua	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami-Bumyang	17000
<b>6</b>	20SAG00AH501 B (1 Y 2)	unidad de condensación enfriada por aire	Edificio planta de agua	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami-Bumyang	17000
<b>7</b>	20SAG00AH301 A	unidad de control de temperatura y humedad	Edificio planta de agua	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami-Bumyang	34000
<b>8</b>	20SAG00AH301 B	unidad de control de temperatura y humedad	Edificio planta de agua	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami-Bumyang	34000
<b>9</b>	20SAM00AH501	unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	2 sets (A Y B) (50% x 2 Sets, Duty)	Kiturami-Bumyang	73000
<b>10</b>	20SAM00AH502	unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	2 sets (A Y B) (50% x 2 Sets, Duty)	Kiturami-Bumyang	73000
<b>11</b>	20SAM00AH503 A	unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, One Stand-by)	Kiturami-Bumyang	198000
<b>12</b>	20SAM00AH503 B	unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	2 sets (A Y B) (50% x 2 Sets, Duty)	Kiturami-Bumyang	198000
<b>13</b>	20SAM00AH101	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (Área eléctrica)	2 sets (A Y B) (50% x 2 Sets, Duty)	Kiturami-Bumyang	73000
<b>14</b>	20SAM00AH102	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (Área eléctrica)	2 sets (A Y B) (50% x 2 Sets, Duty)	Kiturami-Bumyang	73000

15	20SAM00AH103 A	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (Área control y oficinas)	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami- Bumyang	198000
16	20SAM00AH103B	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (área control y oficinas)	2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami- Bumyang	198000
17	20SAC00AH201 A	Paquete de aire acondicionado techo	Edificio AQCS	2 sets (A Y B) (100% x 2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami- Bumyang	106000
18	20SAC00AH201 B	Paquete de aire acondicionado techo	Edificio AQCS	2 Sets, 1 Set Stand-by)	Kiturami- Bumyang	106000

*Nota.* La tabla muestra algunas características técnicas, y breves descripciones del tipo de unidades y el área donde operan los equipos de aire acondicionado instalados actualmente en la empresa.

### ***3.1.2 Verificación del estado de las unidades manejadoras instaladas, describiendo cuales de ellas se encuentran en funcionamiento o fuera de servicio.***

Al realizar el recorrido por cada uno de los edificios de la planta, con el fin de verificar el estado de los equipos, se hallaron diferentes equipos con fallas y algunos de ellos no funcionales en las unidades de refrigeración de la planta, también algunos equipos que cuentan con dos compresores, son forzados a trabajar sin alguno de ellos, cuando estos presentan fallas, debido a la necesidad de refrigeración dentro de los centros de control de motores.

En la tabla número 4 se evidencian los estados de funcionamiento de los equipos que no cuentan con sus unidades compresoras o también sin los motores de ventiladores de disipación de calor, a los equipos que se encuentran funcionando se hizo la recomendación de

realizar mantenimiento general, debido a que en estos equipos no se les ha realizado mantenimientos internos, como cambios de aceite a sus motores o revisión de rodamientos y cojinetes, entre otros.

**Tabla 4.**

*Verificación del estado actual de equipos de refrigeración.*

Ítem	No. Equipo	Tipo Unidad	Área De Servicio	Estado Actual
1	20SAF00AH501 B	Unidad de condensación enfriada por aire	Patio de Edificio control de carbones	Realizar mantenimiento general
2	20SAF00AH501 A	Unidad de condensación enfriada por aire	Patio de Edificio control de carbones	La unidad condensadora A se encuentra fuera de servicio, debido a que su compresor se encuentra averiado y además su motor de ventilación, que disipa calor, no se encuentra en funcionamiento por lo cual se encuentra fuera de servicio.
3	20SAF00AH301 A	Unidad de control de temperatura y humedad	Edificio control de carbones	Realizar mantenimiento general, debido a que la unidad se encuentra fuera de servicio.
4	20SAF00AH301 B	Unidad de control de temperatura y humedad	Edificio control de carbones	Mantenimiento general.
5	20SAG00AH501 A (1 Y 2)	Unidad de condensación enfriada por aire	Edificio planta de agua	En la unidad de condensación A, se encuentra averiado el motor del ventilador de disipación de calor, por lo tanto, el equipo se encuentra trabajando a un 50 % de la capacidad total.
6	20SAG00AH501 B (1 Y 2)	Unidad de condensación enfriada por aire	Edificio planta de agua	Mantenimiento general.

7	20SAG00AH301 A	Unidad de control de temperatura y humedad	Edificio planta de agua	Mantenimiento general.
8	20SAG00AH301 B	Unidad de control de temperatura y humedad	Edificio planta de agua	Mantenimiento general.
9	20SAM00AH50 1	Unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	En la unidad condensadora A no se encuentra en funcionamiento su respectivo compresor.
10	20SAM00AH50 2	Unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	Mantenimiento general.
11	20SAM00AH50 3 A	Unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	Mantenimiento general.
12	20SAM00AH50 3 B	Unidad de condensación enfriada por aire	Edificio turbina	La unidad condensadora B, su compresor, no se encuentra en funcionamiento, lo que implica, que este equipo se encuentre fuera de servicio.
13	20SAM00AH10 1	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (área eléctrica)	Mantenimiento general.
14	20SAM00AH10 2	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (área eléctrica)	Mantenimiento general.
15	20SAM00AH10 3 A	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (área control y oficinas)	Mantenimiento general.
16	20SAM00AH10 3B	Unidad manejadora de aire	Edificio turbina (área control y oficinas)	Mantenimiento general.
17	20SAC00AH201 A	Paquete de aire acondicionado techo	Edificio AQCS	Mantenimiento general.
18	20SAC00AH201 B	Paquete de aire acondicionado techo	Edificio AQCS	Mantenimiento general.

*Nota.* La tabla 4 indica las observaciones encontradas en cada unidad de los aires

acondicionados y una observación de mantenimiento general para los equipos funcionales.

***3.1.3 Consultas de la funcionalidad de los equipos y componentes de los aires acondicionado que allí se encuentran.***

En las siguientes imágenes se puede evidenciar los equipos encontrados en unidades condensadoras de planta de agua, control de carbón y edificio turbina, de los cuales los ventiladores de planta de agua y carbón no están funcionando.

**Figura 9.**

*Unidad condensadora sin motor y ventilador disipador de calor.*



*Nota.* La figura muestra una unidad condensadora del edificio planta de agua, sin su respectivo motor y ventilador disipador de calor.

**Figura 10.**

*Unidad condensadora sin ventilador disipador de calor.*



*Nota.* La figura muestra unidad condensadora del edificio carbones sin el ventilador disipador de calor.

**Figura 11.**

Unidad condensadora funcional, completa.



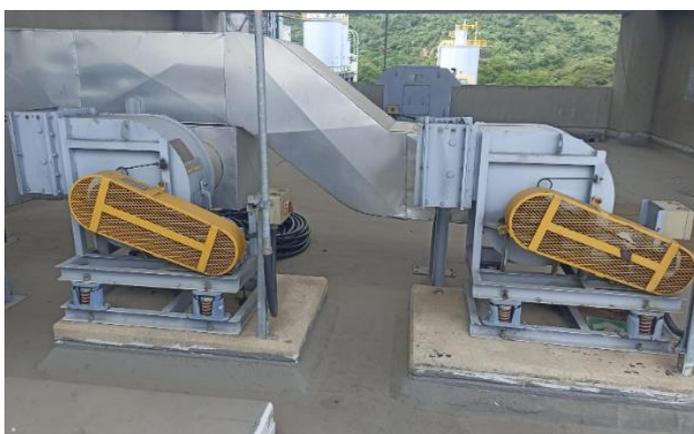
*Nota.* La figura 11 evidencia una unidad de condensación funcional completa.

En las figuras 9,10 y 11 se evidencian los estados en que se encuentran algunas unidades condensadoras de edificios planta de agua y carbones, observándose algunas sin los equipos que disipan el calor, lo cual ha conllevado a inhabilitar algunos sistemas y en algunos casos a forzar a los equipos a operar de esta manera, viéndose afectado el rendimiento de los equipos y la falta de refrigeración de las salas.

En la figura 12 se observan los motores de impulsión del aire refrigerado en las unidades condensadoras del edificio turbina, estos ventiladores se encargan de impulsar el aire a través de los ductos y distribuirlo en las salas MCC, cuarto de baterías, pasillos, oficinas y salas de mandos, estos equipos se encuentran funcionando actualmente.

**Figura 12.**

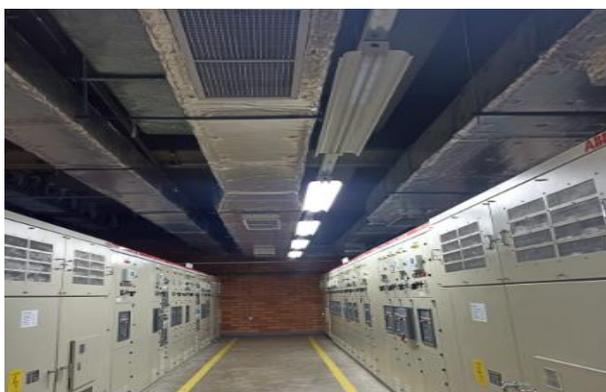
*Ventiladores de impulsión aire.*



*Nota.* La figura indica los ventiladores de impulsión de aire hacia las unidades evaporadoras del edificio turbina.

**Figura 13.**

*Ductos y rejillas de ventilación.*



*Nota.* En la figura se indica el estado de recubrimiento y buen estado de los ductos de

distribución del aire refrigerado del edificio AQCS.

Respecto a la figura 13; se logra ver los ductos con sus respectivos aislamientos los cuales se encuentran en un buen estado y pueden ser tenidos en cuenta para nuevas instalaciones.

### ***3.1.4 Dar diagnóstico del estado actual de cada una de las unidades manejadoras.***

Al verificar las actividades anteriormente mencionadas se diagnostica que con respecto al estado en que se encuentran los equipos actualmente es poco favorable para el cumplimiento de sus tareas, las cuales son principalmente, refrigerar los centros de control de motores, protegiendo de la elevación de la temperatura de estos equipos eléctricos y electrónicos que allí se encuentran, además evitando disparos de relés de protección lo cual puede implicar paradas de planta. En cuanto a la forma en que se encuentran operando se tienen los siguientes hallazgos. Como primer y principal hallazgo es que estos equipos deberían estar funcionando bajo el control de un PLC, el cual en este momento está inhabilitado del sistema, debido a que la empresa no ha encontrado personal idóneo para volver a poner en servicio el control automatizado, además en los siguientes equipos, no se encuentran en funcionamiento sus respectivos compresores.

Unidad de condensación A edificio control de carbón. (20SAF00AH501 A) (9,4 kW)

Unidad de condensación edificio turbina. (20SAM00AH501) (73 kW)

Unidad de condensación edificio turbina. (20SAM00AH503 B) (198 kW)

En los siguientes equipos, no se encuentran en funcionamiento los motores de

ventilador, disipador de calor.

Unidad de condensación A edificio control de carbón. (20SAF00AH501 A)

Unidad de condensación A edificio planta de agua. (20SAG00AH501 A (2)) (17 kW)

**Figura 14.**

*PLC de control de aires acondicionados.*



*Nota.* En la figura 14 se muestra el PLC de control del sistema de aire acondicionado actual, el cual no se encuentra funcional.

Este diagnóstico no se enfatiza en la calidad de los equipos, porque estos equipos son robustos, industriales de gran calidad y capacidad, el diagnóstico se enfoca más en la complejidad de los equipos, la dificultad para conseguir sus repuestos debido a que son equipos coreanos y por la dificultad de conseguir personal idóneo para el mantenimiento que estos equipos requieren.

Basado en esto, la empresa requiere de equipos de aire acondicionado que cubran los requerimientos de climatización de las salas eléctricas, centros de control de motores y salas de control de la planta, contando con equipos comerciales en el país, con facilidad de contratar personal de mantenimiento para ellos y además facilidad a la hora de conseguir repuestos y consumibles de estos equipos, basado en ello en la fase 2 del proyecto, se definirán las condiciones de diseño y la capacidad de enfriamiento que se requiere abarcar en la planta.

**Objetivo 2. Definir las condiciones de diseño y las cargas de enfriamiento, para los edificios de la planta identificando los requerimientos de los equipos instalados para trabajar en óptimas condiciones.**

***3.2.1 Verificación de fichas técnicas o manuales de equipos electrónicos de control en cada área con el fin de conocer las temperaturas óptimas y requeridas de trabajo de estos equipos.***

Para la verificación y cálculo de la carga térmica requerida en cada edificio primeramente es necesario conocer qué condiciones de temperatura requieren los equipos de los MCC y las salas de refrigeración con el fin de establecer la temperatura de diseño.

Los dispositivos eléctricos y electrónicos, trabajan con desempeños altos, aumentando el consumo de energía junto con la generación de calor en el espacio donde se encuentran, esto se debe a que la relación entre la energía y el calor en estos dispositivos es directamente proporcional; la electricidad que entra al dispositivo equivale a la cantidad de calor en watts

que se produce.

Un aumento en las temperaturas sostenidas por encima de los 34 °C reduce la vida útil de los equipos electrónicos y eleva el consumo de energía, generando con ellos elevación de costos de producción, por ende, garantizar un rango de temperatura ideal según la (ASHRAE, American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, 2011) en un rango entre los 18°C y los 27°C es lo esencial para el buen funcionamiento de los equipos. Cuando la temperatura sobrepasa estos rangos, los equipos se sobrecalientan y las protecciones térmicas(relés) se pueden activar, al garantizar un flujo de temperatura constante, con la climatización de aire, se mantienen condiciones óptimas para los equipos de los sistemas MCC, los cuales proveen el acceso, la comunicación y el procesamiento de los datos, además de obtener una operación confiable y prolongar la vida útil de estos equipos.

### **Temperaturas de trabajo de las MCC.**

Los cuadros principales de distribución de baja tensión MNS con accesibilidad posterior ha sido diseñado para ser instalado en importantes instalaciones eléctricas, como por ejemplo en las plantas petroquímicas, las acerías, los trenes de laminación, las centrales eléctricas, las plataformas petroleras, las embarcaciones, entre otras. Las condiciones de servicio en estas instalaciones resultan en general extremadamente críticas: la presencia de corrientes elevadas y los niveles de cortocircuito efectivos requieren cuadros con elevadas prestaciones. Además, debe garantizarse la seguridad del personal, la continuidad de servicio, la facilidad de inspección y la reducción de tiempo para el mantenimiento e instalación. Por otra parte, la posibilidad de ampliar fácilmente el sistema y el espacio ocupado extremadamente reducido, constituyen aspectos imprescindibles. El cuadro MNS responde

plenamente a todos estos requisitos. Además, se integra perfectamente con todos los equipos de última generación, garantizando la conformidad con todos los requisitos de mercado.

(ABB, 2016)

Primero que todo se debe tener en cuenta que lo primordial es mantener dentro del MCC, la temperatura adecuada de forma estabilizada y controlada, permitiendo tener un MCC robusto, confiable y duradero. El rango de temperatura óptimo en estos equipos, está dado entre 17°C y 22°C. Es necesario aclarar que esa temperatura no es de carácter obligatorio, sino que existe también un margen aceptable de operación que sería de 15 °C y 27 °C. Ahora cualquier temperatura mayor a 27 °C deberá ser corregida de manera inmediata, ya que implica poner en riesgo el equipamiento del MCC.

En la actualidad, existe una discusión sobre cuál es la temperatura ideal para operar un MCC, debido a la publicación de las mejores prácticas recomendadas por el reconocido organismo (ASHRAE, American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, 2011) (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), donde la entidad sugiere un rango de operación permitido más amplio según el tipo de MCC. En 2004 la recomendación de operación era entre 20 °C y 25 °C; en la publicación del año 2008, el rango recomendado se amplió para trabajar entre los **18 °C y 27 °C**.

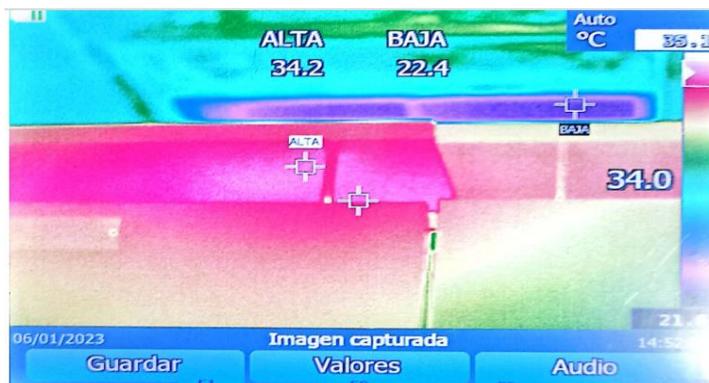
El cuadro MNS es utilizable en el interior de locales cerrados destinados a equipos eléctricos y otros equipos de acuerdo con su grado de protección que puede alcanzar. Sus condiciones ambientales y de operación a temperatura ambiente pueden alcanzar una temperatura máxima de 40°C, durante un lapso corto, 35°C máxima promedio alcanzada

durante 24 horas y una temperatura mínima de -5 grados, además se considera, una humedad relativa máxima de 50%, también la sala donde se instalan debe contar con ventilación para evitar condensaciones en los equipos.

Al realizar análisis de termografía de los equipos, se puede observar que las temperaturas de la sala se encuentran por encima de los 27°C como podemos observar en las figuras 15 y 16, el cuadro de baja tensión se encuentra disipando calor a 34,2°C y su rango de operación es de 35 °C, la medición fue realizada el día 6 de enero de 2023 alrededor de las 3 de la tarde con una temperatura exterior de 30 °C.

### Figura 15.

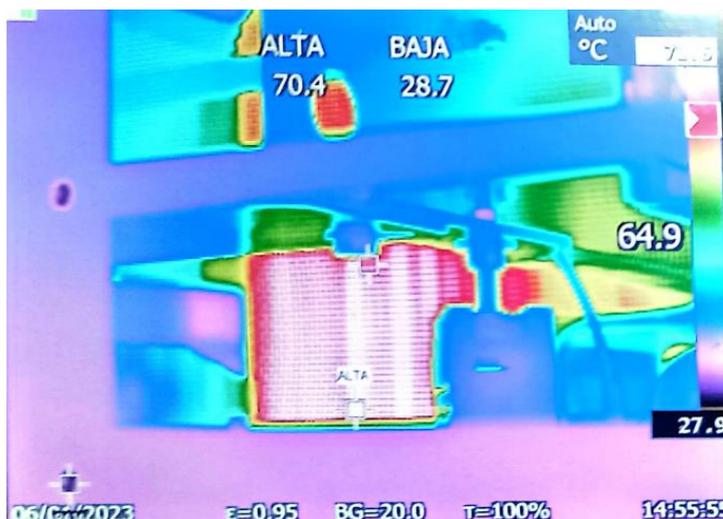
Termografía de cuadro MNS de baja tensión en sala MCC 2 nivel edificio turbina.



*Nota.* La figura indica la toma de termografía en las rejillas disipadoras de calor de un cuadro conmutador MNS el cual contiene contactores y disyuntores de baja tensión del edificio turbina.

### Figura 16.

*Termografía en transformador 480 v sala MCC 2 nivel edificio turbina.*



*Nota.* La figura indica la toma de termografía en las rejillas disipadoras de calor de un transformador del edificio turbina.

En la figura 16 se le realizó la toma a un transformador de la sala MCC en la que se puede observar la disipación del equipo que es la temperatura marcada como “ALTA” de 70,4 °C y la temperatura “BAJA” es la temperatura de las paredes de la sala, notándose de 28,7 °C.

***3.2.2 Determinación de la carga de enfriamiento requerida en cada edificio, teniendo en cuenta la orientación y cantidad de paredes, ventanas, techos, puertas, además de los equipos y las temperaturas que estos requieren para trabajar en óptimas condiciones.***

### **Condiciones de diseño.**

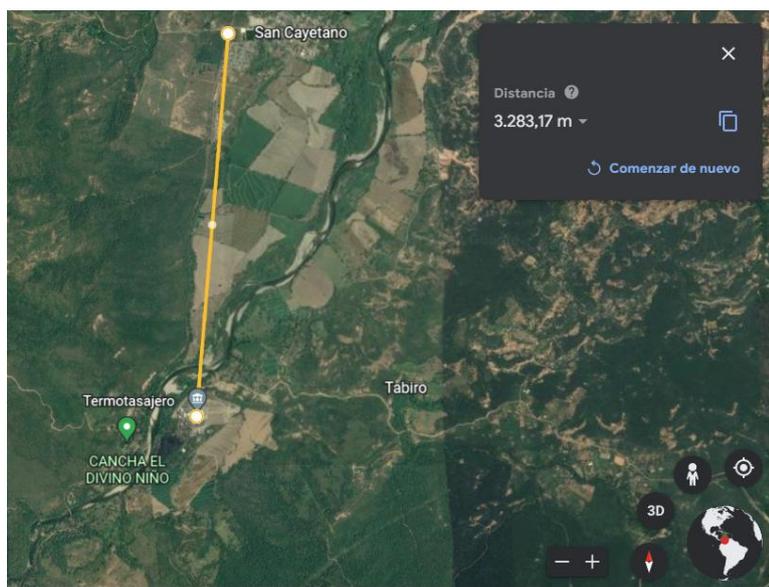
En la práctica, para determinar las condiciones interiores del local o zona de enfriamiento, suelen acogerse las condiciones de diseño establecidas por la (ASHRAE, American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, 2011).

**UBICACIÓN:** El sitio se encuentra ubicado aproximadamente 3 km al sur del

municipio de San Cayetano continuo al margen el Río Zulia en el Departamento de Norte de Santander, Colombia, esta información ha sido extraída del sistema de información geográfica, como se logra apreciar en la figura 17, (Google Earth, 2022).

### Figura 17.

*Ubicación de la empresa Termotasajero S.A E.S. P*



*Nota.* Obtenido de (Google Earth, 2022)

Los siguientes datos extraídos de revista de información climática; (Weather, 2022), y los sistemas de coordenadas geográficas de (Google Maps, 2022).

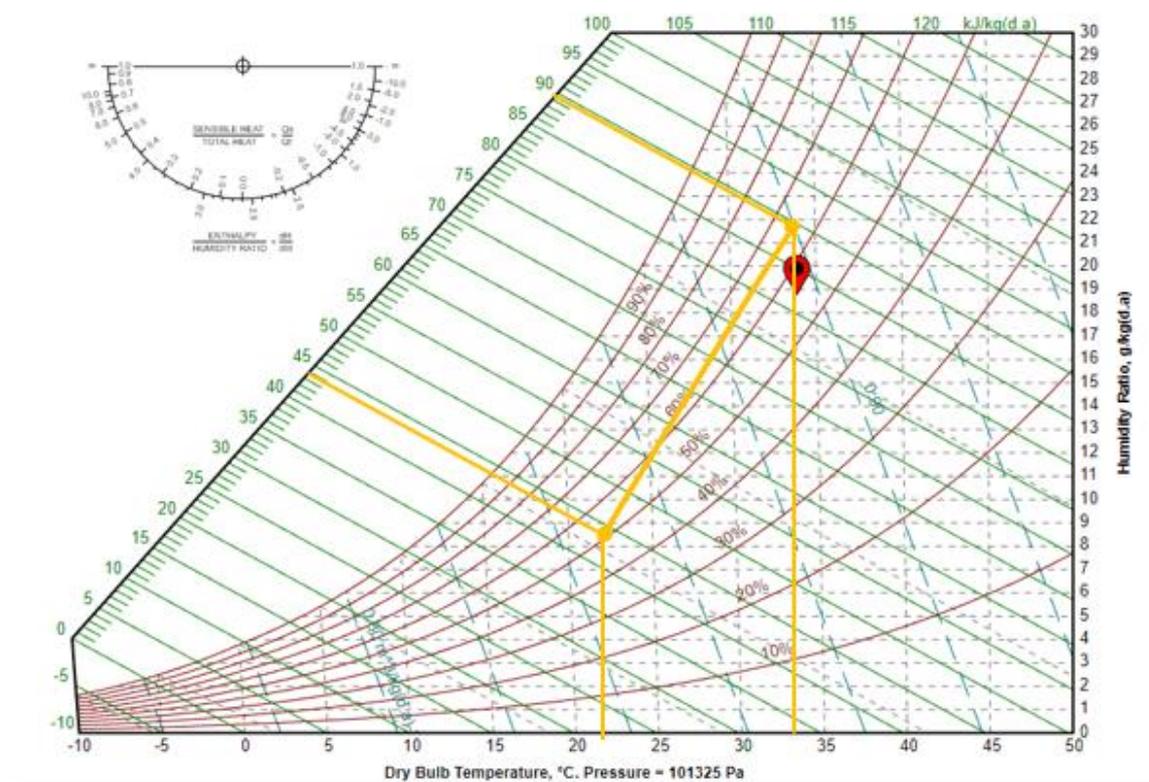
- Latitud: 7°8481' N
- Longitud: 72°6327' W
- Altitud: 258.25 m.s.n.m
- Temperatura ambiente máx. en verano: 34°C
- Presión atmosférica: 1013 hPa = 101300 Pa
- Humedad relativa más baja: (42,3 %)

- Humedad relativa más alta: (65,3%)
- Temperatura bulbo seco verano: (33,8 °C)
- Temperatura bulbo húmedo verano: (23,4 °C).

En la figura número 18 se pueden apreciar la ubicación de los parámetros de diseño insertados en el gráfico psicrométrico para una temperatura de 33,8°C y una humedad relativa del 55%. Se observa en el punto más alto, la temperatura más alta considerada para el diseño, la humedad relativa más alta de 65% con una entalpía que se encuentra en la parte superior izquierda la cual es aproximadamente 90 kJ/kg. En el punto más bajo se encuentra la temperatura de diseño, la cual es de 22°C con la humedad relativa más baja de la región la cual es de 55% con una entalpía del aire de aproximadamente 45 kJ/kg, estos parámetros de diseño son considerados según el libro (ASHRAE, Heating, Ventilating and Air-Conditioning APPLICATIONS, 2007) en el capítulo 3.

**Figura 18.**

*diagrama psicrométrico.*



*Nota:* En la figura se ilustra los puntos específicos de temperaturas de diseño y sus respectivas humedades relativas. Obtenido de (Fly carpet, 2022)

En la tabla 5, se muestran los resultados para el punto específico rojo del diagrama, ubicándose con una temperatura de 33,8°C y una humedad relativa de 55%, arrojando datos como volumen específico, temperaturas de rocío, humedades, presiones, entalpía entre otros.

**Tabla 5.**

*Cuadro de parámetros de grafico psicrométrico.*

T. seco, °C	33,8°C
Humedad rel. %	55%

<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
T. Bulbo. seco	33.863	° C
Relación de humedad	18.553	g/kg(da)
Rel. Húmedo	55.329	%
T. bulbo húmedo	26.263	° C
Rocío T.	23.654	° C
T. Saturación	26.185	° C
Entalpía	81.596	kJ/kg(da)
P. Vapor	2.934.861	Pa
P. Sat. Vapor	5.283.542	Pa
Calor Especifico.	1.031	kJ/(kg*K)
Volumen especifico.	0.896	m <sup>3</sup> /kg(da)
Densidad	1.137	kg/m <sup>3</sup>

*Nota:* Obtenido de (Fly carpet, 2022).

Para realizar este proyecto, lo primero que se llevará a cabo, será determinar los cálculos de carga térmica los cuales se hallarán con el fin de conocer la cantidad de calor que es necesario extraer de las salas donde se realizarán las mediciones. Este cálculo consiste en determinar las cantidades de calor sensible y latente generado, con en el fin de mantener en el lugar acondicionado, las condiciones de temperatura que se fijarán, basados en esta carga térmica, en las fichas técnicas y bases de datos sobre los equipos y los parámetros a tener en cuenta dentro de cada uno de estos lugares. Para esto se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Planos estructurales
- Orientación de los edificios.
- Tipos de edificación.
- Dimensiones.
- Cantidad de ocupantes.
- Equipos eléctricos y electrónicos.

Para el estudio, en el cual debe quedar constancia de los cálculos realizados, el manejo de los datos se llevará a cabo en una hoja de cálculo, con el fin de facilitar en ellos la revisión y análisis de los mismos, esta información se organizará en diferentes hojas de cálculo, para facilitar el manejo y obtención de la carga térmica en cada edificio y sala de distribución del aire acondicionado.

Para la temperatura interior de diseño se ha considerado una temperatura de 22°C tomada de referencia de la tabla 5 del libro de Carrier (Carrier air conditioning company., 1980) para sistemas de ventilación y aire acondicionado, cumpliendo con el tipo de industria y la aplicación en la que será usado y además teniendo en cuenta las temperaturas adecuadas para los MCC. Ver en anexo 1.

### **Cálculo de la carga térmica.**

Para la estimación de los valores de los coeficientes de transmisión térmica de los techos, ventanas, puertas y paredes se ha basado en la norma (NBE CT-79), la cual es una norma básica para condiciones térmicas de las edificaciones. Esta norma nos señala que

considerando un cerramiento con caras isotermas, que separa dos ambientes, también isotermos, el coeficiente total de transmisión térmica es el flujo de calor por unidad de superficie quedando su ecuación de la siguiente manera:

**Figura 19.**

*Ecuación 1, para coeficientes de transmisión de calor.*

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_i}}$$

Donde k es el coeficiente de transmisión de calor.

$h_e$  es el coeficiente superficial de transmisión de calor, dado en ( $W/m^2\text{°C}$ ).

$h_i$  es el coeficiente superficial de transmisión de calor interior dado en ( $W/m^2\text{°C}$ ).

$e$ , es el espesor de cada capa de material en metros (m).

$\lambda$ , es la conductividad térmica de cada material dado en ( $W/m \text{ °C}$ ).

Para el estudio se realizó el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor de paredes, ventanas, puertas, tabulando los materiales y su respectiva resistencia térmica referenciados al capítulo 26 de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

A partir de la tabla 6 hasta la tabla 10 se observa cómo se hallaron los coeficientes de transmisión de calor para las paredes, techos, ventanas y puertas de los edificios, teniendo en cuenta que en su mayoría son paredes de ladrillo de arcilla, y algunas paredes son de hormigón armado. Los valores de conductividad térmica y resistencia térmica fueron localizados la fuente; fundamentals of heat and mass transfer (BERGMAN, LAVINE,

INCROPERA, & DEWITT, 2007), además basados en la (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001), y teniendo en cuenta las películas de aire exterior e interior ( $h_e$  y  $h_i$ ) los cuales son coeficientes de convección al interior y exterior.

**Tabla 6.**

*Cálculo de coeficientes  $k$  para paredes de ladrillo macizo de arcilla.*

Material Pared	Espesor(e) en metros(m)	Conductividad( $\lambda$ ) (W/m°C)	Resistencia(R) (m°C/ W)
Ladrillo de arcilla	0.10	0.67	0.179
Superficie exterior	-	-	0.04
Superficie interior	-	-	0.13
Cemento	0.02	0.5	0.04
TOTAL			0.389
$k = \frac{1}{0.389}$			2.58 W/m <sup>2</sup> °C

*Nota.* En la tabla se indican las características del material del que están compuestas las paredes de ladrillo macizo de arcilla.

De la tabla anterior (6), se obtuvo el coeficiente de transmisión de calor ( $k$ ), siendo  $k = 2.58 \text{ W/m}^2\text{°C}$  para paredes de ladrillo macizo sin recubrimiento tal como se puede observar en la siguiente figura (figura 20):

**Figura 20.**

*Paredes interiores de ladrillo macizo sin recubrimiento.*



*Nota.* la imagen evidencia los muros de ladrillo de arcilla.

Para las paredes o muros de concreto armado, el coeficiente de transmisión de calor se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

*Cálculo de coeficientes k para paredes de concreto armado.*

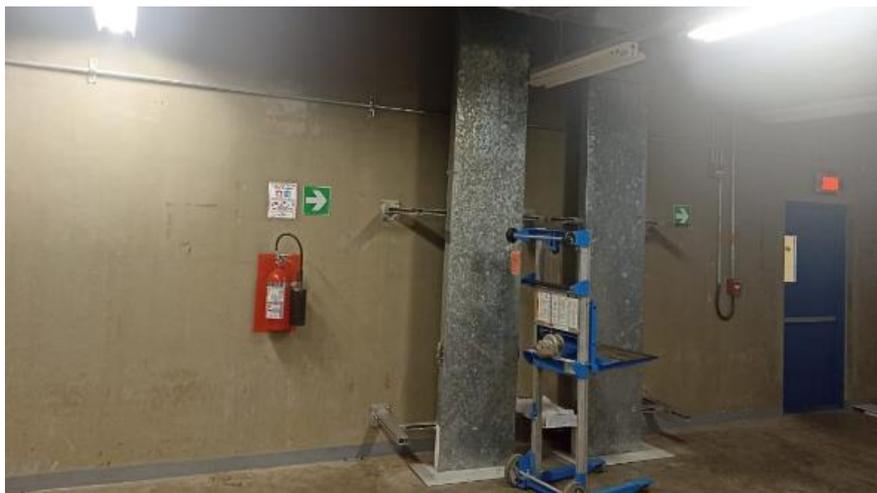
material pared	Espesor en metros(m)	Conductividad( $\lambda$ )	Resistencia ( $m^2C/W$ )
Superficie exterior	-	-	0,04
Muro de concreto armado	0,20	1,74	0,1149
Recubrimiento cemento	0,02	0,3	0,0667
Superficie interior	-	-	0,13
TOTAL			0,3516
$k = \frac{1}{0.3516}$			2,8440 W/m <sup>2</sup> C

*Nota.* En la tabla se indican las características del material del que están compuestos los muros de concreto armado.

En la figura 21 se puede observar los muros interiores de concreto armado, para los cuales su coeficiente de transferencia de calor varía.

**Figura 21.**

*Paredes de concreto armado.*



*Nota.* la imagen evidencia los muros de concreto armado.

Para los coeficientes de transmisión de calor de los techos, ventanas y puertas se realizó de la misma manera como podemos observar desde la tabla 8 hasta la tabla 10.

**Tabla 8.**

*cálculo de coeficiente k para techo.*

Material Techo	Espesor(e) en metros(m)	Conductividad( $\lambda$ ) (W/m °C)	Resistencia(R) (m <sup>2</sup> °C/ W)
Superficie exterior	-	-	0.04
Hormigón armado	0,20	1,74	0,1149
Recubrimiento cemento	0,05	0,3	0,166

Poliestireno expandido	0,02	0,037	0,5405
Superficie interior	-	-	0,13
TOTAL			0,9914
$k = \frac{1}{0,9914}$			1,0086 W/m <sup>2</sup> °C

*Nota.* En la tabla se indican las características del material del que están compuestos los techos de placa fundida.

### Tabla 9.

*Cálculo de coeficiente k para ventanas.*

material ventanas	Espesor(e) en metros(m)	Conductividad( $\lambda$ ) (W/m °C)	resistencia(R) (m <sup>2</sup> °C/ W)
Superficie exterior	-	-	0.04
vidrio	0.005	0,95	0.00526
Superficie interior	-	-	0.13
TOTAL			0.1753
$k = \frac{1}{0.1753}$			5.70 W/m <sup>2</sup> °C

*Nota.* En la tabla se indican las características del material del que están compuestas las ventanas de los edificios.

En la figura 22 podemos observar el tipo de ventana de que se encuentran en cada edificio, las cuales son ventanas de chasis simple, horizontales, sencillas según se especifica en la tabla 33 del manual de (Carrier air conditioning company., 1980) y en la figura 22 las puertas instaladas en los edificios.

### Figura 22.

*Tipo de ventanas instaladas en los edificios de la planta.*



*Nota.* la imagen evidencia los tipos de ventanas que se encuentran en los edificios.

### **Figura 23.**

*Tipo de puertas instaladas en los edificios de la planta.*



*Nota.* la imagen evidencia los tipos de puertas de acero que se encuentran en los edificios.

En la siguiente tabla (10) se halla el coeficiente de transmisión de para las puertas instaladas y se halló de la misma manera como se realizó en los anteriores casos, en donde además se agrega el acabado superficial, el cual corresponde a la película de pintura el cual recomienda según la emisividad considerada, un valor para la resistencia térmica de 0,16 (GARCÍA-HUIDOBRO, 2016).

**Tabla 10.**

*Cálculo de coeficiente k para puertas.*

Material puertas	Espesor(e) en metros(m)	Conductividad( $\lambda$ ) (W/m °C)	Resistencia(R) (m <sup>2</sup> °C/ W)
Superficie exterior	-	-	0.04
Acero	0.04	50.2	0.000796
Enlucido superficial	-	-	0.16
Superficie interior	-	-	0.13
TOTAL			0.33079
$k = \frac{1}{0.33079}$			3.023 W/m <sup>2</sup> °C

*Nota.* En la tabla se indican las características del material del que están compuestas las puertas de los edificios de operaciones de la empresa.

Al obtener los coeficientes de transmisión de calor a través de cada material, se procede a hallar la estimación de la carga térmica, la cual nos permite conocer la cantidad de calor que el sistema gana, esto nos llevará a conocer y seleccionar el equipo de aire acondicionado capacitado para producir y mantener las condiciones de temperatura que se establecen en el diseño.

Para evaluar y conocer la ganancia de carga térmica, se deben tener en cuenta las ganancias por radiación solar a través de los materiales y componentes que conforman el espacio que se desea acondicionar, es decir, paredes, ventanas, techos, puertas, además de las ganancias térmicas interiores, producidas por equipos eléctricos y electrónicos, iluminación, y también por las personas que allí trabajan.

Por último, se tiene en cuenta las ganancias de calor por la incorporación de aire

exterior la cual corresponde a la ventilación e infiltración de aire a través de puertas, ventanas y pasillos.

### **Ganancia de calor por radiación en paredes, techos, ventanas y puertas.**

Para la estimación de la carga térmica se ha basado el diseño en el manual de (Carrier air conditioning company., 1980), teniendo en cuenta el área, coeficiente de transmisión de calor, la diferencia de temperatura y la orientación. La ganancia de calor por radiación a través de paredes y techos está dada por la diferencia de temperatura de la carga de refrigeración (CLTD de las siglas temperature difference for cooling loads), para el cual se requiere el uso de la tabla 2 del capítulo 28 de la (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001) ,donde la ecuación de cálculo es la siguiente:

#### **Figura 24.**

*Ecuación 2, para ganancia de calor en paredes y techos.*

$$Q = A * K * (CLTD)$$

Donde tenemos que:

Q: es la cantidad de calor transmitida en Watts

A: el área la pared expuesta. (m<sup>2</sup>)

K: coeficiente global de transmisión térmica de la pared o techo. ( $\frac{W}{m^2 * K}$ )

(CLTD) es la diferencia de temperatura de la carga de refrigeración, determinada en las tablas de la (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001).

### **Ganancia de calor por radiación en vidrios o cristales de ventanas.**

La ganancia de calor absorbido a través de los vidrios de cada uno de los edificios estará dada de la siguiente manera:

#### **Figura 25.**

*Ecuación 3, Ganancia de calor en vidrios.*

$$Q_v = k * A * \Delta T$$

Siendo:

$Q_v$ : la cantidad de calor transmitida en Watts

$k$ : coeficiente global de transmisión térmica del vidrio, dado en  $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

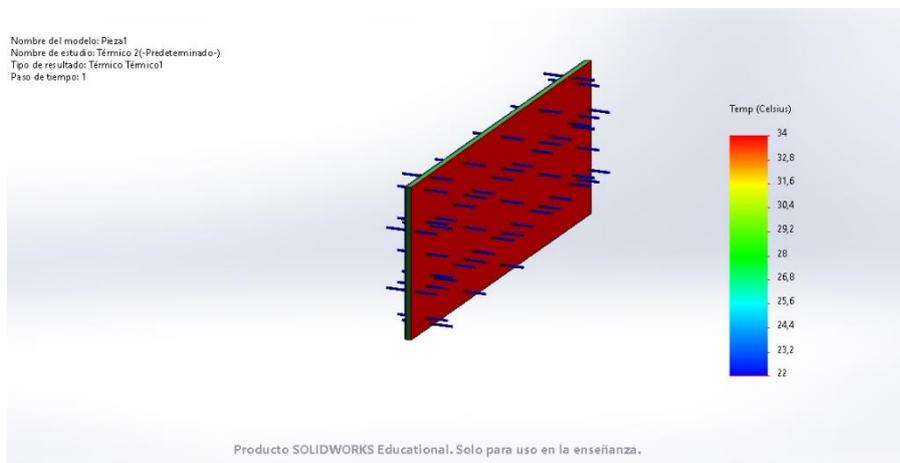
$A$ : el área del vidrio expuesto. ( $m^2$ )

$\Delta T$ : la diferencia de temperatura interna y externa.

En las siguientes figuras (26, 27, 28), se puede observar la simulación de transferencia de calor a través de las paredes, tomando la temperatura máxima exterior, la temperatura interior de diseño y el coeficiente de transmisión de calor de esa pared.

**Figura 26.**

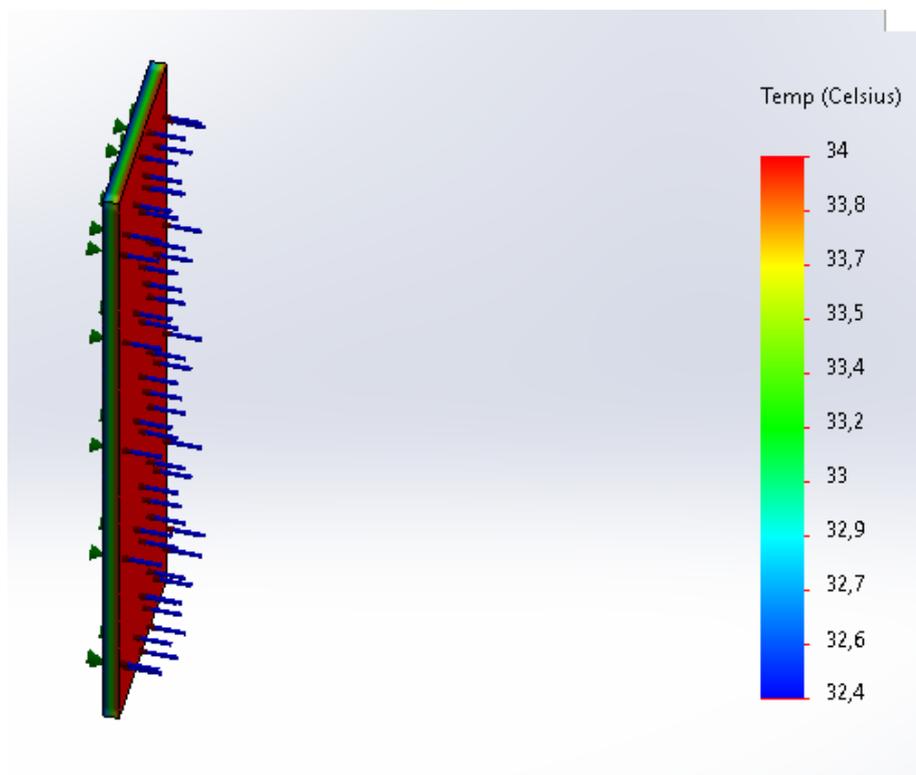
*Simulación temperaturas en paredes.*



*Nota.* En la figura se evidencia la simulación de transferencia de calor a través de una pared del edificio turbina, realizada en el programa SolidWorks.

**Figura 27.**

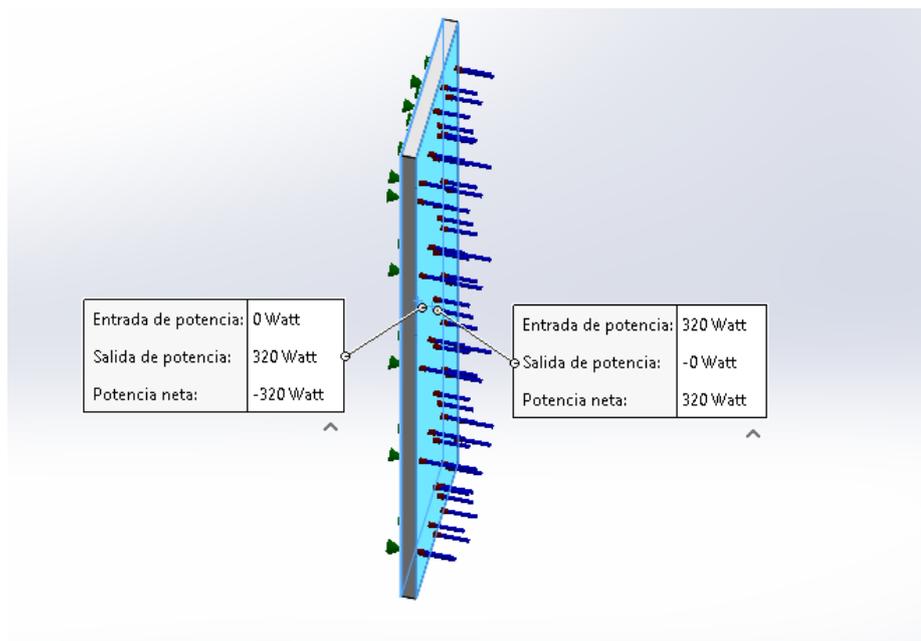
*Simulación de diferencia de temperaturas críticas, por radiación en paredes.*



*Nota.* En la figura se evidencia la simulación de transferencia de calor a través de una pared del edificio turbina, realizada en el programa SolidWorks.

**Figura 28.**

*Simulación de la transferencia de calor (Watt), en pared de ladrillo.*



*Nota.* En la imagen se muestra la simulación de calor trasferido en Watts en la pared de ladrillo por medio del programa SolidWorks.

En las tablas 11, 12 Y 13 se mostrarán las tablas de cálculos de las cargas térmicas en paredes, techos, ventanas y puertas en las salas del edificio turbina, según las ecuaciones 2 y 3. En estas tablas se especifica la orientación de cada ítem, su área, su respectivo coeficiente de transmisión(k), la diferencia de temperatura y el total de la carga térmica dado en watts, para la diferencia de temperatura (CLTD), se halla por diferencias de temperaturas por cargas de enfriamiento recomendado por la referencia (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001), la cual se basa en orientación de cada pared, ventana y puerta.

**Tabla 11.**

*Carga térmica por radiación en nivel 1 de edificio turbina.*

Ítem	Room	Orientación	Medidas(L*A) (M)		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. Transmisión K (W/m <sup>2</sup> * K)	Diferencia De Temp. (CLTD)	Total
Pared	Locker(M)	N	1,75	7	12,25	2,58	7	221,235
Pared	Locker(M)	E	1,79	7	12,5	2,58	10	322,5
Pared	Locker(M)	W	3,07	7	21,5	2,58	13	721,11
Pared	Corridor	W	5,71	7	40	2,58	13	1341,6
Puerta	Corridor	N	1,90	2,1	4	3,023	7	84,644
Pared	Corridor	E	4,47	7	31,32	2,58	10	808,056
Pared	Corridor	S	0,58	7	4,085	2,58	7	73,7751
Pared	Corridor	E	8,06	7	56,43	2,58	10	1455,894
Pared	Corridor	N	5,28	7	36,99	2,58	7	668,0394
Puerta	Corridor	S	2,00	3	6	3,023	7	126,966
Ventana Trans	Corridor	N	1,00	1,4	1,4	5,7	12	95,76
Puerta	SWGR Room	N	1,00	2,1	2,1	3,023	7	44,4381
Puerta	SWGR Room	N	4,00	3	12	3,023	7	253,932
Pared	SWGR Room	N	24,10	7	153,2	2,58	7	2766,792
Pared	SWGR Room	E	9,60	7	67,2	2,58	10	1733,76
Puerta	SWGR Room	E	1,00	2,1	2,1	3,023	10	63,483
Pared	SWGR Room	E	9,00	7	63	2,844	10	1791,72
Pared	SWGR Room	S	24,10	7	168,7	2,58	7	3046,722
Pared	SWGR Room	W	18,60	7	130,2	2,58	13	4366,908
Carga de enfriamiento en watts calculado								<b>19.987 W</b>

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica, la cual se basa en orientación, medidas, diferencia de temperatura y coeficientes de transmisión de calor.

**Tabla 12.**

*Carga térmica por radiación nivel 2 edificio turbina.*

Ítem	Room	Orientación	Medidas (L*A) (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. Transmisión K (W/m <sup>2</sup> *K)	Diferencia De Temp. (CLTD)	Total
Pared	Battery Room	N	6,84	5,85	40,014	2,58	7	722,65284
Pared	Battery Room	W	9,57	5,85	55,9845	2,844	13	2069,8589
Pared	Battery Room	E	9,57	5,85	55,9845	2,58	10	1444,4001
Puerta	Battery Room	S	3,10	2,1	6,51	3,023	7	137,75811
Pared	Battery Room	S	6,84	5,85	33,504	2,58	7	605,08224
Pared	Corridor	N	5,98	5,85	35	2,58	7	632,1
Pared	Corridor	W	1,52	5,85	8,91	2,58	13	298,8414
Pared	Corridor	W	2,68	5,85	15,66	2,58	13	525,2364
Pared	Corridor	E	9,65	5,85	56,43	2,58	10	1455,894
Pared	Corridor	E	6,32	5,85	36,99	2,58	10	954,342
Ventana	Corridor	N	1,20	1,2	1,44	5,7	12	98,496
Pared	Toilet(F) Locker Room	W	5,34	5,85	31,25	2,58	13	1048,125
Pared	Toilet(F) Locker Room	N	2,82	5,85	16,5	2,58	7	297,99
Pared	Toilet(F) Locker Room	S	2,82	5,85	16,5	2,58	7	297,99
Pared	HVAC	E	9,00	5,85	52,65	2,58	10	1358,37
Pared	HVAC	W	9,00	5,85	46,14	2,58	13	1547,5356
Puerta	HVAC	W	3,10	2,1	6,51	3,023	13	255,83649
Pared	HVAC	S	23,5	5,85	137,47	2,58	7	2482,7082
Pared	HVAC	N	23,5	5,85	137,47	2,58	7	2482,7082
Techo	HVAC	-	23,5	9	216,9	1,0086	5	1093,8267
Puerta	LV SWGR ROOM	N	4	3	12	3,023	7	253,932
Pared	LV SWGR ROOM	N	17,3	5,85	89,205	2,58	7	1611,0423
Pared	LV SWGR ROOM	S	19,89	5,85	116,3565	2,58	7	2101,3983
Puerta	LV SWGR	E	1,00	2,1	2,1	3,023	10	63,483

ROOM								
Pared	LV SWGR ROOM	E	9,6	5,85	56,16	2,58	10	1448,928
Puerta	LV SWGR ROOM	W	1,00	2,1	2,1	3,023	13	82,5279
Pared	LV SWGR ROOM	W	18,6	5,85	108,81	2,844	13	4022,9233

Carga de enfriamiento en  
watts calculado **29.394 W**

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica, la cual se basa en orientación, medidas, diferencia de temperatura y coeficientes de transmisión de calor.

**Tabla 13.**

*Carga térmica por radiación nivel 3 edificio turbina.*

Ítem	Room	Orientación	Medidas (L*A) (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. Transmisión k (W/m <sup>2</sup> *K)	Diferencia De Temp. (CLTD)	Total
Pared	Central Control Room	W	9,00	5,9	46,8	2,58	13	1569,672
Techo	Central Control Room	-	19,89	9	179	1,0086	12	2166,472
Pared	Central Control Room	E	9,83	5,9	57,997	2,844	10	1649,434
Pared	Central Control Room	S	17,29	5,9	102	2,58	7	1842,12
Puerta	Electronic Room	W	3,00	2,1	6,3	3,023	13	247,5837
Pared	Electronic Room	W	8,47	5,9	50	2,58	13	1677
Pared	Electronic Room	E	9,83	5,9	58	2,58	10	1496,4
Pared	Electronic Room	S	10,00	5,9	59	2,58	7	1065,54
Puerta	Electronic Room	S	2,10	3	6,3	3,023	7	133,3143

Pared	Electronic Room	S	3,81	5,9	22,5	2,58	7	406,35
Pared	Electronic Room	S	1,58	5,9	9,3	2,58	7	167,958
Puerta	Electronic Room	S	1,00	2,1	2,1	3,023	7	44,4381
Puerta	Electronic Room	N	3,50	3	10,5	3,023	7	222,1905
Pared	Electronic Room	N	18,50	5,9	98,65	2,58	7	1781,619
Techo	Electronic Room	-	9,78	18,5	181	1,0086	12	2190,679
Pared	Corridor	S	4,58	5,9	27	2,58	7	487,62
Pared	Corridor	N	7,29	5,9	43	2,58	7	776,58
Pared	Corridor	E	4,03	5,9	23,76	2,58	10	613,008
Pared	Corridor	E	5,86	5,9	34,56	2,58	10	891,648
Pared	Corridor	E	3,02	5,9	17,82	2,58	10	459,756
Pared	Corridor	E	6,27	5,9	36,99	2,58	10	954,342
Pared	Corridor	W	3,70	5,9	21,85	2,58	13	732,849
Pared	Corridor	E	1,02	5,9	6	2,58	10	154,8
Pared	Corridor	W	3,27	5,9	19,32	2,58	13	647,9928
Ventana	Corridor	W	1,20	1,2	1,44	5,7	12	98,496
Techo	Corridor	-	6,29	7	44	0,65	12	343,2
Pared	Break Room	W	4,41	5,9	26	2,58	13	872,04
Pared	Break Room	N	1,51	5,9	8,91	2,58	7	160,9146
Pared	Break Room	S	5,32	5,9	31,39	2,58	7	566,9034
Techo	Break Room	-	5,25	5,9	31	1,0086	12	375,1992
Pared	Shift Supervisor'S	W	3,90	5,9	23	2,58	13	771,42
Pared	Shift Supervisor'S	N	3,34	5,9	19,71	2,58	7	355,9626
Pared	Shift Supervisor'S	S	4,70	5,9	27,74	2,58	7	500,9844
Techo	Shift Supervisor'S	-	4,00	7	28	1,0086	12	338,8896
Carga de enfriamiento en watts calculado								<b>26.763 W</b>

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica, la cual se basa en orientación, medidas, diferencia de temperatura y coeficientes de transmisión de calor.

En las anteriores tablas se ha calculado la carga térmica para el edificio turbina, dividida en cada nivel del edificio. En las siguientes tablas (14, 15 y 16) se realizará el cálculo

de los edificios de carbones, AQCS y planta de agua, calculándose de la misma manera como ha sido mostrado anteriormente.

**Tabla 14.**

*Carga térmica por radiación edificio carbones.*

Ítem	Room	Orientación	Largo* Ancho (L*A)		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. Transmisión K(W/m <sup>2</sup> *K)	Diferencia De Temp. (CLTD)	Total
Puerta	Sala De Control	W	2,00	2	4	3,023	13	157,196
Pared	Sala De Control	W	4,68	3,85	18	2,58	13	603,72
Pared	Sala De Control	E	4,68	3,85	18	3,125	10	562,5
Pared	Sala De Control	S	6,49	3,85	25	2,58	7	451,5
Pared	Sala De Control	N	5,45	3,85	21	2,58	7	379,26
Techo	Sala De Control	-	3,50	5	17,5	2,58	12	541,8
Ventana	Sala De Control	S	4,10	1,2	4,92	5,7	12	336,528

Carga de enfriamiento en watts **3032,50 W**  
calculado

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica, la cual se basa en orientación, medidas, diferencia de temperatura y coeficientes de transmisión de calor de cada sala.

Como se puede observar en la tabla 14 el edificio carbones es el más pequeño, el cual corresponde a un área de aproximadamente 25 m<sup>2</sup>, por lo que se puede observar su baja carga de enfriamiento respecto a los otros edificios.

**Tabla 15.**

*Carga térmica por radiación edificio AQCS.*

Ítem	Room	Orientación	Medidas(L*A) (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. Transmisión K(W/m <sup>2</sup> *K)	Diferencia De Temp. (CLTD)	Total
Puerta	PLC Control Room	S	1,20	2,1	2,52	3,023	7	53,32572

Pared	PLC Control Room	S	5,15	5,83	30	2,58	7	541,8
Pared	PLC Control Room	N	5,15	5,83	30,0245	2,58	7	542,24247
Pared	PLC Control Room	W	6,00	5,83	34,98	2,58	13	1173,2292
Techo	PLC Control Room	-	6,00	6	36	0,653	12	282,096
Pared	Elec. Room	N	10,46	5,83	61	2,58	7	1101,66
Pared	Elec. Room	N	6,17	5,83	36	2,844	7	716,688
Puerta	Elec. Room	N	2,00	2,8	5,6	3,023	7	118,5016
Pared	Elec. Room	E	7,20	5,83	42	2,844	10	1194,48
Pared	Elec. Room	E	7,20	5,83	42	2,58	10	1083,6
Pared	Elec. Room	S	11,66	5,83	68	2,58	7	1228,08
Pared	Elec. Room	S	6,17	5,83	36	2,58	7	650,16
Pared	Elec. Room	W	14,00	5,83	76,58	2,58	13	2568,4932
Techo	Elec. Room	-	18,50	14	259	0,653	12	2029,524
Ventana	Elec. Room	N	1,20	6	7,2	5,7	12	492,48
Ventana	Elec. Room	S	1,20	6	7,2	5,7	12	492,48
Puerta	Elec. Room	W	2,10	1,2	2,52	3,023	13	99,03348
Puerta	Elec. Room	W	2,10	1,2	2,52	3,023	13	99,03348
Puerta	Elec. Room	E	2,00	2,8	5,6	3,023	10	169,288

Carga de enfriamiento en watts **14.636 W**  
calculado

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica, la cual se basa en orientación, medidas, diferencia de temperatura y coeficientes de transmisión de calor de cada sala.

En la tabla 15 se ha mostrado el cálculo de la carga térmica por paredes, ventanas, techos y puertas del edificio AQCS (sistema de control de calidad de aire) donde podemos notar que se requieren refrigerar dos salas, una sala es la eléctrica, donde se encuentran los gabinetes conmutadores y relés, y la otra sala es la de control (PLC control Room), que es donde se encuentran sus operadores. Por otra parte, en la tabla 16 también se observa que se requiere acondicionamiento en la sala de control y la sala eléctrica de control de motores.

**Tabla 16.**

*Carga térmica por radiación edificio planta de agua.*

Ítem	Room	Orientación	Medidas (L*A) (m)		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. Transmisión K(W/m <sup>2</sup> *K)	Diferencia De Temp. (CLTD)	Total
Pared	MCC Room	E	8,42	3,68	30	2,58	10	774
Pared	MCC Room	S	5,16	3,68	19	2,58	7	343,14
Pared	MCC Room	W	3,25	2,68	8,71	2,844	13	322,02612
Ventana	MCC Room	W	1,50	1,2	1,8	5,7	12	123,12
Pared	MCC Room	W	5,17	3,68	19,026	2,58	13	638,11862
Puerta	MCC Room	S	2,00	2,75	5,5	3,023	7	116,3855
Pared	MCC Room	N	5,56	3,68	20,475	2,58	7	369,7785
Pared	control Room	E	7,70	3,68	28,336	2,58	10	731,0688
Pared	control Room	W	7,70	3,68	28,336	2,58	13	950,38944
Pared	control Room	S	5,50	3,68	14,74	2,58	7	266,2044
Puerta	control Room	S	2,00	2,75	5,5	3,023	7	116,3855
Puerta	control Room	N	2,00	2,75	5,5	2,58	7	99,33
Pared	control Room	N	5,56	3,68	20,4608	2,58	7	369,52204
Ventana	control Room	W	1,50	1,2	1,8	5,7	12	123,12
Techo	sala de control	-	5,12	16	81,855	0,653	12	641,41578
<b>Carga de enfriamiento en</b>								<b>5.984 W</b>

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica, la cual se basa en orientación, medidas, diferencia de temperatura y coeficientes de transmisión de calor de cada sala.

### **Ganancia de calor interno.**

Se conocen como ganancias de calor interno, a las cantidades de calor sensible y latente, que se produce dentro de la sala que se quiere acondicionar, este calor es emitido por los equipos eléctricos y electrónicos, motores, las personas, la iluminación que allí se encuentran.

Para el cálculo se ha tenido en cuenta:

personas: se determina la ganancia de calor debido a que las personas generan tanto calor sensible, como calor latente, cuyos valores varían según la intensidad del trabajo que se esté ejerciendo en su lugar de trabajo.

La ecuación relacionada es:

### **Figura 29.**

*Ecuación 4, carga térmica por personas.*

$$Q_p = \# \text{ personas} * K$$

Siendo:

$Q_p$ : la cantidad de calor transmitida en Watts.

# Personas: número de personas que trabajan en la sala a acondicionar.

K: coeficiente global de transmisión térmica la persona.  $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$ .

El coeficiente de transmisión térmica por persona ha sido extraído de la (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009) de la tabla 1, página 18.4(ver anexo 2), la cual nos indica las razones de calor sensible y latente a utilizar según el tipo de actividad laboral que se ejerce en la sala que se desea acondicionar. En la tabla número 17, se puede comprender los valores de ganancia de calor por personas según la actividad, que se ha usado en el cálculo, extraídos de la referencia citada.

**Tabla 17.**

*Calor emitido según estado de actividad de las personas.*

<b>Tipo de aplicación</b>	<b>Tipo de Actividad</b>	<b>Calor sensible (W/persona)</b>	<b>Calor latente (W/persona)</b>
Área de oficinas	Sentado, trabajo muy ligero.	70	45
Área de oficinas	Trabajo de oficina activo moderado	75	50

*Nota:* tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009)

En la tabla anterior se ha especificado según el tipo de actividad laboral, la ganancia de calor sensible y latente, por persona. la carga de enfriamiento determinada se puede ver reflejada en las siguientes tablas (18, 19 y 20), al tener en cuenta la cantidad de personas y su actividad laboral en cada sala, oficina en cada uno de los edificios.

**Tabla 18.**

*Carga térmica interna por personas, edificio Turbina, nivel 1.*

Concepto	Salas	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)	# De Personas	Calor Sensible Ganado (W)	Calor Latente Ganado (W)
Personas	Locker Room (M) Y Pasillos	75	55	8	600	440
Total					1040 W	

*Nota.* En la tabla se evidencia la carga térmica por personas, calculada según el calor sensible y latente, según las actividades que se realizan en cada sala, tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

**Tabla 19.**

*Carga térmica interna por personas, edificio Turbina, nivel 2.*

Concepto	Salas	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)	# De Personas	Calor Sensible Ganado (W)	Calor Latente Ganado (W)
Personas	Locker Room (F) Toilet Y Pasillos	75	55	3	225	165
Total					390 W	

*Nota.* En la tabla se evidencia la carga térmica por personas, calculada según el calor sensible y latente, según las actividades que se realizan en cada sala, tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

**Tabla 20.**

*Carga térmica interna por personas, edificio Turbina, nivel 3.*

Concepto	Salas	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)	# De Personas	Calor Sensible Ganado (W)	Calor Latente Ganado (W)
Personas	Central Control Room	75	55	7	525	385
Personas	Break Room	70	45	3	210	135
Personas	Shift Supervisor'S Room	70	45	3	210	135
<b>Total</b>					<b>1600 W</b>	

Nota. En la tabla se evidencia la carga térmica por personas, calculada según el calor sensible y latente, según las actividades que se realizan en cada sala, tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

A partir de la tabla 21 hasta la tabla 23 se puede observar la carga térmica interna por personas, ganada en el edificio turbina y dividida por los 3 niveles de este edificio. En las siguientes tablas se demuestra el cálculo de calor interno para los edificios restantes (AQCS, planta de agua y carbones).

**Tabla 21.**

*Carga térmica interna por personas, edificio AQCS.*

Concepto	Sala	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)	# De Personas	Calor Sensible Ganado (W)	Calor Latente Ganado (W)
Personas	PLC Control Room	70	45	2	140	90
<b>Total</b>					<b>230 W</b>	

Nota. En la tabla se evidencia la carga térmica por personas, calculada según el calor sensible

y latente, según las actividades que se realizan en cada sala, tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

**Tabla 22.**

*Carga térmica interna por personas, edificio Planta de agua.*

Concepto	Sala	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)	# De Personas	Calor Sensible Ganado (W)	Calor Latente Ganado (W)
Personas	Sala De Control	70	45	3	210	135
Total					345 W	

Nota. En la tabla se evidencia la carga térmica por personas, calculada según el calor sensible y latente, según las actividades que se realizan en cada sala, tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

**Tabla 23.**

*Carga térmica interna por personas, edificio carbones.*

Concepto	Room	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)	# De Personas	Calor Sensible Ganado (W)	Calor Latente Ganado (W)
Personas	Sala De Control	70	45	2	140	90
Total					230 W	

Nota. En la tabla se evidencia la carga térmica por personas, calculada según el calor sensible y latente, según las actividades que se realizan en cada sala, tomado de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009).

**potencia disipada por equipos e iluminación.**

El calor disipado por los equipos eléctricos y electrónicos se ha tomado de la base de datos de la empresa, además se verificó en cada sala y en cada edificio la cantidad de componentes y equipos que desprenden calor y afectan a la hora de realizar los cálculos de carga térmica, cabe resaltar que este calor disipado es basado de catálogos que proporcionan información, según la potencia nominal de cada equipo. En la siguiente figura (30) se pueden identificar algunos de los gabinetes de las salas MCC.

**Figura 30.**

Equipos de salas MCC edificio turbina (transformadores, inversores, cargadores).



*Nota.* En la figura se muestran los gabinetes de las salas de control de motores en la parte, donde se encuentran inversores, cargadores y transformadores de energía de la planta.

Para el caso de la iluminación se tiene en cuenta el tipo de iluminación las cuales son led como se puede ver en la figura 31 y 32 a continuación.

**Figura 31.**

Luminarias led de 36 W tubulares



*Nota.* En la figura se observa el tipo de iluminación encontradas en las salas de control de motores.

**Figura 32.**

*Luminarias led de 36 W cuadradas.*



*Nota.* En la figura se observa el tipo de iluminación encontradas en algunas salas y pasillos de los edificios de operaciones de Termotasajero Dos.

Teniendo en cuenta la tabla 3 del capítulo 18 de (ASHRAE, American Society of

Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. , 2009) las ecuaciones serían las siguientes, para el cálculo de carga térmica por luminarias.

**Figura 33.**

*Ecuación 5, para carga térmica por luminarias fluorescentes*

$$Q_{ELEC} = P_{iluminacion}(W) * F_{flu}$$

**Figura 34.**

*Ecuación 6, para carga térmica por luminarias incandescentes*

$$Q_{ELEC} = P_{iluminacion}(W) * F_{inc}$$

Siendo:

$Q_{ELEC}$ : la cantidad de calor transmitida en Watts.

$F_{flu}$ : Factor de iluminación fluorescente tomado es de 1,25

$F_{inc}$ : Factor de iluminación incandescente, el cual el equivalente puede tomarse en un rango de 0,70 a 0,80 a consideración.

En las siguientes tablas se podrá ver reflejado la carga térmica interna por equipos e iluminación de los edificios, evidenciado desde la tabla 24 hasta la tabla 29.

**Tabla 24.**

*Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio carbones.*

Concepto	Sala	Potencia Disipada (W)	Cantidad	Factor	Total
Luces	Sala De Control	36	12	1,25	540
PLC De Manejo De Carbón Y Estación De Trabajo Con Impresora	Sala De Control	2.490	1	1	2490
				Total	3030 W

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica interna por equipos y luminarias en los edificios de operaciones.

**Tabla 25.**

*Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio AQCS.*

Concepto	Sala	Potencia Disipada(W)	Factor	Cantidad	Total
Fgd, Manejo De Cenizas, Paneles PLC, Estaciones De Trabajo, Impresoras.	PLC Control Room	1.240	1	1	1.240
480 V MCC	Elec. Room	640	1	12	7.680
480 Lv Swgr	Elec. Room	640	1	10	6400
6,9 Kv Mv Swgr	Elec. Room	640	1	14	8960
6,9 Kv/ 480v Tr	Elec. Room	16.000	1	2	32.000
Aux Tr	Elec. Room	1.280	1	2	2.560
Luces	PLC Control Room	36	1,25	16	720
Luces	Elec. Room	36	1,25	30	1.350
				Total	60.910 W

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica interna por equipos y luminarias en los edificios de operaciones.

**Tabla 26.**

*Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio planta de agua.*

Concepto	Room	Potencia Disipada(W)	Factor	Cantidad	Total
Luces	MCC Room	36	1,25	6	270
480 V MCC	MCC Room	640	1	16	10.240
Estaciones De Trabajo Wt/ Wwt, Panel PLC, Impresora	Control Room	2.780	1	1	2.780
Aux Tr	MCC Room	1.280	1	2	2.560
Lighting Tr	MCC Room	640	1	1	640
Luces	Control Room	36	1,25	12	540
Total					17.030 W

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica interna por equipos y luminarias en los edificios de operaciones.

En las tablas anteriores (24, 25 y 26), se halló la carga térmica para los edificios más pequeños en los cuales solo se refrigeran, en cada uno de ellos el primer nivel solamente, el cual es donde se encuentran las salas eléctricas, centros de control de motores y salas de control. En las siguientes 3 tablas (27, 28 y 29), se hallará la carga térmica interna por equipos e iluminación para el edificio turbina dividido en cada nivel, debido a que en este edificio en el primer y segundo nivel se encuentran centros de control de motores (MCC) y en el tercer nivel se encuentran la sala de control o sala de mandos y una sala eléctrica.

**Tabla 27.**

*Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio turbina, nivel 1.*

Concepto	Sala	Potencia Disipada(W)	Factor	Cantidad	Total
6,9 Kv Mv Swgr	SWGR	640	1	21	13.440
6,9 Kv/ 480v Tr	SWGR	16.000	1	1	16.000
480 V Lv Swgr	SWGR	640	1	9	5.760
480 V MCC	SWGR	640	1	12	7.680
Aux Tr	SWGR	1.280	1	2	2.560
Luces	SWGR	36	1,25	72	3.240
Luces	Locker Room	36	1,25	11	495
Luces	Baños	36	1,25	8	360
Luces	Corredor	36	1,25	4	180
Total					49.715 W

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica interna por equipos y luminarias en el edificio turbina.

**Tabla 28.**

*Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio turbina, nivel 2.*

Concepto	Sala	Potencia Disipada(W)	Factor	Cantidad	Total
6,9 Kv Lv Swgr	Lv Swichgear Room	640	1	16	10.240
6,9 Kv/ 480v Tr	Lv Swichgear Room	16.000	1	2	32.000
Battery Charger	Lv Swichgear Room	20.000	1	2	40.000
480 V MCC	Lv Swichgear Room	640	1	22	14.080
Aux Tr	Lv Swichgear Room	1.280	1	4	5.120
Dc Dist Board	Lv Swichgear Room	640	1	2	1.280
Ups (Inverter)	Lv Swichgear Room	640	1	1	640
Ups (Avr)	Lv Swichgear Room	640	1	1	640
Avr Dist Board	Lv Swichgear Room	640	1	1	640
Ups Dist Board	Lv Swichgear Room	640	1	1	640

Lighting Tr	Lv Swichgear Room	640	1,25	3	2.400
Luces	Hvac Room	36	1,25	24	1.080
Luces	Toilet(F) Locker Room(F)	36	1,25	3	135
Luces	Corridor	36	1,25	9	405
Luces	Battery Room	36	1,25	9	405
Luces	Lv Swichgear Room	36	1,25	48	2.160
Total					111.865 W

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica interna por equipos y luminarias en el edificio turbina.

**Tabla 29.**

*Carga térmica interna por equipos y luminaria, edificio turbina, nivel 3.*

Concepto	Sala	Potencia Disipada (W)	Factor	Cantidad	Total
Dcs And Stg, Estación De Trabajo, Monitores	Central Control Room	10.250	1	1	10.250
Box Control System Turbine	Central Control Room	230	1	2	460
Box Vibr, Monitor, Sistem	Central Control Room	110	1	1	110
Box Of Protección System Turbine	Central Control Room	210	1	1	210
Dcs, Stg, Aux, Panel	Electronic Room	5.570	1	1	5.570
Box Of Gen, Measurement And Synchr	Electronic Room	300	1	1	300
Box Of Gen, Protection A	Electronic Room	300	1	1	300
Box Of Gen, Protection B	Electronic Room	300	1	1	300
Luces	Electronic Room	36	1,25	36	1.620
Luces	Shift Supervisor'S	36	1,25	6	270

Equipos (Computadores)	Shift Supervisor'S	600	1	1	600
Luces	Break Room	36	1,25	6	270
Luces	Corridor	36	1,25	16	720
Luces	Central Control Room	36	1,25	72	3.240
				<b>Total</b>	<b>24.220 W</b>

*Nota.* En la tabla se evidencian los valores tenidos en cuenta para hallar la carga térmica interna por equipos y luminarias en el edificio turbina.

### **Ganancia de calor interno por ventilación e infiltraciones.**

La ganancia de calor interno por ventilación e infiltraciones se hallará bajo los parámetros establecidos del manual de (Carrier air conditioning company., 1980), donde se encuentra el calor latente y sensible, ganado en las áreas a acondicionar, determinándose en las siguientes ecuaciones.

Carga sensible:

### **Figura 35.**

*Ecuación 7, para carga térmica sensible por infiltración y ventilación.*

$$Q_{ISen} = P * V * f_{vol} * C_{p,aire} * \Delta T$$

$Q_{IS}$ : carga térmica por infiltración y ventilación sensible del aire exterior en (W)

P: será la densidad del aire con un valor de 1,18 kg/m<sup>3</sup>

A: será el área que se desea acondicionar.

$f_{vol}$ : es un factor de la tabla 7 de (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001), el cual es equivalente a la tasa de cambio de aire como función de hermeticidad.

$C_{p,aire}$ : es el calor específico del aire, de valor 1012 J/kg\*° C; = 0,24 kcal/ kg\*° C

$\Delta T$ : la diferencia de temperatura interna (de diseño) y externa.

- Carga latente:

### Figura 36.

*Ecuación 8, para carga térmica latente por infiltraciones y ventilación.*

$$Q_{ILat} = P * V * f_{vol} * C_{p,agua} * \Delta W$$

$Q_{ILat}$ : carga térmica por infiltración y ventilación latente del aire exterior en (W)

$f_{vol}$ :  $f_{vol}$ : es un factor de la tabla 7 de (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001), el cual es equivalente a la tasa de cambio de aire como función de hermeticidad.

P: será la densidad del aire con un valor de 1,18 kg/m<sup>3</sup>

$C_{p,agua}$ : es el calor específico del agua, de valor 2260 J/kg\*°C

$\Delta W$ : la diferencia de humedad (g /kg aire seco) interna y externa las cuales se extraen del cuadro psicrométrico de la figura 15.

En las siguiente tabla (30) se ilustrará la carga térmica obtenida en cada edificio por ventilación e infiltraciones, donde se tiene en esta tabla el tipo de carga térmica, el área expuesta, la densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>, el caudal de infiltración el cual se ha tomado el valor del volumen total, multiplicado por la tasa de cambio de aire, teniendo unidades de m<sup>3</sup>/h, el calor específico del aire en el caso del calor sensible y el calor específico del agua en el caso de calor latente, estos calores específicos dados en unidades de J/Kg\*°C.

**Tabla 30.***Carga térmica por infiltración y ventilación en edificios.*

<b>Tipo De Carga</b>	<b>Área Total Expuesta (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad Aire</b>	<b>Caudal Infiltración m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Cp. Aire (Q Sensible) o Cp. Agua (Q Latente)</b>	<b>Dif. Temperatura o Dif. De Humedad.</b>	<b>Total</b>
Carga Sensible Nivel 1 Edificio Turbina.	513,5	1,18	1473,745	1012	12	5866,291 W
Carga Latente Nivel 1 Edificio Turbina.	513,5	1,18	1473,745	2260	12,9	14083,156 W
Carga Sensible Nivel 2 Edificio Turbina.	707,5	1,18	1696,93875	1012	12	6754,721 W
Carga Latente Nivel 2 Edificio Turbina.	707,5	1,18	1696,93875	2260	12,9	16216,003 W
Carga Sensible Nivel 3 Edificio Turbina.	507,16	1,18	1226,82	1012	12	4883,398 W
Carga Latente Nivel 3 Edificio Turbina.	507,16	1,18	1226,82	2260	12,9	11723,53 W
Carga Sensible Edificio Planta De Agua	81,855	1,18	207,846216	1012	12	827,338 W
Carga Latente Edificio Planta De Agua	81,855	1,18	207,846216	2260	12,9	1986,185 W
Carga Sensible Edificio AQCS	301	1,18	719,4803	1012	12	2863,915 W
Carga Latente Edificio AQCS	301	1,18	719,4803	2260	12,9	6875,377 W
Carga Sensible Edificio Carbones	25,25	1,18	67,076625	1012	12	267,0007 W
Carga Latente Edificio Carbones	25,25	1,18	67,076625	2260	12,9	640,9864 W

*Nota.* En la tabla se evidencia la carga térmica total hallada por infiltración y ventilación

basados en la ecuación 7 y 8, teniendo en cuenta cada dato encontrado en las columnas 2

hasta la 6.

Con los cálculos de carga térmica por ventilación e infiltración, se finaliza con los factores tenidos en cuenta para los espacios de acondicionamiento del aire. Con los cálculos anteriormente tabulados se tiene toda la carga térmica para cada edificio, teniendo en cuenta tanto la carga térmica latente como la sensible, en la tabla 31, a continuación, mostrada se puede observar la carga térmica total hallada y a la cual se le aplicará un factor de seguridad del 10%, recomendado en el manual de (Carrier air conditioning company., 1980) en el

capítulo 7, con el fin de cubrir posibles factores que no se han tenido en cuenta en el diseño y posibles pérdidas por ductos, puertas o ventanas abiertas, entre otros factores.

**Tabla 31.**

*Carga térmica total calculada en los edificios turbina, AQCS, planta de agua y carbones.*

<b>Edificio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Carga térmica</b>	<b>Unidades</b>
Edificio Carbones	Total, De La Carga Calculada (W):	7200,491206	W
	Total, Con FAC.C(10%)	7920,540327	W
	Total, De La Carga térmica En BTU/h	27009,04251	BTU/h
	TR	2,249853241	Ton R
Edificio AQCS	Total, De La Carga Calculada (W):	85515	W
	Total, Con FAC.C(10%)	94067,037	W
	Total, De La Carga térmica En BTU/h	291607,81	BTU/h
	TR	24,2909	Ton R
Edificio Planta De Agua	Total, De La Carga Calculada (W):	26173	W
	Total, Con FAC.C(10%)	28789,782	W
	Total, De La Carga térmica En BTU/h	89248,323	BTU/h
	TR	7,4343	Ton R
Nivel 1 Edificio Turbina	Total, De La Carga Calculada (W):	90692	W
	Total, Con FAC.C(10%)	99760,9602	W
	Total, De La Carga térmica En BTU/h	309258,9768	BTU/h
	TR	25,76	Ton R
Nivel 2 Edificio Turbina	Total, De La Carga Calculada (W):	164.620	W
	Total, Con FAC.C(10%)	181081,6828	W
	Total, De La Carga térmica En BTU/h	617488,5384	BTU/h
	TR	51,43	Ton R
Nivel 3 Edificio Turbina	Total, De La Carga Calculada (W):	69190,309	W
	Total, Con FAC.S(10%)	76109,34	W
	Total, De La Carga térmica En BTU/h	259532,85	BTU/h
	TR	21,619086	Ton R

*Nota.* En la tabla anterior se evidencia la carga térmica total hallada para cada edificio de operaciones, aplicando un factor de seguridad del 10% como indica el manual (Carrier air conditioning company., 1980), y luego convertidos a BTU/h y toneladas de refrigeración.

En la tabla anterior se evidencia que en el edificio turbina en el primer y segundo

nivel, en los cuales se encuentran los centros de control de motores, es donde se requiere la mayor capacidad de carga de enfriamiento para la protección y el cuidado de estos equipos. La carga térmica inicialmente ha sido calculada en unidades de Watts, pero también ha sido convertida en BTU/h y toneladas de refrigeración para una mejor apreciación, y diversidad a la hora de la selección de los equipos de acondicionamiento.

### **3.2.3 Verificación de los planos el direccionamiento de las corrientes de ventilación, con el fin de conocer detalladamente el funcionamiento de cada una de las unidades instaladas y las medidas de los ductos y rejillas para la distribución de caudales.**

Al verificar en el sistema de datos de la empresa, los planos de los ductos del aire acondicionado, se pudo extraer la información de los ductos y rejillas, como sus dimensiones y especificaciones. En la tabla 32, se puede notar las dimensiones de ductos y rejillas de suministro de aire refrigerado y también la cantidad de rejillas de distribución de cada edificio y cada sala de enfriamiento de los aires instalados actualmente. Por otra parte, hay que especificar que los ductos y rejillas de extracción de aire de las salas tienen las mismas dimensiones y la misma cantidad tanto de rejillas como de ductos. Hay que mencionar que el personal de mantenimiento mecánico, el cual es una empresa externa, no se encarga de hacer mantenimiento a ductos y rejillas del sistema, este aspecto es importante para tener en cuenta en el momento de la selección de los equipos que se propongan instalar, en el caso que se desee usar los ductos instalados.

**Tabla 32.***Especificaciones de los ductos de suministro de aire refrigerado.*

Ítem	Ubicación	Tamaño Rejillas (Cm)	Tamaño Ductos	Cantidad De Rejillas De Suministro	Sala De Suministro
1		45 x 45 cm	70 x 45 cm	3	Sala Eléctrica
2	Edificio Planta De Agua	45 x 45 cm	70 x 45 cm	3	Sala De Control
3		45 x 45 cm	35 x 20 cm	1	Sala Eléctrica
4		45 x 45 cm	25 x 40 cm	2	Sala De Control
5	AQCS	50 x 45 cm	60 x 35 cm	4	Sala Eléctrica
6		50 x 45 cm	80 x 55 cm	6	Sala Eléctrica
7		50 x 30 cm	50 x 20 cm	2	MCC
8		50 x 30 cm	60 x 35 cm	3	MCC
9	Edificio Turbina 1 Nivel	50 x 30 cm	55 x 30 cm	2	MCC
10		60 x 60 cm	40 x 30 cm	2	Corredor
11		60 x 60 cm	20 x 30 cm	2	Corredor
12		60 x 60 cm	20 x 25 cm	2	Locker Room
13		60 x 60 cm	25 x 25 cm	2	Corredor
14		60 x 60 cm	35 x 30 cm	2	Corredor
15	Edificio Turbina 2 Nivel	70 x 35 cm	60 x 25 cm	3	MCC
16		71 x 35 cm	85 x 40 cm	6	MCC
17		60 x 60 cm	20 x 25 cm	1	Locker Room
18		50 x 35 cm	45 x 25 cm	2	Battery Room
19	Edificio Turbina 3 Nivel	60 x 60 cm	20 x 40 cm	6	Sala De Control
20		60 x 60 cm	35 x 40 cm	6	Sala De Control
21		60 x 60 cm	30 x 35 cm	6	Sala Electrónica

22	60 x 60 cm	20 x 35 cm	6	Sala Electrónica
23	60 x 60 cm	20 x 30 cm	2	Corredor
24	60 x 60 cm	35 x 30 cm	1	Corredor
25	60 x 60 cm	25 x 25 cm	2	Corredor
26	60 x 60 cm	20 x 35 cm	2	Break Room
27	60 x 60 cm	25 x 40 cm	2	Oficina Supervisor

*Nota.* En la tabla se muestran las dimensiones de ductos y rejillas de suministro de aire refrigerado y también la cantidad de rejillas de distribución de cada edificio y cada sala de enfriamiento de los aires instalados actualmente.

### **3.2.4 Cálculo de los caudales de aire que deben ser suministrados en los puntos específicos de la planta.**

Para la determinación del aire de suministro se seleccionará como un valor máximo de suministro de aire en comparación con los tres tipos citados posteriormente en las ecuaciones 9, 10 y 11, para satisfacer con ello la condición de diseño de las salas, proporcionar un mínimo de aire fresco para el ocupante y mantener una sobrepresión con respecto a las infiltraciones.

Para el cálculo de las tasas de flujo de aire o caudales de suministro requeridas en cada sala, espacio, o habitación se determinarán teniendo en cuenta los siguientes aspectos y las siguientes fórmulas:

- Suministro de aire por carga de calor sensible.

**Figura 37.**

*Ecuación 9, para caudal de suministro por carga térmica sensible.*

$$Q_{sum1} = \frac{\text{carga termica sensible}}{\text{densidad air} * \text{cp air} * \text{diferencia de temperatura}}$$

En la siguiente tabla (33), se evidencia la aplicación de la ecuación 9, en las salas de acondicionamiento de aire en las edificaciones.

**Tabla 33.**

*Caudal de suministro de aire por carga de calor sensible.*

Ítem	Zona	Carga Térmica Sensible(W)	Densidad Air (Kg/m3)	Pc (J/Kg* °C)	Dif. Temp	Q Suministro Por Carga (L/s)
1	Nivel 1 Edi. Turbina	83785,49	1,18	1012	12	5846,8916
1.1	Swgr	74338,18	1,18	1012	12	5187,6199
1.2	Locker Room	3462,92	1,18	1012	12	241,65669
1.3	Corredor	5984,39	1,18	1012	12	417,61494
2	Nivel 2 Edi. Turbina	163244,03	1,18	1012	12	12233,023
2.1	Lv Swgr R	134998,26	1,18	1012	12	9420,726
2.2	Battery Room	6608,79	1,18	1012	12	461,18794
2.3	Hvac	13608,97	1,18	1012	12	949,68899
2.4	Corredor	5468,73	1,18	1012	12	381,62996
3	Toilet(F) Locker Room(F)	2559,29	1,18	1012	12	178,59766
3.1	Nivel 3 Edif. Turbina	62395,92	1,18	1012	12	4354,241
3.2	Central Control Room	26115,61	1,18	1012	12	1822,453
3.3	Corridor	8501,35	1,18	1012	12	593,25879
3.4	Break Room	2787,53	1,18	1012	12	194,52543
3.5	Electronic Room	21197,15	1,18	1012	12	1479,2229
4	Shift Supervisor'S Room	3794,29	1,18	1012	12	264,78083
4.1	Planta De Agua	27428,34	1,18	1012	12	1914,0611
4.2	Sala De Control	8278,21	1,18	1012	12	577,687
5	MCC	19150,13	1,18	1012	12	1336,374
5.1	AQCS	86504,12	1,18	1012	12	6036,6088
5.2	PLC Control Room	5700,54	1,18	1012	12	397,80686

5.3	Elec. Room	80803,58	1,18	1012	12	5638,802
6	Manejo De Carbón	6469,50	1,18	1012	12	451,46831

*Nota.* En la tabla observamos los caudales calculados, requeridos en cada sala de los edificios de operaciones, teniendo en cuenta el valor de carga térmica sensible basados en la ecuación 9.

- Suministro de aire por ocupantes.

### Figura 38.

*Ecuación 10, para caudal de suministro por ocupantes.*

$$Q_{sum2} = N * f$$

Siendo N el número de ocupantes (personas) y f el aire fresco mínimo requerido por ocupante el cual se puede encontrar en el manual de (Carrier air conditioning company., 1980). En la tabla 34 se observan los ocupantes por sala y el requisito de aire mínimo en L/s por persona.

### Tabla 34.

*Caudal de suministro de aire por ocupantes.*

Ítem	Zona	Numero Ocupantes	Min. Aire Fresco Por Requisito (L/S)	Caudal Por Ocupantes
1	Nivel 1 Edi. Turbina	8	6	48
1.1	Swgr	0	6	0
1.2	Locker Room	0	6	0
1.3	Corredor	8	6	48
2	Nivel 2 Edi. Turbina	3	6	18
2.1	Lv Swgr R	0	6	0
2.2	Battery Room	0	6	0

2.3	Hvac	0	6	0
2.4	Corredor	0	6	0
2.5	Toilet(F) Locker Room(F)	3	6	18
3	Nivel 3 Edif. Turbina	13	6	78
3.1	Central Control Room	7	6	42
3.2	Corridor	0	6	0
3.3	Break Room	3	6	18
3.4	Electronic Room	0	6	0
3.5	Shift Supervisor'S Room	3	6	18
4	Planta De Agua	3	6	18
4.1	Sala De Control	3	6	18
4.2	MCC	0	6	0
5	AQCS	2	6	12
5.1	PLC Control Room	2	6	12
5.2	Elec. Room	0	6	0
6	Manejo De Carbón	2	6	12

*Nota.* En la tabla observamos los caudales calculados, requeridos en cada sala de los edificios de operaciones, teniendo en cuenta el número de ocupantes, basados en la ecuación 10.

- Suministro de aire por ventilación y criterios de diseño.

### Figura 39.

*Ecuación 11, para caudal de suministro por infiltración.*

$$Q_{sum3} = \frac{V * ACH}{3,6}$$

Siendo V el volumen de la sala a acondicionar, ACH es la tasa de cambio de aire por horas, como función de hermeticidad, este valor es encontrado en la tabla 8, del capítulo 28 de (ASHRAE, cooling and heating load calculations, 2001) y 3,6 factor de conversión a L/ s. En la tabla 35, se puede notar lo mencionado anteriormente en la ecuación número 11.

**Tabla 35.**

*Caudal de suministro de aire por ventilación e infiltraciones.*

Ítem	Zona	Volumen	ACH	Factor De Conversión	Caudal Por Infiltración (L/s)
1	Nivel 1 Edi. Turbina	3594,5	0,41	3,6	409,373611
1.1	Swgr	2961	0,41	3,6	337,225
1.2	Locker Room	483	0,41	3,6	55,0083333
1.3	Corredor	150,5	0,41	3,6	17,1402778
2	Nivel 2 Edi. Turbina	4138,875	0,41	3,6	471,371875
2.1	Lv Swgr R	2022,93	0,41	3,6	230,38925
2.2	Battery Room	381,888	0,41	3,6	43,4928
2.3	Hvac	1268,865	0,41	3,6	144,509625
2.4	Corredor	368,667	0,41	3,6	41,987075
2.5	Toilet(F) Locker Room(F)	96,525	0,41	3,6	10,993125
3	Nivel 3 Edif. Turbina	2992,244	0,41	3,6	340,783344
3.1	Central Control Room	1053,15	0,41	3,6	119,942083
3.2	Corridor	519,731	0,41	3,6	59,1915861
3.3	Break Room	185,201	0,41	3,6	21,0923361
3.4	Electronic Room	1070,496	0,41	3,6	121,9176
3.5	Shift Supervisor'S Room	163,666	0,41	3,6	18,6397389
4	Planta De Agua	301,2264	0,41	3,6	34,30634
4.1	Sala De Control	144,5136	0,41	3,6	16,4584933
4.2	MCC	156,7128	0,41	3,6	17,8478467
5	AQCS	1754,83	0,41	3,6	199,855639
5.1	PLC Control Room	244,86	0,41	3,6	27,8868333
5.2	Elec. Room	1509,97	0,41	3,6	171,968806
6	Manejo De Carbón	97,2125	0,41	3,6	11,0714236

*Nota.* En la tabla observamos los caudales calculados, requeridos en cada sala de los edificios

de operaciones, teniendo en cuenta el suministro de aire por ventilación e infiltraciones.,

basados en la ecuación 11.

Determinados los caudales de suministro se obtuvieron los siguientes datos de caudales totales obtenidos en unidades de L/s y posteriormente convertidos tanto a CFM ( $\text{pie}^3/\text{min}$ ), como a  $\text{m}^3/\text{h}$ . esto se puede observar en la tabla 36.

**Tabla 36.**

*Total, de caudales de suministro de aire.*

Ítem	Zona	Total, De Caudal De Suministro (L/S)	(Caudal Suministro) (m <sup>3</sup> /h)	(Caudal Suministro) (CFM)
1	Nivel 1 Edi. Turbina	6304,265169	22695,35461	13350,20859
1.1	Swgr	5524,844932	19889,44175	11699,67162
1.2	Locker Room	296,6650221	1067,99408	628,2318115
1.3	Corredor	482,7552149	1737,918774	1022,305161
2	Nivel 2 Edi. Turbina	11881,2034	42772,33222	25160,19543
2.1	Lv Swgr R	9651,116224	34744,01841	20437,65789
2.2	Battery Room	504,6807385	1816,850659	1068,735682
2.3	Hvac	1094,198614	3939,11501	2317,126476
2.4	Corredor	423,617034	1525,021322	897,0713661
2.5	Toilet(F) Locker Room(F)	207,5907854	747,3268275	439,6040162
3	Nivel 3 Edif. Turbina	4773,024295	17182,88746	10107,58086
3.1	Central Control Room	1984,3951	7143,82236	4202,248447
3.2	Corridor	652,4503725	2348,821341	1381,659612
3.3	Break Room	233,6177653	841,023955	494,7199735
3.4	Electronic Room	1601,140492	5764,105772	3390,650454
3.5	Shift Supervisor'S Room	301,4205648	1085,114033	638,3023725
4	Planta De Agua	1966,36739	7078,922605	4164,072121
4.1	Sala De Control	612,1454948	2203,723781	1296,308107
4.2	MCC	1354,221896	4875,198824	2867,764014
5	AQCS	6248,464462	22494,47206	13232,04239
5.1	PLC Control Room	437,6936898	1575,697283	926,8807549
5.2	Elec. Room	5810,770773	20918,77478	12305,16164
6	Manejo De Carbón	474,539732	1708,343035	1004,907668

*Nota.* En la tabla observamos los caudales calculados totales requeridos en cada sala de los edificios de operaciones, basados en la las tablas 33, 34 y 35 y convertidos a m<sup>3</sup>/h y CFM.

Para el cálculo de los parámetros fundamentales se debe determinar la temperatura del aire de suministro, este cálculo se realiza según los parámetros establecidos en el manual de (Carrier air conditioning company., 1980) en el capítulo 8, empleo del diagrama psicrométrico. Con la siguiente ecuación se determinará el factor de calor sensible.

**Figura 40.**

*Ecuación 12, para factor de calor sensible efectivo.*

$$RSHF = \frac{\text{Calor sensible}}{\text{calor total}}$$

Obtenido el valor de calor sensible efectivo del local con este valor se puede obtener el ángulo que se debe trazar sobre el diagrama psicrométrico hasta la línea de saturación con el fin de hallar la temperatura del punto de rocío (ADP)

**Figura 41.**

*Ecuación 13, ángulo para punto de rocío.*

$$RSHF = \frac{1}{1 + \tan(\alpha)}$$

Simplificando y despejando el ángulo para trazar la línea al cruce con la línea de saturación del gráfico psicrométrico, queda de la siguiente manera.

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{(1 - RSHF)}{RSHF} \right)$$

Con el ángulo obtenido vamos al diagrama psicrométrico y ubicamos el punto de rocío, ubicando en el diagrama la temperatura interior de diseño y la humedad relativa tomada, en ese punto se medirá el ángulo, trazando una línea hasta llevarla a la línea de saturación, en el cruce con la línea de saturación se ubica el punto de rocío y para tomar su temperatura, debe observarse al proyectar verticalmente una línea hasta la parte inferior en el eje de temperatura.

En la tabla 37, se nota el factor de calor sensible efectivo para cada una de las salas de los edificios, calculado en base a la ecuación 12 y el ángulo de cruce con la línea de saturación con base a la ecuación 13.

**Tabla 37.**

*Cálculo de factor de calor sensible efectivo.*

Zona	Calor Sensible	Calor Total	RSHF	$\alpha$	Temperatura ADP
Nivel 1 Edi. Turbina	83785,49	99760,96025	0,83986249	10,79°	8,10°C
Swgr	74338,18	86209,09213	0,86230091	9,07°	8,20°C
Locker Room	3462,92	3946,921018	0,87737277	7,96°	9,20°C
Corredor	5984,39	6587,756585	0,90841071	5,75°	10,20°C
Nivel 2 Edi. Turbina	163244,03	181081,6828	0,90149391	5,81°	10,15°C
Lv Swgr R	134998,26	143108,371	0,94332891	3,65°	11,21°C
Battery Room	6608,79	8139,777298	0,81191242	13,04°	6,10°C
Hvac	13608,97	18695,94033	0,80070131	13,90°	6,00°C
Corredor	5468,73	6946,717655	0,86596286	8,80°	8,88°C
Toilet(F) Locker Room(F)	2559,29	2946,247488	0,86866096	8,60°	8,90°C
Nivel 3 Edif. Turbina	62395,92	76109,34005	0,86081052	9,18°	8,60°C
Central Control Room	26115,61	30761,28	0,84897661	10,09°	8,10°C
Corridor	8501,35	10584,99	0,84330872	10,50°	8,00°C
Break Room	2787,53	3924,03	0,81693219	12,63°	7,00°C
Electronic Room	21197,15	25488,84	0,87320595	8,26°	9,30°C
Shift Supervisor'S Room	3794,29	4450,42	0,85256937	9,81°	8,10°C
Planta De Agua	27428,34	28789,78176	0,952711	2,84°	11,50°C
Sala De Control	8278,21	8884,315397	0,93177787	4,19°	10,60°C
MCC	19150,13	19806,87125	0,96684292	1,96°	11,55°C
AQCS	86504,12	94067,03702	0,91960079	5,00°	10,10°C
PLC Control Room	5700,54	6682,206043	0,93840184	3,75°	11,20°C
Elec. Room	80803,58	86857,18571	0,93030393	4,28°	10,45°C
Manejo De Carbón	6469,50	7920,540327	0,85764098	9,42°	8,15°C

*Nota.* En la tabla se logra evidenciar los valores calculados de calor sensible efectivo

temperatura de rocío (ADP), basados en la ecuación 12 y 13.

### **Temperatura de mezcla.**

Para el cálculo de temperatura de la mezcla de aire, se usan los datos de temperatura interior de diseño, considerada (22°C) y las temperaturas de aire exterior, los caudales de aire; exteriores encontrados en la suma de los caudales hallados en tabla 35 y 36 y de suministro, ubicados en la tabla 37.

### Figura 42.

*Ecuación 14, para temperatura de mezcla de aire.*

$$T_{mez} = T_{dise} + \frac{Q_{aexterior}}{Q_{Sumin}} * (T_{aext} - T_{dise})$$

En la tabla 38, se hallaron las temperaturas de la mezcla de aire en cada sala de los edificios, tomando 22° C de temperatura de diseño y 34° C de temperatura de aire exterior.

### Tabla 38.

*Cálculo de temperaturas de mezcla de aire.*

Zona	Total, De Caudal De Suministro (L/s)	Caudal De Aire Exterior (L/s)	Temperatura De Mezcla Aire
Nivel 1 Edi. Turbina	6304,265169	457,373611	22,87°C
Swgr	5524,844932	337,225	22,73°C
Locker Room	296,6650221	55,0083333	24,23°C
Corredor	482,7552149	65,1402778	23,62°C
Nivel 2 Edi. Turbina	11881,2034	489,371875	22,49°C
Lv Swgr R	9651,116224	230,38925	22,29°C
Battery Room	504,6807385	43,4928	23,03°C
Hvac	1094,198614	144,509625	23,58°C
Corredor	423,617034	41,987075	23,19°C
Toilet(F) Locker Room(F)	207,5907854	28,993125	23,68°C
Nivel 3 Edif. Turbina	4773,024295	418,783344	23,05°C
Central Control Room	1984,3951	161,942083	22,98°C

Corridor	652,4503725	59,1915861	23,09°C
Break Room	233,6177653	39,0923361	24,01°C
Electronic Room	1601,140492	121,9176	22,91°C
Shift Supervisor'S Room	301,4205648	36,6397389	23,46°C
Planta De Agua	1966,36739	52,30634	22,32°C
Sala De Control	612,1454948	34,4584933	22,68°C
MCC	1354,221896	17,8478467	22,16°C
AQCS	6248,464462	211,855639	22,41°C
PLC Control Room	437,6936898	39,8868333	23,09°C
Elec. Room	5810,770773	171,968806	22,36°C
Manejo De Carbón	474,539732	23,0714236	22,58°C

*Nota.* En la tabla se logra evidenciar los valores calculados de temperatura de mezcla, basado en la ecuación 14 y la tabla 37.

### **Temperatura de suministro.**

La temperatura de suministro es hallada con base en la temperatura del punto de rocío, la temperatura de mezcla hallada en la tabla 39 y el factor bypass, el cual se ha seleccionado del Manual (Carrier air conditioning company., 1980) de la tabla 62 del capítulo 8, de acuerdo a la aplicación.

### **Figura 43.**

*Ecuación 15, para temperatura de suministro en salas.*

$$T_{\text{sum}} = T_{\text{ADP}} + (\text{BF} * (T_{\text{mez}} - T_{\text{ADP}}))$$

En la tabla número 39 se puede apreciar el cálculo de temperatura de suministro basado en la ecuación 15.

**Tabla 39.***Cálculo de temperaturas de suministro.*

Zona	Temperatura ADP	BF	Temperatura De Mezcla Air	Temperatura De Suministro
Nivel 1 Edi. Turbina	10,0°C	0,1	22,87°C	11,29°C
Swgr	9,6°C	0,1	22,73°C	10,91°C
Locker Room	8,1°C	0,1	24,23°C	9,71°C
Corredor	11,1°C	0,1	23,62°C	12,35°C
Nivel 2 Edi. Turbina	11,0°C	0,1	22,49°C	11,38°C
Lv Swgr R	11,5°C	0,1	22,29°C	12,32°C
Battery Room	7,6°C	0,1	23,03°C	9,14°C
Hvac	7,9°C	0,1	23,58°C	9,47°C
Corredor	7,5°C	0,1	23,19°C	9,07°C
Toilet(F) Locker Room(F)	7,8°C	0,1	23,68°C	9,39°C
Nivel 3 Edif. Turbina	8,2°C	0,1	23,05°C	9,69°C
Central Control Room	9,8°C	0,1	22,98°C	11,12°C
Corridor	7,5°C	0,1	23,09°C	9,06°C
Break Room	9,8°C	0,1	24,01°C	11,22°C
Electronic Room	8,9°C	0,1	22,91°C	10,30°C
Shift Supervisor'S Room	8,0°C	0,1	23,46°C	9,55°C
Planta De Agua	11,1°C	0,1	22,32°C	12,22°C
Sala De Control	10,6°C	0,1	22,68°C	11,81°C
MCC	11,6°C	0,1	22,16°C	12,61°C
AQCS	11,1°C	0,1	22,41°C	12,19°C
PLC Control Room	9,6°C	0,1	23,09°C	10,95°C
Elec. Room	11,4°C	0,1	22,36°C	12,50°C
Manejo De Carbón	10,7°C	0,1	22,58°C	11,89°C

*Nota.* En la tabla se logra evidenciar los valores calculados de temperatura de suministro de aire para las salas que se requieren refrigerar.

### **Eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado.**

El EER de sus siglas en inglés (energy efficiency ratio) nos indica el rendimiento o eficiencia que tiene el equipo en frío, es decir, en este caso nos indica la capacidad que tienen los aires acondicionados para entregar energía en modo frío, en relación con la capacidad de

consumo de energía eléctrica (TECAM, 2022). Por lo tanto, cuanto más alto sea el valor del EER mayor será la eficiencia del equipo y menor será la potencia de consumo del mismo, en relación a su entrega de energía en frío.

#### **Figura 44.**

*Ecuación 16, Radio de eficiencia energética.*

$$EER = \frac{\text{Potencia frigorífica}}{\text{potencia eléctrica que se consume}}$$

#### **EER: radio de eficiencia energética.**

Entre las características técnicas de estos equipos se encuentran su EER y SEER siendo el SEER el factor de eficiencia energética estacional, el cual se ha venido teniendo en cuenta para los equipos nuevos de aire acondicionado en los últimos años. Para los equipos Split nos indica su catálogo que su radio de eficiencia energética es de 2,91 el cual se ha comparado con el de las unidades centrales instaladas hallando este valor en estos equipos de la halló con base a la ecuación 16, considerando los valores de potencia nominal frigorífica y potencia eléctrica de consumo encontrados en las fichas técnicas de los equipos; de la siguiente manera:

- Equipo de condensación 20SAM00AH503 B.

$$EER = \frac{198 \text{ kW}}{87.3 \text{ kW}}$$

$$EER = 2.268$$

- Equipo de condensación 20SAM00AH503 A.

$$EER = \frac{198 \text{ kW}}{87.3 \text{ kW}}$$

$$EER = 2.268$$

- Equipo de condensación 20SAM00AH501.

$$EER = \frac{73 \text{ kW}}{28,8 \text{ kW}}$$

$$EER = 2,534$$

- Equipo de condensación 20SAM00AH502.

$$EER = \frac{73 \text{ kW}}{28,8 \text{ kW}}$$

$$EER = 2,534$$

- Equipo de condensación 20SAG00AH501 A.

$$EER = \frac{17 \text{ kW}}{7,83 \text{ kW}}$$

$$EER = 2,171$$

- Equipo de condensación 20SAG00AH501 B.

$$EER = \frac{17 \text{ kW}}{7,83 \text{ kW}}$$

$$EER = 2,171$$

- Equipo de unidad manejadora 20SAF00AH301 A.

$$EER = \frac{9,4 \text{ kW}}{5,0 \text{ kW}}$$

$$EER = 1,88$$

- Equipo de unidad manejadora 20SAF00AH501 B.

$$EER = \frac{9,4 \text{ kW}}{5,0 \text{ kW}}$$

$$EER = 1,88$$

- Equipo de unidad 20SAC00AH201 A.

$$EER = \frac{106 \text{ kW}}{73,1 \text{ kW}}$$

$$EER = 1,45$$

- Equipo de unidad 20SAC00AH201 B.

$$EER = \frac{106 \text{ kW}}{73,1 \text{ kW}}$$

$$EER = 1,45$$

Por otra parte, cabe aclarar que el EER se consigue cuando los equipos están funcionando en su 100%, es decir en su máximo rendimiento, además que a medida que estos equipos envejecen, sufren fallas y sus mantenimientos aumentan; este valor tenderá a disminuir, ya que los equipos aumentarán su potencia de consumo de energía y además disminuirán su rendimiento (TECAM, 2022).

La nueva norma técnica colombiana (NTC-5104), para equipos unitarios de aire acondicionado, sugiere que los valores de relación de eficiencia energética, sean superiores a 2,60  $W_t / W_e$  (EER). En la siguiente figura (figura 45), podemos observar la clasificación de los equipos según su radio de eficiencia.

**Figura 45.**

*Clasificación de los equipos según su EER.*

Clase de Eficiencia Energética	Factor de Eficiencia Energética
A	$EER \geq 4,10$
B	$3,60 \leq EER < 4,10$
C	$3,10 \leq EER < 3,60$
D	$2,60 \leq EER < 3,10$
E	$2,40 \leq EER < 2,60$
F	$2,10 \leq EER < 2,40$
G	$EER < 2,10$

*Nota:* tomado de (TECAM, 2022).

Allí se puede notar que la mayoría de los equipos se encuentran clasificados entre clase E y F para los cuales se consideran equipos de mayor consumo de energía, mientras los equipos Split piso-techo que se quieren instalar en el proyecto se clasifican como clase D, y en la clasificación según su SEER, él cual es medido en cargas parciales, que es como realmente funcionan los equipos inverter, tiene un valor de 17- 18 y se encuentran clasificados entre equipos de alta eficiencia y eficiencia media (A+) como se observa en la figura 46, donde su porcentaje de consumo promedio estará en un rango del (75% y 90%), lo cual irá a disminuir los costos de operación de esos equipos en comparación con las unidades centrales instaladas actualmente.

**Figura 46.***Interpretación de valores SEER.*

*Nota:* tomado de ( Resurtidora de aire y calefaccion, 2020)

Los datos obtenidos en la fase 2 del proyecto, nos servirán para la selección de los equipos, tomando las cargas térmicas necesarias halladas, los caudales de suministro y las temperaturas de trabajo.

### **Selección de equipo**

Entre las unidades industriales comerciales en Colombia se tienen en consideración:

Unidades de paquete (figura 47): Estos equipos están compuestos por 4 elementos del circuito básico de refrigeración en un solo gabinete los cuales son (condensador, evaporador, compresor y ductos), el aire es transferido al centro que se requiere acondicionar por medio de ductos de láminas galvanizadas. (Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia, 2022)

**Figura 47.**

*Aire acondicionado de paquete.*



*Nota:* tomado de (Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia, 2022)

Unidades VRF (figura 48): de sus siglas (flujo de refrigerante variable), son sistemas eficientes, los cuales permiten regular el caudal de flujo de refrigerante que es enviado desde una unidad central exterior y distribuido a distintas unidades interiores, haciéndolos equipos especiales para grandes espacios como edificios.

**Figura 48.**

*Aire acondicionado, sistema VRF.*



*Nota:* tomado de (Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia, 2022)

Unidades tipo Central (figura 49): estos equipos toman su nombre de las siglas UP o RTU (unit package o roof top unit de sus siglas en inglés), estas son unidades que funcionan bajo un circuito elemental de refrigeración, el cual contiene cuatro elementos básicos en un solo gabinete (condensador, evaporador, compresor y elemento expansor).

### **Figura 49.**

*Unidad tipo central (condensadora - manejadora)- aire acondicionado.*



**581J Preferred™**  
High Efficient 3 to 25 Ton  
Packaged Cooling with Gas Heat

**551J Preferred™**  
High Efficient 3 to 25 Ton  
Packaged Cooling with Electric Heat

**549J Preferred™**  
High Efficient 3 to 10 Ton  
Packaged Heat Pump



*Nota:* tomado de (Refriplast, Bryant línea completa de soporte y equipos comerciales ligeros, 2022)

Unidades piso-techo (figura 50): estos equipos permiten regular el nivel de la temperatura dentro de un espacio y también el nivel de humedad, ayudando a optimizar la calidad del aire que a través del equipo circula. Las unidades piso-techo permiten una

instalación en el piso o en el techo como su nombre lo indica, conformado por una unidad condensadora exterior y un evaporador interior.

**Figura 50.**

*Aire acondicionado piso-techo.*



*Nota:* tomado de (Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia, 2022)

En la tabla 40, se hallaron las cantidades de equipos según la carga de enfriamiento requerida, los caudales necesarios y las características técnicas que brindan tres sistemas analizados (1. Piso techo, 2. Sistema VRF, 3. Sistemas centralizado).

**Tabla 40.**

*Cantidad de equipos de aire acondicionado, tipo Split (piso-techo) requeridos.*

<b>Zona</b>	<b>Carga Térmica Total Watts</b>	<b>Capacidad en (W) de Aire A. (60000 BTU)</b>	<b>Cantidad Aproximada</b>	<b>Cantidad De Equipos</b>
Nivel 1 Edi. Turbina				
Swgr	86209,09	17598	4,899	5 equipos de 60000 BTU
Nivel 2 Edi. Turbina				
Lv Swgr R	134.998	17598	7,671	8 equipos de 60000 BTU

Battery Room	8139,78	17598	0,463	1 equipo de 36000 BTU
Nivel 3 Edif. Turbina				
Central Control Room	30761,28	17598	1,748	2 equipos de 60000 BTU
Electronic Room	25488,84	17598	1,448	2 equipos de 60000 BTU
Shift Supervisor'S Room	4450,42	17598	0,253	1 equipo de 18000 BTU
salas de Planta De Agua				
MCC	19806,87	17598	1,126	2 equipos de 36000 BTU
Sala De Control	8884,32	17598	0,505	1 equipo de 36000 BTU
salas de AQCS				
Elec. Room	86857,19	17598	4,936	5 equipos de 60000 BTU
PLC Control Room	6682,21	17598	0,380	1 equipo de 24000 BTU
sala Manejo De Carbón	7920,54	17598	0,450	1 equipo de 36000 BTU

*Nota.* En la tabla se observa la cantidad de equipos Split piso techo hallados, para las salas de mayor requerimiento de acondicionamiento de aire teniendo en cuenta la carga térmica requerida.

Estos equipos con tecnología inverter, tienen la capacidad de auto regular el trabajo de su compresor, esto quiere decir que la velocidad del compresor trabajará de manera constante y por lo tanto de una manera más eficiente, donde la velocidad del compresor variará, según la proximidad de la temperatura presente, con la temperatura deseada, a diferencia de las unidades centrales instaladas actualmente, las cuales no tienen tecnología inverter, cuando están encendidas su compresor va a trabajar hasta donde su nivel de eficiencia lo permita y manteniendo siempre la velocidad de su compresor máxima. (Airzone, 2022)

En la siguiente tabla (tabla 41), se identifican los equipos requeridos combinando el sistema de flujo de refrigerante variable (VRF), equipos tipo paquete y piso techo.

**Tabla 41.**

*Cantidad de equipos de aire acondicionado, sistema combinado (VRF y tipo paquete).*

<b>Zona</b>	<b>Carga Térmica Total Watts</b>	<b>Caudal Requerido En La Sala</b>	<b>Cantidad De Equipos</b>
Nivel 1 Edi. Turbina			
Swgr	86209,09	19889,44	5 unidades evaporadoras tipo Split de 60000 BTU para sistema VRF y 1 unidad condensadoras para las 5 evaporadoras.
Nivel 2 Edi. Turbina			
Lv Swgr R	134.998	27961,09	2 unidades tipo paquete de 26 ton de refrigeración
Battery Room	8139,78	1816,85	1 unidad piso techo de 36000 BTU
Nivel 3 Edif. Turbina			
Central Control Room	30761,28	7143,82	
Electronic Room	25488,84	5764,11	4 unidades evaporadoras tipo Split de 60000 BTU para sistema VRF y 1 Unidad condensadoras para las 4 evaporadoras.
Shift Supervisor'S Room	4450,42	1085,11	
salas de Planta De Agua			
MCC	19806,87	4875,20	2 equipos de 36000 BTU
Sala De Control	8884,32	2203,72	1 equipo de 36000 BTU
salas de AQCS			
Elec. Room	86857,19	20918,77	5 unidades evaporadoras tipo Split de 60000 BTU y 1 Unidad condensadoras para las 5 evaporadoras
PLC Control Room	6682,21	1575,70	
sala Manejo De Carbón	7920,54	1708,34	1 equipo de 36000 BTU

*Nota.* En la tabla se observa la cantidad de equipos del sistema combinado hallados, para las salas de mayor requerimiento de acondicionamiento de aire teniendo en cuenta la carga térmica requerida y los caudales calculados.

Para el sistema 3 de equipos centralizados, con funcionamiento de los ductos instalados actualmente se logra evidenciar la cantidad de equipos en la tabla 42.

**Tabla 42.**

*Cantidad de equipos de aire acondicionado, tipo central.*

<b>Zona</b>	<b>carga térmica total Ton refrigeración</b>	<b>cantidad de equipos</b>
Nivel 1 Edi. Turbina	25,76	1 aire acondicionado de 26 TR
Nivel 2 Edi. Turbina	51,43	1 aire acondicionado de 60 TR
Nivel 3 Edif. Turbina	21,61	1 aire acondicionado de 20 TR
salas de Planta De Agua	7,43	1 aire central de 10 TR
salas de AQCS	24,29	1 aire central de 25 TR
sala Manejo De Carbón	2,25	1 aire central de 3 TR

*Nota.* En la tabla se observa la cantidad de equipos del sistema centralizado hallados, para las salas de mayor requerimiento de acondicionamiento de aire teniendo en cuenta la carga térmica requerida.

**Objetivo 3. Demostrar análisis de factibilidad de las unidades de aire acondicionado de los edificios turbina, AQCS, planta de agua y carbones.**

Para la determinación de los recursos para un análisis de factibilidad, se debe seguir un patrón, el cual deberá ser revisado y evaluado, para definir si se llega a realizar un proyecto.

Estos recursos se estudian y analizan en función de tres aspectos, los cuales son:

- Técnicos
- Operativos
- Económicos

***La Factibilidad técnica.***

En este aspecto se hace referencia a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades que requiere el proyecto. En este aspecto se ha venido realizando en la primera y segunda fase del proyecto enfatizando en el análisis del sistema de acondicionamiento ya instalado, para el cual se realizó cálculo de radios de eficiencia energética, inspección del funcionamiento y conocimiento del sistema (SISTEMAS, 2022).

***Ventajas y desventajas de cada sistema.***

**Tabla 43.**

*Ventajas y desventajas de sistemas propuestos.*

sistema	categoría	Ventajas	desventajas
---------	-----------	----------	-------------

Split piso techo	Están compuesto por: una unidad interior que se puede montar en posición horizontal debajo de un cielorraso, o vertical sobre un piso (o pared); y una unidad condensadora exterior. La interconexión entre unidades se realiza con cañerías de cobre aisladas y conductores eléctricos.	<p>Instalación sencilla y de bajo coste para el tipo de aplicación.</p> <p>Mantenimiento espaciado y considerablemente sencillo.</p> <p>El modularidad de los sistemas independientes, limita las paradas por mantenimiento o avería a pequeñas secciones del edificio.</p> <p>Siendo equipos con tecnología inverter, brindan menores consumos eléctricos.</p> <p>Fácil acceso en el mercado a repuestos de los equipos.</p> <p>Sus repuestos son económicos respecto a los demás sistemas evaluados.</p>	<p>gran cantidad de equipos por área.</p> <p>La instalación es costosa, debido a la gran cantidad de equipos.</p> <p>Suelen hacer un poco de ruido.</p>
VRF (flujo de refrigerante variable)	El sistema VRF cuenta con una unidad exterior de grandes dimensiones y varias unidades interiores. La particularidad de este sistema es que se puede regular la cantidad de refrigerante aportado, de ahí su nombre flujo de Refrigerante Variable (VRF).	<p>Eficiencia energética y ahorro de energía.</p> <p>Cada usuario o espacio dispone de su control.</p> <p>la modularidad de los sistemas VRF limita las paradas por mantenimiento o avería a pequeñas secciones del edificio.</p> <p>Reducido espacio de instalación de las unidades exteriores compactas.</p> <p>Costes de funcionamiento bajos.</p>	<p>Su elevado coste inicial. En la inversión inicial, los costos del sistema VRF llegan a ser mayores.</p> <p>Distribución de refrigerante por medio de una red de tuberías de cobre susceptible a fugas.</p> <p>El mantenimiento de este tipo de instalaciones, siempre delicado, debido a sus tarjetas electrónicas para el manejo del flujo variable.</p> <p>depende del suministro de piezas del fabricante, en un sistema tradicional como cambiar una válvula de tres vías</p>
Centralizado (condensadora- evaporadora)	El funcionamiento es idéntico al modelo Split, pero se suelen usar para dotar a todo un edificio de aire acondicionado, por lo que el costo de instalación es alto, sin embargo, la calidad y potencia de estos equipos son extraordinarias.	<p>El mantenimiento y servicio técnico es poco frecuente.</p> <p>Da una imagen de alto valor y diseño costoso.</p> <p>Gran estabilidad térmica y mantenimiento relativamente espaciado</p>	<p>El costo de la instalación es bastante elevado.</p> <p>El mantenimiento y servicio técnico es más complejo y se requiere personal capacitado.</p> <p>Los sistemas centralizados se ven afectados en un gran porcentaje de carga por la avería de uno sólo de sus componentes perdiendo su capacidad de satisfacer la demanda del edificio excepto en días de baja demanda o en presencia de costosos sistemas redundantes.</p> <p>Los sistemas centralizados dejan inutilizadas secciones enteras de los edificios en caso de parada por mantenimiento o avería.</p>

*Nota.* En la tabla se observan las ventajas y desventajas que ofrecen los 3 sistemas propuestos

de aire acondicionado.

**Depreciación de equipos.**

Con la depreciación de los equipos se busca reconocer el desgaste que sufrirán los equipos principales de cada sistema a lo largo de su vida útil, para lo cual se conocerá el valor de la depreciación por uso anual de cada equipo y el valor de salvamento de cada uno de ellos, basados en el método decreciente de la depreciación, esto lo podemos evidenciar en las tablas 44, 45 y 46.

**Tabla 44.***Depreciación de equipos piso techo.*

<b>Equipo</b>	<b>Aire Split 60000 BTU</b>		<b>Años De Vida Útil Del Equipo</b>
<b>Cálculo De Depreciación Split Piso Techo</b>			<b>10</b>
<b>Valor</b>	<b>Precio</b>	<b>Depreciación Anual</b>	<b>Fracción</b>
precio de compra	\$ 12.227.000,00	N/A	N/A
valor comercial 1	\$ 10.003.909,09	\$ 2.223.090,91	0,18
valor comercial 2	\$ 8.003.127,27	\$ 2.000.781,82	0,16
valor comercial 3	\$ 6.548.013,22	\$ 1.455.114,05	0,15
valor comercial 4	\$ 5.274.788,43	\$ 1.273.224,79	0,13
valor comercial 5	\$ 3.940.933,88	\$ 1.333.854,55	0,11
valor comercial 6	\$ 2.829.388,43	\$ 1.111.545,45	0,09
valor comercial 7	\$ 1.940.152,07	\$ 889.236,36	0,07
valor comercial 8	\$ 1.273.224,79	\$ 666.927,27	0,05
valor comercial 9	\$ 828.606,61	\$ 444.618,18	0,04
valor comercial 10	\$ 606.297,52	\$ 222.309,09	0,02

*Nota.* En la tabla se observa el cálculo de depreciación de un equipo de aire acondicionado Split piso techo de 60000 BTU, basados en la vida útil del equipo, hallando la fracción anual y determinando la depreciación anual del equipo.

**Tabla 45.***Depreciación de sistema VRF.*

<b>Equipo</b>	<b>Sistema VRF</b>		<b>Años De Vida Útil Del Equipo</b>
<b>Cálculo De Depreciación Sistema VRF</b>			<b>12</b>
<b>Valor</b>	<b>Precio</b>	<b>Depreciación Anual</b>	<b>Fracción</b>
precio de compra	\$ 95.110.433	N/A	N/A
valor comercial 1	\$ 80.478.059	\$ 14.632.374	0,15
valor comercial 2	\$ 67.065.049	\$ 13.413.010	0,14
valor comercial 3	\$ 56.747.349	\$ 10.317.700	0,13
valor comercial 4	\$ 47.461.419	\$ 9.285.930	0,12
valor comercial 5	\$ 37.706.503	\$ 9.754.916	0,10
valor comercial 6	\$ 29.170.951	\$ 8.535.552	0,09
valor comercial 7	\$ 21.854.764	\$ 7.316.187	0,08
valor comercial 8	\$ 15.757.942	\$ 6.096.823	0,06
valor comercial 9	\$ 10.880.483	\$ 4.877.458	0,05
valor comercial 10	\$ 7.222.390	\$ 3.658.094	0,04
valor comercial 11	\$ 5.158.850	\$ 2.063.540	0,03
valor comercial 12	\$ 4.299.042	\$ 859.808	0,01

*Nota.* En la tabla se observa el cálculo de depreciación de un equipo de aire acondicionado VRF, basados en la vida útil del equipo, hallando la fracción anual y determinando la depreciación anual del equipo.

**Tabla 46.***Depreciación de sistema centralizado propuesto.*

<b>Equipo</b>	<b>Aire Central De 25 Tr</b>		<b>Años De Vida Útil Del Equipo</b>
<b>Cálculo De Depreciación Aire Central De 25 Tr</b>			<b>12</b>
<b>Valor</b>	<b>Precio</b>	<b>Depreciación Anual</b>	<b>Fracción</b>
precio de compra	\$ 86.500.000	N/A	N/A
valor comercial 1	\$ 73.192.308	\$ 13.307.692	0,15

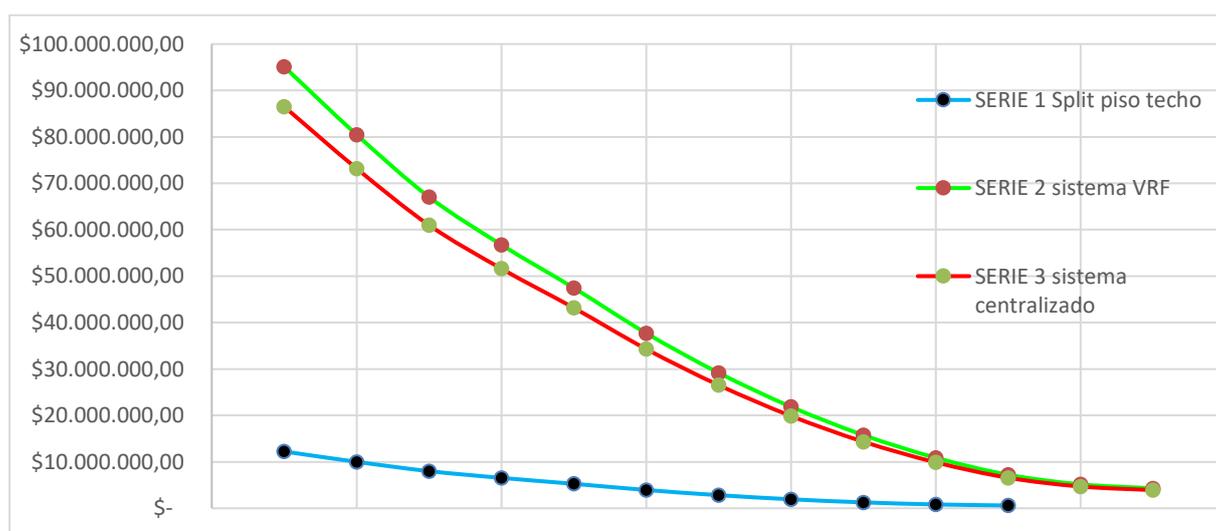
valor comercial 2	\$	60.993.590	\$	12.198.718	0,14
valor comercial 3	\$	51.609.961	\$	9.383.629	0,13
valor comercial 4	\$	43.164.694	\$	8.445.266	0,12
valor comercial 5	\$	34.292.899	\$	8.871.795	0,10
valor comercial 6	\$	26.530.079	\$	7.762.821	0,09
valor comercial 7	\$	19.876.233	\$	6.653.846	0,08
valor comercial 8	\$	14.331.361	\$	5.544.872	0,06
valor comercial 9	\$	9.895.464	\$	4.435.897	0,05
valor comercial 10	\$	6.568.540	\$	3.326.923	0,04
valor comercial 11	\$	4.691.815	\$	1.876.726	0,03
valor comercial 12	\$	3.909.845	\$	781.969	0,01

*Nota.* En la tabla se observa el cálculo de depreciación de un equipo de aire acondicionado centralizado de 25 toneladas de refrigeración, basados en la vida útil del equipo, hallando la fracción anual y determinando la depreciación anual del equipo.

En la siguiente figura (figura 51), se puede identificar el bajo costo y por tanto baja depreciación de los equipos piso techo, respecto a los otros dos sistemas.

### Figura 51.

*Comparativa de depreciación por año de servicio de cada sistema.*



*Nota.* En la figura se observa una comparación realizada teniendo en cuenta la depreciación de cada sistema notando en la columna vertical el costo de inversión del equipo.

### ***Factibilidad operativa.***

Esta factibilidad hace referencia a todos esos recursos, como su nombre lo dice, operativos, donde intervienen las actividades y procesos de los aires acondicionados, en este caso consideramos, la apreciación de los costos de mantenimientos de los distintos sistemas y el consumo de energía. Durante esta etapa se identificarán las actividades realizadas para lograr con este aspecto. (SISTEMAS, 2022).

#### **3.3.1 Verificación de costos de mantenimiento de los equipos instalados.**

Al realizar la verificación de los costos de mantenimiento se encontraron los siguientes aspectos.

En el edificio turbina se encontraron mantenimientos realizados tanto por personal de la planta, como por personal externo, donde el personal externo se encarga de realizar los mantenimientos mecánicos y el personal interno realiza mantenimientos eléctricos, trabajos de lubricación, de regulación y control, entre otros. También se observa que los mantenimientos preventivos tienen costos elevados, debido al tamaño de los equipos y los repuestos, en donde se halló que se ha gastado un valor de \$ 77,944,135 desde el año 2016, hasta el año vigente (2022) en las unidades manejadoras.

En las unidades condensadoras se ha gastado un total de \$ 43,926,988 igualmente desde el año 2016 hasta el año vigente. En cuanto a mantenimientos correctivos, tanto de unidades manejadoras como condensadoras, el costo ha sido de \$ 34,635,178, todo esto para

un gasto total de \$ 156.506.301 por todos los mantenimientos realizados desde el año 2016 hasta 2022 en el edificio turbina. En la siguiente gráfica se pueden observar los costos de mantenimientos, y los años en los que se han realizado.

**Figura 52.**

*Gráfica de costos de mantenimiento vs año en que se presentaron.*



*Nota.* En la figura se observa en el eje vertical los costos de mantenimiento realizados y en el eje horizontal el año en que se realizaron los mismos.

Como se logra observar en el gráfico 52, el 2017 fue el año de mayor elevación de los costos de mantenimiento, durando solo dos años con costo de mantenimientos por llamarlo de algún modo considerables, luego en el 2020 se vuelven a elevar los costos de mantenimiento en los equipos y se puede notar que tienen tendencia a seguir aumentando aún más sus mantenimientos a medida que aumentan los años de instalación.

En el edificio AQCS se encontró que los costos por mantenimiento preventivos hasta

la fecha son de \$ 29.947.876 y los de mantenimientos correctivos son de \$ 84.196. Al igual que en los equipos de enfriamiento anteriores, los de AQCS también presentan los máximos costos de mantenimiento entre los años 2017 – 2018, en la siguiente figura (figura 53), se logra apreciar la elevación de costos de mantenimiento.

**Figura 53.**

*Costos de mantenimientos totales por año de unidades de edificio AQCS.*



*Nota.* En la figura se observa en el eje vertical los costos de mantenimiento realizados y en el eje horizontal el año en que se realizaron los mismos.

En el edificio tratamiento de agua, los costos por mantenimientos preventivos alcanzaron los \$ 6.366.312, mientras que los costos por mantenimientos correctivos fueron de \$ 6.265.047, para una suma total de costos de mantenimiento en los equipos tanto condensadores como en los manejadores de \$ 12.631.359. en la figura 54 podemos ver la información de costos anuales en estos equipos y en la figura 55 se indican los costos por mantenimiento que ha tenido cada equipo de aire acondicionado del edificio de tratamiento de agua, desde la instalación del sistema.

**Figura 54.**

*Costos de mantenimientos totales por año de unidades de edificio tratamiento de agua.*

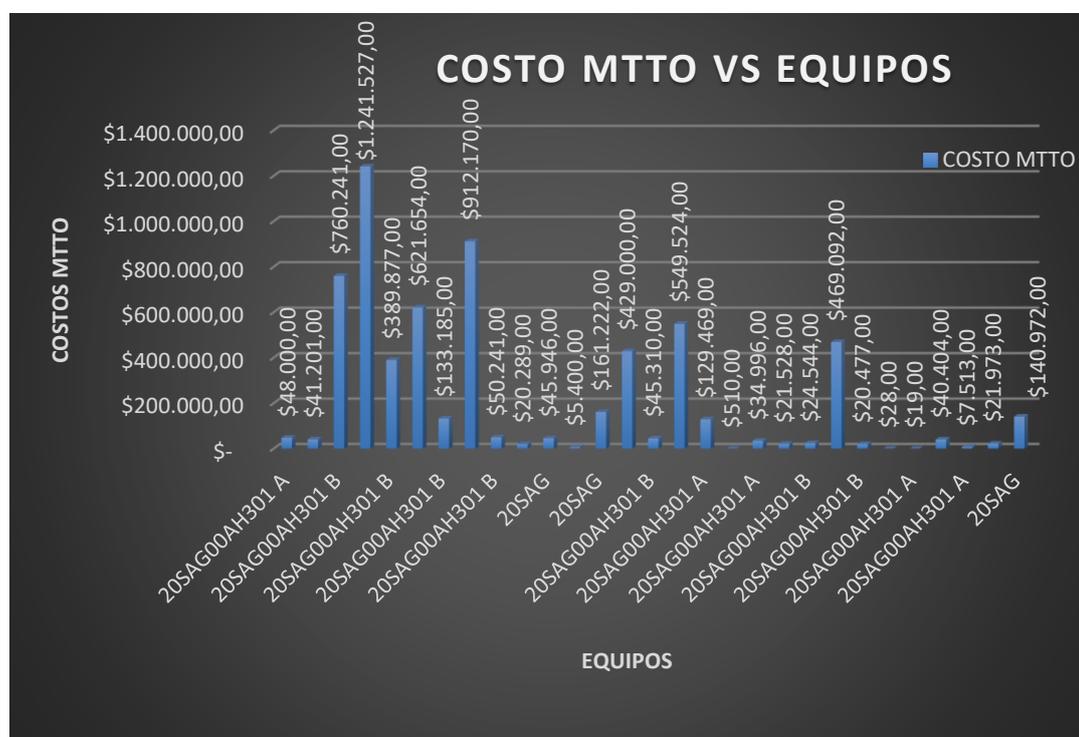


*Nota.* En la figura se observa en el eje vertical los costos de mantenimiento realizados y en el eje horizontal el año en que se realizaron los mismos.

En la figura 55 se logra ver que el equipo en el que más se realizaron mantenimientos, ha sido la unidad 20SAG00AH301 B.

**Figura 55.**

*Costos de mantenimientos totales por equipo de unidades de edificio tratamiento de agua.*

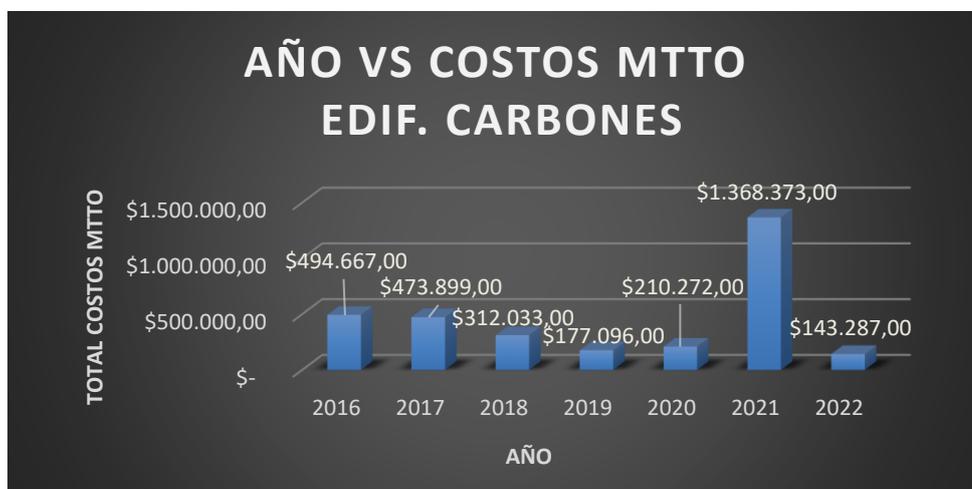


*Nota.* En la figura se observa en el eje vertical los costos de mantenimiento realizados y en el eje horizontal el equipo al que se le realizó el mantenimiento.

Para el edificio de manejo de carbón los costos por mantenimiento preventivos alcanzan los \$ 3.115.733 y los correctivos solo \$ 63.894 como se notarán en la siguiente gráfica (figura 56), sabiendo que este es el área acondicionada más pequeña y con el equipo de refrigeración de menor capacidad (9,4 kW).

**Figura 56.**

*Costos de mantenimientos totales por año de unidades de edificio carbones.*



*Nota.* En la figura se observa en el eje vertical los costos de mantenimiento realizados y en el eje horizontal el año en que se realizaron los mismos.

En la tabla 47 se resumen los datos registrados en las figuras anteriores sobre los costos de mantenimiento realizados a los sets de unidades de aire acondicionado de cada uno de los edificios tenidos en cuenta en el proyecto.

**Tabla 47.**

*Costos totales en mantenimientos de las unidades manejadoras y condensadoras de los edificios de la planta.*

Año	Turbina	AQCS	Tratamiento De Agua	Carbones
2016	\$ 2.780.160,00	\$ 265.602,00	\$ 251.694,00	\$ 494.667,00
2017	\$ 62.639.059,00	\$ 9.760.400,00	\$ 1.654.693,00	\$ 473.899,00
2018	\$ 12.026.938,00	\$ 12.770.501,00	\$ 1.023.834,00	\$ 312.033,00
2019	\$ 4.716.928,00	\$ 2.825.997,00	\$ 161.222,00	\$ 177.096,00
2020	\$ 42.074.553,00	\$ 4.306.129,00	\$ 1.437.416,00	\$ 210.272,00
2021	\$ 16.890.594,00	\$ 23.947,00	\$ 7.253.058,00	\$ 1.368.373,00
2022	\$ 17.903.192,00	\$ 2.669.302,00	\$ 849.442,00	\$ 143.287,00

---

<b>Totales</b>	<b>7 años</b>	<b>\$ 159.031.424,00</b>	<b>\$ 32.621.878,00</b>	<b>\$ 12.631.359,00</b>	<b>\$ 3.179.627,00</b>
----------------	---------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------------

---

*Nota.* En la tabla se observa la suma de los costos de mantenimiento de los equipos instalados actualmente, basados únicamente en los repuestos y consumibles.

En cuanto a los mantenimientos de los equipos Split piso-techo se tiene como referencia el costo de los mantenimientos realizados a los 3 equipos de este tipo instalados en el edificio turbina, en los cuales los costos analizados son solamente en cuanto a repuestos, accesorios y consumibles, no se ha tenido en cuenta el costo por personal de mantenimiento, tal cual como se realizó con los equipos centrales (manejadoras-condensadoras) de aire acondicionado. Estos equipos registran mantenimientos desde el año 2020 en donde solo se ha gastado \$17.446 gastado en repuestos y consumibles, como se puede notar en la tabla 48.

**Tabla 48.**

*Costos totales en mantenimientos de aires Split de sala de relés, 3 nivel, edificio turbina.*

<b>Ubicación Técnica</b>	<b>Equipo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Frecuencia Mtto</b>	<b>Costo Plan Mtto</b>	<b>Costo Mtto</b>	<b>Año</b>	<b>Total</b>
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	semestral	\$768.650	\$ 17.446	2022	\$17.446
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	semestral	\$866.897	\$ -	2022	\$ -
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	semestral	\$650.283	\$ -	2021	\$ -
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	semestral	\$573.541	\$ -	2021	\$ -
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	trimestral	\$353.151	\$ -	2021	\$ -
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	trimestral	\$351.301	\$ -	2020	\$ -
20SAMAH00504	A/A # 56, #57 Y #58	Sala de relés	trimestral	\$352.568	\$ -	2020	\$ -

*Nota.* En la tabla se observa la suma de los costos de mantenimiento de 3 equipos Split piso-techo instalados, donde el costo plan Mtto indica el presupuesto tenido en cuenta para

mantenimiento y el total indica lo que realmente se gastó.

Los costos de mantenimiento fueron corroborados en el sistema de gestión de base de datos de la empresa (SAP HANA), como lo podemos evidenciar en las siguientes figuras (figuras 57, 58, 59, 60, 61), para el año 2022.

**Figura 57.**

*Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio turbina 2022.*

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM										
Selec.	Status de usuario	Aviso	Ubic.téc.	Status del sistema	Ce.	Fe.inic.extrema	Autor	Total general (real)	Fecha liber.real	Grupo planif.
fin		20037028	T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR KKMP NLIQ PREC	7000	12.05.2022	OGUERRERO	0	19.05.2022	ELE
fin		20037242	T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR MACO MOVN NLIQ P...	7000	08.02.2022	OGUERRERO	123.810	07.02.2022	ELE
fin		10007556	T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR MOVN NLIQ PREC	7000	15.03.2022	ESANTAMARIA	146.000	15.03.2022	ELE
fin		20038164	T20SAM00...	LIB. NOTI IMPR EDET JBFI MACO MOV...	7000	15.02.2023	NPATINO	1.975.089	22.06.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	09.11.2022	JP1020221004	0	18.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	15.11.2022	JP1020221004	0	18.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	09.11.2022	JP1020221004	0	22.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	17.11.2022	JP1020221004	0	21.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	04.11.2022	JP1020221004	0	24.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO MO...	7000	11.11.2022	JP1020221004	277.548	16.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	08.11.2022	JP1020221004	0	21.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI EDET IMPR JBFI MACO MO...	7000	11.11.2022	JP1020221004	49.350	22.11.2022	ELE
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT NLIQ PR...	7000	17.02.2022	JP1020211005	0	02.02.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI EDET IMPR MACO NLIQ PR...	7000	21.02.2022	JP1020211005	0	08.02.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	07.01.2022	JP1020211005	0	11.01.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT NLIQ PR...	7000	22.02.2022	JP1020211005	0	08.02.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	04.01.2022	JP1020211005	0	06.01.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	11.01.2022	JP1020211005	0	12.01.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	05.01.2022	JP1020211005	0	07.01.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT NLIQ PR...	7000	18.02.2022	JP1020211005	0	07.02.2022	REG
fin			T20SAM00...	LIB. NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLIQ...	7000	11.11.2022	JP1020221004	0	23.11.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	16.11.2022	JP1020221004	0	18.11.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	10.11.2022	JP1020221004	0	08.11.2022	REG
fin			T20SAM00...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	15.11.2022	JP1020221004	0	09.11.2022	REG
								<b>17.473.079</b>		

*Nota.* En la figura se logra evidenciar en la línea amarilla el costo de mantenimiento de equipos de aire acondicionado del edificio turbina.

**Figura 58.**

*Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio planta de agua 2022.*

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM											
Selec.	Status de usuario	Aviso	Ubicación técnica	Status del sistema	Ce.	Fe.inic.extrema	Autor		Total general (real)	Fecha liber.real	Grupo planif.
fin			T20SAG00AH301A	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	15.03.2022	IP1020220204		0	09.03.2022	PLA
fin			T20SAG00AH301B	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	15.03.2022	IP1020220204		0	09.03.2022	PLA
fin			T20SAG00AH301A	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	15.06.2022	IP1020220505		0	23.06.2022	PLA
fin			T20SAG00AH301B	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	15.06.2022	IP1020220505		0	23.06.2022	PLA
fin			T20SAG00AH301A	CTEC NOTI EDET FMAT IMPP JBFI MO...	7000	15.09.2022	IP1020220802	48.000	0	23.09.2022	PLA
fin			T20SAG00AH301B	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT JBFI NLI...	7000	15.09.2022	IP1020220802		0	23.09.2022	PLA
fin		70014660	T20SAG00AH301A	CTEC NOTI IMPP MACO MOVN NLIQ P...	7000	22.07.2022	OGUERRERO		41.201	29.03.2022	ELE
fin		70014661	T20SAG00AH301B	CTEC NOTI IMPP MACO MOVN NLIQ P...	7000	25.07.2022	OGUERRERO		760.241	29.03.2022	ELE
fin			T20SAG00AH301A	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT NLIQ PR...	7000	06.05.2022	IP1020211102		0	18.05.2022	REG
fin			T20SAG00AH301B	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	11.01.2022	IP1020211102		0	12.01.2022	REG
									<b>849.442</b>		

*Nota.* En la figura se logra evidenciar en la línea amarilla el costo de mantenimiento de equipos de aire acondicionado del edificio planta de agua.

**Figura 59.**

*Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio AQCS 2022.*

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM											
Selec.	Status de usuario	Aviso	Ubic.téc.	Status del sistema	Ce.	Fe.inic.extrema	Autor		Total general (real)	Fecha liber.real	Grupo planif.
fin		20037474	T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR KKMP NLIQ PREC	7000	04.01.2022	OCMA		0	02.02.2022	PLA
fin		20037473	T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR KKMP NLIQ PREC	7000	07.02.2022	OCMA		0	02.02.2022	PLA
fin		20038382	T20SAC	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO MO...	7000	24.10.2022	OCMA	1.429.510	0	29.08.2022	PLA
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI EDET FMAT IMPP MOVN N...	7000	15.03.2022	IP1020220204		636.300	01.03.2022	PLA
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT MOVN N...	7000	15.03.2022	IP1020220204		182.434	01.03.2022	PLA
fin			T20SAC	CTEC NOTI IMPR EDET MACO MOVN ...	7000	15.03.2022	IP1020220204		17.697	09.03.2022	PLA
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT NLIQ PR...	7000	15.06.2022	IP1020220505		0	24.06.2022	PLA
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT NLIQ PR...	7000	15.06.2022	IP1020220505		0	24.06.2022	PLA
fin			T20SAC	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	15.06.2022	IP1020220505		0	24.06.2022	PLA
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	15.09.2022	IP1020220802		0	23.09.2022	PLA
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MO...	7000	15.09.2022	IP1020220802	403.361	0	23.09.2022	PLA
fin			T20SAC	CTEC NOTI IMPR EDET JBFI MACO NLI...	7000	15.09.2022	IP1020220802		0	23.09.2022	PLA
estu			T20SAC00A...	LIB. IMPR EDET FMAT NLIQ PREC	7000	15.12.2022	IP1020221103		0	19.12.2022	PLA
estu			T20SAC00A...	LIB. IMPR EDET FMAT NLIQ PREC	7000	15.12.2022	IP1020221103		0	19.12.2022	PLA
estu			T20SAC	LIB. IMPR EDET MACO NLIQ PREC	7000	15.12.2022	IP1020221103		0	19.12.2022	PLA
fin		20037856	T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR MACO NLIQ PREC	7000	11.03.2022	ESANTAMARIA		0	11.03.2022	ELE
fin		70014741	T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR MACO NLIQ PREC	7000	21.02.2022	OGUERRERO		0	18.02.2022	ELE
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	03.01.2022	IP1020211102		0	03.01.2022	REG
fin			T20SAC00A...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	03.01.2022	IP1020211102		0	07.01.2022	REG
									<b>2.669.302</b>		

*Nota.* En la figura se logra evidenciar en la línea amarilla el costo de mantenimiento de equipos de aire acondicionado del edificio AQCS.

**Figura 60.**

*Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado edificio carbones 2022.*

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM											
EP	Selecc.	Status de usuario	Aviso	Ubic.téc.	Status del sistema	Ce.	Fe.inic.extrema	Autor	Total general (real)	Fecha liber.real	Grupo planif.
		fin		T20SAF00A...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO MOV...	7000	15.03.2022	IP1020220204	89.467	07.03.2022	PLA
		fin		T20SAF00A...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	15.06.2022	IP1020220505	0	24.06.2022	PLA
		fin		T20SAF00A...	CTEC NOTI IMPR EDET FMAT J8FI MO...	7000	15.09.2022	IP1020220802	53.820	23.09.2022	PLA
		estu		T20SAF00A...	LIB. IMPR EDET MACO NLIQ PREC	7000	15.12.2022	IP1020221103	0	19.12.2022	PLA
		fin		T20SAF00A...	CTEC NOTI IMPR EDET MACO NLIQ PR...	7000	07.01.2022	IP1020211102	0	13.01.2022	REG
									<b>143.287</b>		

*Nota.* En la figura se logra evidenciar en la línea amarilla el costo de mantenimiento de equipos de aire acondicionado del edificio carbones.

**Figura 61.**

Costos de mantenimiento equipos aire acondicionado piso techo de sala de relés desde 2020.

Modificar órdenes PM: Lista de órdenes PM													
EP	Selecc.	Pto.tbjo.resp.	Orden	Texto breve	Fe.creac.	Fecha inicio real	St...	Avi:Ubicación técnica	Stat.sist.	Ce.	Fe.inic.extrema	Autor	TotalGen.(real)
		AIRES	20086800	A/A #3 GENERADOR DIESEL	05.05.2021	02.06.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.06.2021	IP1020...	0
			20087540	SERVICIOS GRAL A/A SALA RELE EXCITACION	08.07.2021	11.08.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	17.08.2021	IP1020...	0
			20087870	A/A #1 CUARTO MAQUINA ELEVADOR TURB	03.08.2021	28.09.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.09.2021	IP1020...	15.000
			20087872	A/A #3 GENERADOR DIESEL		21.09.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.09.2021	IP1020...	0
			20088633	A/A #54 Y #55 PANEL EXCITACION	05.10.2021	24.11.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	16.11.2021	IP1020...	0
			20088634	A/A #56, #57 y #58 SALA RELES		24.11.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	16.11.2021	IP1020...	0
			20089010	MITTO A/A #50 PANEL RPM TURBINA	25.10.2021	12.07.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	12.07.2022	WDAV...	0
			20089698	A/A #1 CUARTO MAQUINA ELEVADOR TURB	02.11.2021	16.12.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.12.2021	IP1020...	3.187
			20089700	A/A #3 GENERADOR DIESEL		16.12.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.12.2021	IP1020...	0
			20090872	A/A #1 CUARTO MAQUINA ELEVADOR TURB	04.02.2022	11.03.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.03.2022	IP1020...	0
			20090874	A/A #3 GENERADOR DIESEL		14.03.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.03.2022	IP1020...	0
			20091860	A/A #54 Y #55 PANEL EXCITACION	07.04.2022	27.05.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	16.05.2022	IP1020...	23.563
			20091861	A/A #56, #57 y #58 SALA RELES		24.05.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	16.05.2022	IP1020...	0
			20092271	A/A #1 CUARTO MAQUINA ELEVADOR TURB	05.05.2022	28.06.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.06.2022	IP1020...	0
			20092273	A/A #3 GENERADOR DIESEL		29.06.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.06.2022	IP1020...	0
			20093301	A/A #1 CUARTO MAQUINA ELEVADOR TURB	02.08.2022	22.09.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.09.2022	IP1020...	0
			20093303	A/A #3 GENERADOR DIESEL		22.09.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.09.2022	IP1020...	0
			20093935	A/A #54 Y #55 PANEL EXCITACION	04.10.2022	28.11.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.11.2022	IP1020...	4.003
			20093936	A/A #56, #57 y #58 SALA RELES		28.11.2022	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.11.2022	IP1020...	17.446
			20094366	A/A #1 CUARTO MAQUINA ELEVADOR TURB	03.11.2022		estu	T20SAM00AH504	LIB. IMP...	7000	15.12.2022	IP1020...	0
			20094368	A/A #3 GENERADOR DIESEL			estu	T20SAM00AH504	LIB. IMP...	7000	15.12.2022	IP1020...	0
		SERVGRAL	20087216	SERVICIOS GRAL A/A SALA RELE EXCITACION	01.06.2021	08.07.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.07.2021	IP1020...	0
			20087863		03.08.2021	08.09.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.09.2021	IP1020...	0
			20088214		01.09.2021	08.10.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.10.2021	IP1020...	0
			20089679		02.11.2021	02.12.2021	fin	T20SAM00AH504	CTEC N...	7000	15.12.2021	IP1020...	21.101

*Nota.* En la figura se logra evidenciar en las líneas amarillas el costo de mantenimiento de equipos de aire acondicionado piso techo de sala de relés del edificio turbina.

Por otra parte, se encuentra el costo de operación del personal de mantenimiento de la empresa “TODO LINEAS” para la cual se tienen los costos de mantenimiento del año 2022 para las unidades centrales de los edificios de operaciones, como se puede ver en la tabla 49, allí se aprecia un valor unitario que indica el costo del personal de mantenimiento en un mes, el valor parcial indica el costo del personal de mantenimiento en el año, para el cual se realizaron en 4 meses del mismo, estos mantenimientos se realizan semestral, trimestral y

anual.

**Tabla 49.**

*Costo anual de personal de mantenimiento externo para las unidades centrales (sistema actual) de los edificios de operaciones.*

<b>TODOLINEAS</b>		
	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Parcial</b>
A/A Sala De Mandos	\$ 411.600,00	\$ 1.646.400,00
	\$ 411.600,00	\$ 1.646.400,00
A/A Centro Control Motores	\$ 362.600,00	\$ 1.450.400,00
	\$ 362.600,00	\$ 1.450.400,00
A/A AQCS	\$ 482.000,00	\$ 1.928.000,00
	\$ 482.000,00	\$ 1.928.000,00
A/A Tratamiento Agua	\$ 282.700,00	\$ 1.130.800,00
	\$ 282.701,00	\$ 1.130.804,00
A/A Sala Control Carbón	\$ 73.500,00	\$ 294.000,00
	\$ 73.500,00	\$ 294.000,00
	Total, Año	\$ 12.899.204,00
	+IVA 19%	\$ 15.350.052,76

*Nota.* En la tabla se logra evidenciar en el valor unitario el costo del personal de mantenimiento en un mes para los equipos de aire acondicionado (A/A) y el valor parcial representa el costo de los mantenimientos realizados en el año, los cuales son 4 distribuidos en mantenimientos anuales semestrales y trimestrales.

Para el sistema tipo Split, se basaron los costos de mantenimiento en los que realiza la

misma empresa a este tipo de equipos, los cuales para estos equipos se realiza de manera semestral, como se puede observar en la siguiente tabla (tabla 50).

**Tabla 50.**

*Costo anual de personal de mantenimiento externo para equipos Split piso techo.*

<b>TODOLINEAS</b>			
	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Parcial</b>	
A/A Split De 6000	\$ 95.000,00	\$	190.000,00
BTU Sala Relés	\$ 95.000,00	\$	190.000,00
	\$ 95.000,00	\$	190.000,00
		\$	570.000,00

*Nota.* En la tabla se puede observar el Costo anual de personal de mantenimiento externo para equipos Split piso techo, siendo el valor unitario el costo de un mantenimiento y el valor parcial el valor anual ya que a estos equipos se les realiza mantenimiento semestral.

Para el caso, donde se desean instalar la cantidad de equipos hallada los costos anuales para todo el sistema de Split piso techo quedaría de la siguiente manera.

**Tabla 51.**

*Posibles costos de mantenimiento para la cantidad de equipos calculada para edificios de operaciones.*

<b>TODOLINEAS</b>					
	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Parcial</b>	<b>+IVA 19%</b>	<b>Cant.</b>	<b>Total</b>
A/A Split De 6000 BTU Sala Relés	\$ 95.000,00	\$ 190.000,00	\$ 226.100,00	22	\$ 4.974.200,00
A/A Split 24000 BTU	\$ 55.000,00	\$ 220.000,00	\$ 261.800,00	1	\$ 261.800,00
A/A Split 36000 BTU	\$ 73.500,00	\$ 294.000,00	\$ 349.860,00	5	\$ 1.749.300,00
A/A Split 18000 BTU	\$ 55.000,00	\$ 220.000,00	\$ 261.800,00	1	\$ 261.800,00

---

<b>Total</b>	<b>\$ 7.247.100,00</b>
--------------	------------------------

---

*Nota.* En la tabla se puede observar el Costo anual de personal de mantenimiento externo para equipos Split piso techo, calculados en base a la tabla 50.

### **3.3.2 Realizar medidas de consumo de energía de los equipos de aire acondicionado, tanto en unidades manejadoras, como en las condensadoras.**

#### **Medidas de consumo de corriente de los aires acondicionados.**

Teniendo en cuenta el estado en que se encuentran los equipos, en donde algunas de las unidades se encuentran sin algunos compresores, como el caso de los equipos que se encuentran citados en la tabla número 4, se ha realizado la verificación de los costos de mantenimiento de los equipos de aire acondicionado. En la siguiente tabla (52), se evidencian los consumos de energía de esos equipos en amperios, hay que tener en cuenta que hay equipos con consumos bastante menores, debido a que los compresores que no están funcionando disminuyen este valor, alrededor de 10 amperios por unidad condensadora. Las mediciones se realizaron el día 26 de octubre del año 2022, a las 10:30 am contando con una temperatura según el IDEAM de 30°C. Para ello se usó la fórmula:

#### **Figura 62.**

*Ecuación 17. Ecuación de potencia de consumo de los equipos de aire acondicionado trifásicos.*

$$\text{Potencia(W)} = \sqrt{3} * \text{Voltios (V)} * \text{amperios (I)} * \text{FP} * \eta$$

En la tabla 52 primeramente se halla el consumo en amperios, medido con la pinza

amperimétrica, también la tensión a la que están conectados los equipos, hallándose el valor de los kva multiplicando la constante  $\sqrt{3}$ , por la tensión (V), y por la corriente (amperios), estos datos se hallaron para cada unidad.

**Tabla 52.**

*Potencia aparente de consumo en las unidades centrales de aire acondicionado.*

<b>Tipo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Consumo (Intensidad De Corriente) (Amperios)</b>	<b>Tensión (Voltios)</b>	<b>Potencia De Consumo De Ficha Técnica</b>	<b>Potencia Aparente (kvah)</b>
Turbina					
Unidades Manejadoras	20SAM00AH103 A	30,5	480	18,5	25,357212
Unidades Manejadoras	20SAM00AH103 B	30,5	480	18,5	25,357212
Unidades Manejadoras	20SAM00AH101	7,5	480	7,5	6,23538
Unidades Manejadoras	20SAM00AH102	7,1	480	7,5	5,9028264
Unidades Condensadoras	20SAM00AH501	16,1	480	28,8	13,3852824
Unidades Condensadoras	20SAM00AH502	14,8	480	28,8	12,3044832
Unidades Condensadoras	20SAM00AH503 A	102,5	480	87,3	85,21686
Unidades Condensadoras	20SAM00AH503 B	102	480	87,3	84,801168
Equipos Sala De Carbón					
Unidades Condensadoras	20SAF00AH501 A	6	480	5	4,988304
Unidades Condensadoras	20SAF00AH501 B	6	480	5	4,988304
Equipos AQCS					
Unidades Condensadoras	20SAC00AH201 A	90	480	73,1	74,82456
Unidades Condensadoras	20SAC00AH201 B	90	480	73,1	74,82456
Equipos Planta De Agua					
Unidades Condensadoras	20SAG00AH501 A	15	480	7,83	12,47076
Unidades Condensadoras	20SAG00AH501 B	15	480	7,83	12,47076

*Nota.* En la tabla se puede observar la potencia aparente consumida teniendo en cuenta solamente la tensión y los amperios consumidos.

Hallada la potencia aparente de hallará el consumo multiplicando este valor por la eficiencia considerada de los equipos (85%) y el factor de potencia que se considera para

equipos de aire acondicionado en un rango de 0,85 a 0,90 (energy, 2022) para el cual se ha tomado el valor de 0,87. en la tabla 53, se halló la potencia de consumo para cada equipo.

**Tabla 53.**

*Potencia de consumo de equipos en kWh en unidades centrales.*

<b>Tipo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Factor De Potencia (0,85-0,9)</b>	<b>Eficiencia (85%)</b>	<b>Potencia Consumida (kWh)</b>
<b>Equipos De Edificio Turbina</b>				
Unidades Manejadoras	20SAM00AH103 A	0,87	0,85	18,7516583
Unidades Manejadoras	20SAM00AH103 B	0,87	0,85	18,7516583
Unidades Manejadoras	20SAM00AH101	0,87	0,85	4,61106351
Unidades Manejadoras	20SAM00AH102	0,87	0,85	4,36514012
Unidades Condensadoras	20SAM00AH501	0,87	0,85	9,89841633
Unidades Condensadoras	20SAM00AH502	0,87	0,85	9,09916533
Unidades Condensadoras	20SAM00AH503 A	0,87	0,85	63,017868
Unidades Condensadoras	20SAM00AH503 B	0,87	0,85	62,7104637
<b>Equipos Sala De Carbón</b>				
Unidades Condensadoras	20SAF00AH501 A	0,87	0,85	3,68885081
Unidades Condensadoras	20SAF00AH501 B	0,87	0,85	3,68885081
<b>Equipos AQCS</b>				
Unidades Condensadoras	20SAC00AH201 A	0,87	0,85	55,3327621
Unidades Condensadoras	20SAC00AH201 B	0,87	0,85	55,3327621
<b>Equipos Planta De Agua</b>				
Unidades Condensadoras	20SAG00AH501 A	0,87	0,85	9,22212702
Unidades Condensadoras	20SAG00AH501 B	0,87	0,85	9,22212702

*Nota.* En la tabla se puede observar el consumo real calculado en kWh basado en la ecuación 17, calculado para cada equipo de aire acondicionado de los edificios de operaciones.

Encontrada la potencia que consume cada uno de los equipos, se procede a encontrar

el costo del funcionamiento diario, mensual y anual de estos equipos respecto a su consumo energético, contando con un costo del kilovatio-hora de \$304 para la empresa y considerando 24 horas de funcionamiento de los equipos cuando la planta se encuentra en funcionamiento, como se observa en la tabla 54.

**Tabla 54.**

*Costo por operación de las unidades centrales.*

Tipo	Equipo	Potencia Consumida (kW)	Precio kWh	Costo Diario Por kWh Consumido (24 h De Trabajo)
Equipos de edificio Turbina				
Unidades manejadoras	20SAM00AH103 A	18,75	\$ 300	\$ 135.011,94
Unidades manejadoras	20SAM00AH103 B	18,75	-	\$ -
Unidades manejadoras	20SAM00AH101	4,61	\$ 300	\$ 33.199,66
Unidades manejadoras	20SAM00AH102	4,37	\$ 300	\$ 31.429,01
Unidades condensadoras	20SAM00AH501	9,90	\$ 300	\$ 71.268,60
Unidades condensadoras	20SAM00AH502	9,10	\$ 300	\$ 65.513,99
Unidades condensadoras	20SAM00AH503 A	63,02	\$ 300	\$ 453.728,65
Unidades condensadoras	20SAM00AH503 B	62,71	-	\$ -
Equipos sala de carbón				
Unidades condensadoras	20SAF00AH501 A	3,69	-	\$ -
Unidades condensadoras	20SAF00AH501 B	3,69	\$ 300	\$ 26.559,73
Equipos AQCS				
Unidades condensadoras	20SAC00AH201 A	55,33	-	\$ -
Unidades condensadoras	20SAC00AH201 B	55,33	\$ 300	\$ 398.395,89
Equipos Planta de agua				
Unidades condensadoras	20SAG00AH501 A	9,22	-	\$ -
Unidades condensadoras	20SAG00AH501 B	9,22	\$ 300	\$ 66.399,31

*Nota.* En la tabla se puede observar el costo diario por kWh consumido por cada uno de los equipos de aire acondicionado basados en el precio de ese kWh para la empresa y la potencia consumida.

De la tabla anterior obtuvimos los valores de consumo de energía del sistema instalado actualmente, donde se midió el consumo por kilovatio-hora de cada equipo, también se consideran 24 horas de servicio diario de los equipos y un costo del kilovatio-hora de \$ 300,

valor al cual la empresa vende su energía; para ello, se obtuvo el costo de consumo diario, mensual y anual, siendo \$ 1.281.506,77; \$ 38.445.203,12 y \$ 467.749.971,31, respectivamente.

Por otra parte, se realizaron las mediciones de consumo de energía a los equipos tipo Split piso-techo instalados en los edificios de operaciones con el fin de comparar el sistema y los costos que implicarían, midiéndose bajo las mismas condiciones de las unidades centrales instaladas actualmente. Para estos equipos monofásicos la fórmula queda de la siguiente manera:

**Figura 63.**

*Ecuación 18. Ecuación de potencia de consumo de los equipos de aire acondicionado monofásicos.*

$$\text{Potencia(W)} = \text{Voltios (V)} * \text{amperios (I)} * \text{FP} * \eta$$

En la tabla 55 se realiza el mismo procedimiento hecho en la tabla 40 donde se realiza el cálculo de la potencia aparente multiplicando los amperios medidos, por la tensión de la red y en este caso los equipos son monofásicos, por tanto, no se multiplica por la constante  $\sqrt{3}$ .

**Tabla 55.**

*Potencia aparente de consumo en las unidades Split, piso-techo de aire acondicionado.*

<b>Equipo</b>	<b>Consumo (Intensidad De Corriente) (Amperios)</b>	<b>Tensión (Voltios)</b>	<b>Potencia Aparente Consumida (kVAh)</b>
Split A	25,7	220	5,654
Split B	25,7	220	5,654
Split C	25,7	220	5,654

*Nota.* En la tabla se puede observar el consumo aparente calculado en kVA basado en la ecuación

18, calculado para 3 equipos Split piso techo.

En la siguiente tabla (56), se halla la potencia consumida y el costo de la misma manejando un factor de potencia de los equipos de 0,87 y una eficiencia de 0,9, para los 3 equipos Split piso-techo instalados en la planta actualmente.

**Tabla 56.**

*Costo de consumo por operación de los aires Split piso-techo.*

<b>Equipo</b>	<b>Potencia Consumida (kW)</b>	<b>Precio kWh</b>	<b>Costo Diario Por kWh Consumido (24 h De Trabajo)</b>
Split A	4,427082	\$ 300	\$ 31.874,99
Split B	4,427082	\$ 300	\$ 31.874,99
Split C	4,427082	\$ 300	\$ 31.874,99

*Nota.* En la tabla se puede observar el costo diario por kWh consumido por cada uno de los 3 equipos Split piso techo, basados en el precio de ese kWh para la empresa y la potencia consumida.

Basados en la cantidad de equipos que se requieren. Se procede, hallar el costo de

consumo de energía eléctrica para la cantidad de equipos requerida para los edificios; Turbina, planta de agua, AQCS y Carbones, en las salas que se requieren instalar, teniendo en cuenta la potencia nominal de consumo de los catálogos de los equipos suministrados por las empresas con las cuales se cotizó. Esto se puede apreciar en la tabla número 57.

**Tabla 57.**

*Tipos de equipos de requeridos en el proyecto.*

<b>Equipos</b>	<b>Consumo Amperios</b>	<b>Tensión Voltios</b>	<b>Potencia Consumida kva/h</b>	<b>Potencia Consumida kW/h</b>	<b>Costo kWh</b>
Split P-T 60000 BTU	25,7	220	5,654	4,43	\$ 300
Split 36000	15,5	220	3,41	2,67	\$ 300
Split 24000	10,1	220	2,222	1,74	\$ 300
Split 18000	8,9	220	1,958	1,53	\$ 300

*Nota.* En la tabla se puede observar una estimación de consumo de energía para los equipos requeridos para el proyecto.

Basados en la anterior tabla se hallan los posibles costos por consumo de energía del nuevo sistema de implementación obteniendo los valores encontrados en la siguiente tabla (58).

**Tabla 58.**

*Costos totales por consumo del sistema piso techo.*

<b>Equipos</b>	<b>Costo Anual</b>	<b>Cantidad De Equipos</b>	<b>Costo Total Consumo</b>
----------------	--------------------	----------------------------	----------------------------

Split Piso-Techo 60000 BTU	\$ 11.474.996,54	22	\$ 255.956.172,91
Split 36000	\$ 6.920.717,76	5	\$ 34.603.588,80
Split 24000	\$ 4.509.628,99	1	\$ 4.509.628,99
Split 18000	\$ 3.973.831,49	1	\$ 3.973.831,49
			\$ 299.641.653,43

*Nota.* En la tabla se puede observar una estimación de costos de consumo de energía para los equipos requeridos Split piso techo para el proyecto, basados con los datos de la tabla 57.

### ***Factibilidad económica.***

En este aspecto se hace referencia a los recursos financieros y económicos necesarios, considerados en el proyecto para desarrollar o llevar a cabo las actividades del mismo. Generalmente la factibilidad económica es el elemento más importante ya que a través de él se solventan las demás carencias de otros recursos, es lo más difícil de conseguir y además es el ítem que garantiza la viabilidad económica del proyecto (SISTEMAS, 2022).

### **3.3.3 Realizar el análisis de los equipos requeridos y cotizar precios respecto a lo requerido.**

#### **Presupuesto y evaluación económica.**

En este apartado se tiene como finalidad demostrar la viabilidad desde el punto de vista económica del proyecto, donde se incluirán diversos costos y ahorros, respecto al sistema propuesto. Primeramente, se debe considerar el desmontaje de los equipos actualmente en funcionamiento, considerando la cotización de este proceso, el cual la empresa IMCERBA, presentó la siguiente oferta (figura 64):

**Figura 64.**

*Oferta de desmontajes de unidades manejadoras, condensadores y ventiladores de edificio turbina.*

ITEM	CANT	DESCRIPCION	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	1	DESMONTAJE DE 8 UNIDADES Y 4 VENTILADORES EDIFICIOS TURBINA Y AQCS SEGÚN ANEXOS	\$ 44.000.000	\$ 44.000.000
			subtotal	\$ 44.000.000
			Iva 19%	\$ 8.360.000
			Total	\$ 52.360.000

Valor de la oferta: \$ 52.360.000  
 Validez de la oferta: 60 días  
 Tiempo de entrega: 15 días calendario  
 30% de anticipo  
 70% a crédito 60 días

*Nota:* Obtenido de la oferta presentada por la empresa (Imcerba Mantenimiento Industrial S A S, 2017)

Todos los aspectos del trabajo de desmontajes se pueden apreciar en el anexo 5 y 6. Por otro lado, después de haber hallado la carga térmica en cada sala y de haber encontrado las características que se requieren, se realiza la consulta de precios de aires acondicionados con las especificaciones técnicas de los fabricantes, cotizando equipos Split piso-techo, con las capacidades de requerimiento, como se puede ver en las figuras 65, 66, 67 y 68 y en la tabla 59 y 60.

**Cotizaciones.**

**Figura 65.**

*Oferta de la empresa Thermotar de equipos Split marca Starlight.*

De acuerdo a su solicitud le estamos enviando la Cotización para el SUMINISTRO DE EQUIPO DE AA.

**DESCRIPCION Y VALOR DE LA OFERTA.**

ITEM	DESCRIPCION	CANT	U/M	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	FANCOIL PISO TECHO DE 5 TON R-410A - 220V (FANRELAY ), MARCA AMANA CONVENCIONAL	6	UND	\$ 2.310.924	\$ 13.865.546
2	UND. CONDENSADORA VERTICAL DE 5 TON TRIFASICO 220V R-410A NACIONAL MARCA STAR LIGTH COMPRESOR COPELAND O DANFOSS	6	UND	\$ 5.756.303	\$ 34.537.816
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 48.403.361</b>
IVA 19%					\$ 9.196.639
<b>VALOR TOTAL IVA INCLUIDO</b>					<b>\$ 57.600.000</b>
<b>ENTREGA EN CUCUTA</b>					
<b>TIEMPO DE ENTREGA 5 DIAS HABLES</b>					

**CONDICIONES GENERALES**

**FORMA DE PAGO:**  
ANTICIPADO

**TIEMPO DE ENTREGA:**  
La entrega se hará en el término de 3-4 días hábiles.

**GARANTIA: UN AÑO - SEGÚN TERMINOS Y CONDICIONES DE VENTA**

*Nota:* Obtenido de oferta presentada por la empresa (Industrias Thermotar LTDA., 2020).

En la siguiente oferta (figura 66), se debe resaltar que la totalidad se encuentra mal digitada, la suma total de la instalación y el servicio que brinda esta empresa en total suma \$11.952.097, cabe aclarar que esta suma de dinero es para la instalación de 6 aires acondicionados, pero con base a ella se estimaran los costos de la instalación de los equipos requeridos.

Figura 66.

Oferta de instalación y puesta en marcha de equipos Split piso techo por parte de la empresa TODOLINEAS.

ITEM		DESCRIPCION	UND	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1		METROS DE TUBERIA DE 3/4	90	\$ 31.933	\$ 2.873.970
2		METROS DE TUBERIA DE 3/8	90	\$ 13.445	\$ 1.210.050
3		METROS CABLE ENCAUCHETADO 4X10	100	\$ 12.605	\$ 1.260.500
4		TIRAS DE RUBATEX DE 3/4	50	\$ 12.605	\$ 630.250
5		CINTAS VINILOS	30	\$ 6.723	\$ 201.690
6		CODOS DE COBRE 3/4	40	\$ 4.202	\$ 168.080
7		PAQUETES DE AMARRES	2	\$ 16.807	\$ 33.614
8		ABRAZADERAS METALICAS 1 1/2	30	\$ 2.941	\$ 88.230
9		BASES PARA MANEJADORAS	6	\$ 210.084	\$ 1.260.504
10		GOMAS DE BASE PARA CONDENSADORAS	24	\$ 10.084	\$ 242.016
11		BASES PARA CONDENSADORAS	3	\$ 210.084	\$ 630.252
12		FILTROS SECADORES SOLDABLES 3/4	6	\$ 75.630	\$ 453.780
13		MATERIAL FUNGIBLE	6	\$ 42.017	\$ 252.102
14		MANDO DE OBRA	6	\$ 336.134	\$ 2.016.804
15		ALIMENTACION PARA 15 DIAS	15	\$ 42.017	\$ 630.255
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 3.983.193</b>
<b>IVA 19%</b>					<b>\$ 756.807</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 4.740.000</b>
<b>CONDICIONES COMERCIALES</b>					
1. FORMA DE PAGO: ACORDADO					
2. TIEMPO DE ENTREGA: 20 días					
3. GARANTIA: 1 AÑO					
4. OBSERVACIONES : EL PUNTO ELECTRICO Y EL DESAGUE DEBEN ESTAR A 0 METROS , NO INCLUYE ALQUILER DE ANDAMIOS.					
			 <b>HENRY JARAMILLO SUAREZ</b> <b>REPRESENTANTE LEGAL</b>		



NIT: 900.027.827-6  
 CALLE 11 N° 2E -75 LOCALES 50-51  
 HOTEL CASINO INTERNACIONAL  
 TEL. 5713454 CELULAR: 3176450991  
 E-MAIL:TODOLINEAS.SAS@GMAIL.COM  
 CUCUTA- N/ SANTANDER -COLOMBIA

**COTIZACION**  
**N° 093-22**

<b>CLIENTE</b>	TERMOTASAJERO DOS SA ESP	<b>NIT:</b>	900519716-9
<b>CONTACT:</b>	ANGIE ROJAS	<b>TEL:</b>	
<b>DIREC.:</b>	AV D #10 -78 OFI 204	<b>CIUDAD:</b>	
<b>FECHA:</b>	12/12/2022	<b>E-MAIL:</b>	

*Nota:* Obtenido de oferta presentada por la empresa (Todolineas S A S, 2017).

**Figura 67.**

*Oferta de la empresa Bajo cero de equipos tipo Split.*



**Datos del cliente:**  
Juan Carrascal

**Ciudad:**  
Barranquilla, Colombia



BC-1284

**OFERTA SUMINISTRO DE EQUIPOS** FECHA: 22/11/2022

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	V/UNIT.	V/TOTAL
1,0	EQUIPO PISOTECHO 60.000 BTU 220/60/1 SEER 20 MARCA TRANE	UND	15	12.930.000	193.950.000
1,0	EQUIPO PISOTECHO 60.000 BTU 220/60/1 SEER 16 MARCA CONFORTFRESH	UND	15	12.227.000	183.405.000

PRECIOS NO INCLUYEN IVA  
 NO INCLUYE ELEMENTOS ADICIONALES DE INSTALACION  
 OBRAS CIVILES RESANE Y PINTURA: POR CUENTA DEL CLIENTE  
**PUNTOS DE DRENAJE: A CERO METROS POR CUENTA DEL CLIENTE**  
 PUNTOS ELECTRICOS: POR CUENTA DEL CLIENTE  
 EQUIPOS TRANE: NO INCLUYEN KIT DE INSTALACION

**FORMA DE PAGO: 100% ANTICIPO**  
**TIEMPO DE ENTREGA: TRES DIAS HABILES**  
 GARANTIA: 12 MESES SI LOS EQUIPOS SON INSTALADOS POR BAJO CERO,  
 SE PERDERA SI HA SUFRIDO MANIPULACION POR PERSONAL AJENO A BAJO CERO SAS  
 NO CUBRE: COMPONENTES ELECTRONICOS (TARJETAS, TRANSFORMADORES, TERMOSTATOS, ETC)  
 EN CASO DE SER REQUERIDO UN COORDINADOR PARA TRABAJO EN ALTURAS: EL VALOR  
**POR DIA SERA DE CIENTO CINCUENTA MIL PESOS (ML)**



**ADOLFO JIMENEZ PARODY**  
 Asesor Comercial y Operativo  
 Cra 48 # 74 – 55  
 Cel: (57) 3106314920  
[comercial@bajocero.co](mailto:comercial@bajocero.co)  
 Barranquilla-Colombia

*Nota:* obtenido de oferta presentada por la empresa (Bajo Cero SAS, 2021)

Luego de cotizar los precios de los equipos de aire acondicionado requeridos se obtuvieron los costos totales de los equipos requeridos en la tabla 59.

**Tabla 59.**

*Costos de equipos Split piso techo para las salas específicas de la planta.*

COSTOS DE EQUIPOS PISO TECHO.					
ítem	descripción	cantidad	unidad	valor unitario	valor total
1	Equipo piso techo de 60.000 BTU 220/60/3 SEER 16 MARCA CONFORTFRESH	19	UND	\$ 12.227.000	\$ 244.540.000
2	Split piso techo de 36000 BTU, 220 V, R 410 A MARCA LG INVERTER	5	UND	\$ 8.750.000	\$ 43.750.000
3	Split piso techo de 24000 BTU 220 V, R 410 A MARCA Starlight	1	UND	\$ 4.250.000	\$ 4.250.000
4	Split piso techo de 18000 BTU 220 v, R 410 A MARCA CONFORTFRESH	1	UND	\$ 2.950.000	\$ 2.950.000
SUBTOTAL					<b>\$ 295.490.000</b>
IVA 19%					\$ 56.143.100
VALOR TOTAL IVA INCLUIDO					<b>\$ 351.633.100</b>

*Nota:* En la tabla se aprecia el costo total de compra de los equipos piso techo requeridos para el proyecto.

**Figura 68.**

*Oferta de sistema VRF y tipo paquete y Split.*



Datos del cliente:

Sr. JUAN SEBASTIAN CARRASCAL PARRA  
Barranquilla



RG-357-22  
OPCION VRF

TRANE

REF.: SUMINISTRO INSTALACION SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE - VRF INVERTER

OFERTA

FECHA:

15/12/2022

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	V/UNIT.	V/TOTAL
<b>SUMINITRO E INSTALACION DE EQUIPOS</b>					
<b>1.00 Edificio 1 nivel 1</b>					
1.01	Unidades evaporadoras tipo Split de 60000 BTU para sistema VRF	UND	5	7,730,279	38,651,395
1.02	Unidad condensadoras para las 5 evaporadoras para sistema VRF	UND	1	56,459,038	56,459,038
<b>2.00 Edificio 1 nivel 3</b>					
2.01	Unidades evaporadoras tipo Split de 60000 BTU para sistema VRF	UND	4	7,730,279	30,921,116
2.02	Unidad condensadoras para las 4 evaporadoras para sistema VRF	UND	1	52,999,851	52,999,851
<b>3.00 Edificio 1 nivel 2</b>					
2.01	Unidad piso techo de 36000 BTU	UND	1	10,109,586	10,109,586
2.02	Unidad tipo paquete de 25 ton de refrigeración	UND	2	88,994,590	177,989,180
<b>4.00 Edificio 2 nivel 1</b>					
3.01	unidades piso-techo de 36000 BTU	UND	3	10,109,586	30,328,758
<b>5.00 Edificio 3 nivel 1</b>					
5.01	unidades evaporadoras tipo Split de 60000 BTU	UND	5	7,730,279	38,651,395
5.01	Unidades condensadoras para las 5 evaporadoras de 60000 BTU	UND	1	56,459,038	56,459,038
5.02	Unidad piso techo de 24000 BTU	UND	1	8,185,784	8,185,784
<b>4.00 Edificio 4 nivel 1</b>					
5.02	Unidad piso techo de 36000 BTU	UND	1	10,109,586	10,109,586
<b>SUBTOTAL</b>					<b>510,864,727</b>
<b>2.00 SUMINITRO DE ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>					
2.01	Tuberia	GLB	1	148,000,000	148,000,000
2.01	Accesorios	GLB	1	20,000,000	20,000,000
2.02	Oros / ductos	GLB	1	149,333,334	149,333,334
<b>SUBTOTAL</b>					<b>317,333,334</b>
<b>SUBTOTAL</b>					<b>828,198,061</b>
DESCUENTO COMERCIAL					4%
					36,963,558
<b>VALOR TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>791,234,503</b>
ADMINISTRACION (A)					5%
					39,561,725
IMPREVISTOS (I)					5%
					39,561,725
UTILIDAD (U)					5%
					39,561,725
<b>SUBTOTAL</b>					<b>909,919,678</b>
IVA 19% SOBRE UTILIDAD					19%
					7,516,728
<b>VALOR TOTAL DE LA PROPUESTA</b>					<b>917,436,406</b>

Nota: Obtenido de oferta de la empresa (Bajo Cero SAS, 2021)

Tabla 60.

Oferta de equipos centrales por la empresa Refriplast.

### OFERTA COMERCIAL

EDIFICIO N°1					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Aire central de 3 TR	1	Und	\$12.600.000	\$12.600.000
EDIFICIO N°2					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2	Aire central de 25 TR	1	Und	\$86.500.000	\$86.500.000
EDIFICIO N°3					

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3	Aire central de 10 TR	1	Und	\$43.280.000	\$43.280.000
<b>EDIFICIO N°4</b>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
4	PISO 1: Aire acondicionado de 26 TR	1	Und	\$86.500.000	\$86.500.000
5	PISO 2: Aire acondicionado de 60 TR	1	Und	\$199.860.000	\$199.860.000
6	PISO 3: Aire acondicionado de 20 TR	1	Und	\$74.800.000	\$74.800.000
<b>OTROS</b>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
7	Materiales de refrigeración (Incluye tuberías de acople en cobre tipo L, aislamiento en rubatex, accesorios de cobre, soldadura de plata, y refrigerante)	1	Glb	\$37.500.000	\$37.500.000
8	Mano de obra de instalación	1	Glb	\$12.520.000	\$12.520.000
9	Transporte	1	Glb	\$4.800.000	\$4.800.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$558.360.000</b>	
<b>IVA</b>				<b>\$106.088.400</b>	
<b>VALOR TOTAL</b>				<b>\$664.448.400</b>	

*Nota:* Obtenido de oferta de la empresa (Refriplast, 2020).

#### INSTALACIÓN:

La instalación incluye

- Montaje de los equipos
- Tuberías de cobre con aislamiento
- Soldaduras
- Carga con refrigerante
- Termostato digital
- Conexión de las manejadoras a los ductos actuales
- Conexiones eléctricas de control

- Arranque y puesta en marcha

### **Estimación de costos de equipos para análisis.**

Como modo de comparación se analizarán, según la oferta de los equipos cotizados, los costos de compra de los equipos sin su instalación, el costo de desmontajes de los equipos instalados actualmente y un valor asumido de posible instalación, todo esto haciendo parte del presupuesto de inversión.

En la tabla 61 se tomó de referencia la capacidad térmica requerida en la sala MCC del 1 nivel del edificio turbina y se compararon los costos de compra de los equipos requeridos para cubrir los requerimientos, teniendo en cuenta las mismas condiciones de instalación como ya se había dicho, misma localización y misma capacidad.

### **Tabla 61.**

*Comparativa de costos de inversión de los diferentes sistemas.*

Costos De Equipos Sin Instalación				
<b>Sistema</b>	<b>Cantidad De Condensadoras</b>	<b>Cantidad De Evaporadoras</b>	<b>Capacidad Térmica</b>	<b>Costos Equipo</b>
Split Piso Techo De 60000 BTU	5	5	25 Tr	\$ 61.135.000
Sistema VRF	1	5	25 Tr	\$ 95.110.433
Sistema Centralizado	1	1	25 Tr	\$ 86.500.000

*Nota:* En la tabla se puede apreciar la comparación de costos de 3 distintos equipos de los 3 sistemas propuestos bajo las mismas capacidades de enfriamiento.

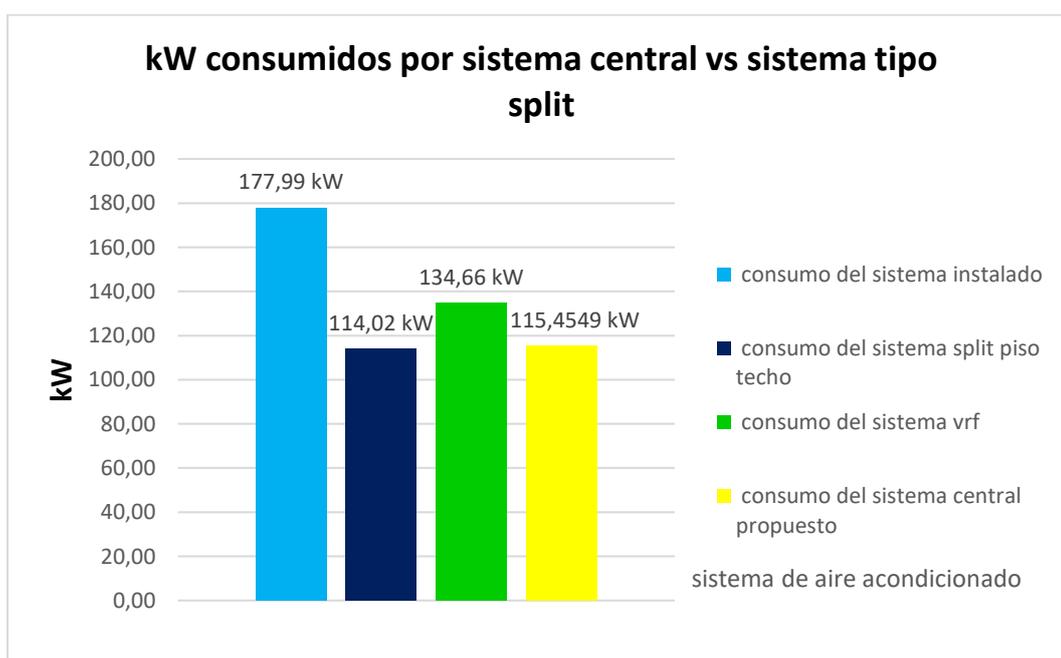
### **Ahorros energéticos.**

Para el cálculo de consumo anual se realizaron las mediciones en los equipos instalados actualmente, trabajando con la potencia de consumo hallada en las unidades condensadoras- evaporadoras y los sistemas tipo Split que se desean instalar de los cuales se tomaron los datos de referencia de 3 equipos instalados actualmente. Se calcula para régimen de funcionamiento máximo, de 24 horas diarias, para 30 días del mes y durante 12 meses del año, también se consideró un costo fijo por kWh de \$ 300, consultado en la empresa.

En este caso los ahorros energéticos se consideran como ingresos generados, es decir, la disminución en el consumo de electricidad que se generaría respecto al sistema ya instalado. Esta consideración se toma, con la finalidad de conocer el tiempo de recuperación de la inversión en el nuevo sistema de aire acondicionado, con base a lo que se dejaría de pagar al ya no utilizar el sistema actual. Véase en la figura 69.

### Figura 69.

*Comparativa de costos de energía consumida, estimada en kW.*

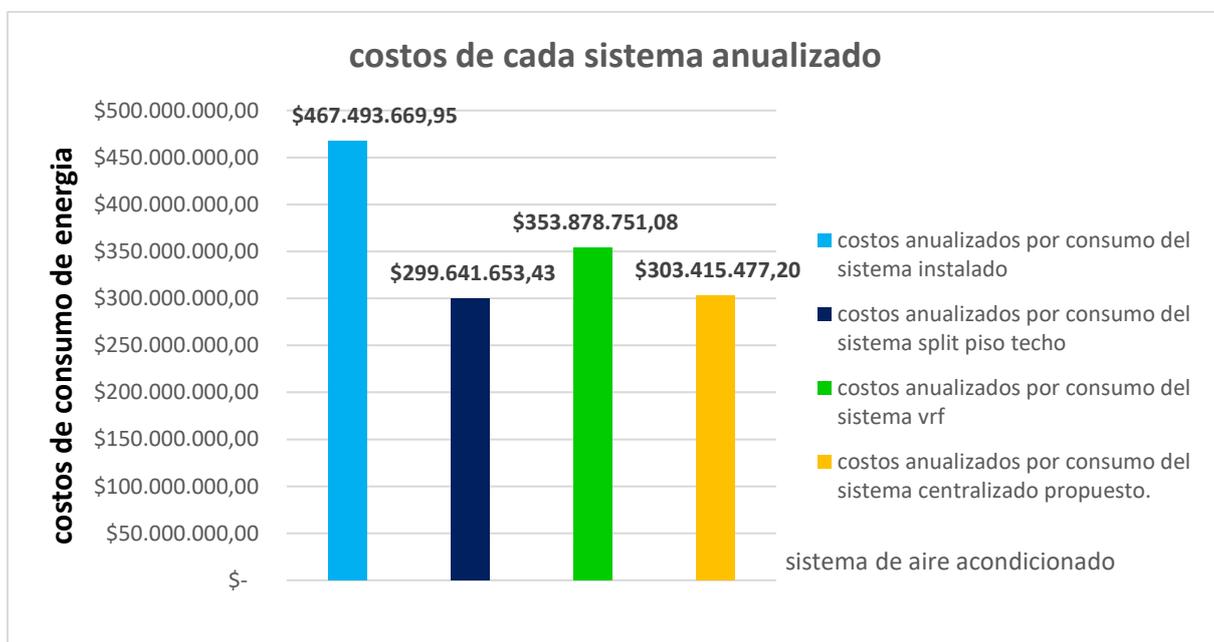


*Nota:* En la figura se encuentra en el eje vertical los kW consumidos y las columnas de color señalan el consumo de cada uno de los sistemas.

En la grafica anterior (figura 69), se puede observar la diferencia de consumo energético basados en las características técnicas de los equipos correspondientes a cada sistema, lográndose observar que el sistema 1 con climatización de los split piso techo, demuestra el menor consumo respecto a los demas sistemas propuestos y el actual instalado, aclarando que todos los sistemas analizados se evaluaron bajo las mismas condiciones de operación.

### Figura 70.

*Comparativa de costo de consumo de energía anual estimada en \$*



*Nota:* En la figura se encuentra en el eje vertical los costos anuales de la energía consumida tanto por el sistema instalado como la estimación de los demás sistemas y las columnas de color señalan cada uno de los 4 sistemas.

Teniendo en cuenta la figura anterior (70) y que los costos de mantenimiento del actual sistema de aire acondicionado del edificio turbina, planta de agua, AQCS y carbones son altos, pues han representado una suma de \$ 203.701.835 millones de pesos desde la fecha de instalación (2016), hasta la fecha actual (2022), además teniendo consumos de energía de 177,9870 kWh, lo cual representa para la empresa en gastos energéticos un valor de \$ 467.493.669,95 anuales. Se hace necesario mejorar este proceso mediante la propuesta de cambio de los aires acondicionados instalados actualmente por un sistema de aires acondicionados diferente con el fin mejorar el proceso, eligiendo sistemas modernos, confiables, viables y con menores consumos de energía que los aires acondicionados tradicionales. Así, por ejemplo, mientras un aire acondicionado normal, convencional de 24000 BTU/h consume 3,5 Kilovatios por Hora, un inverter, moderno, consume alrededor de 2,5 kWh. Dejando claro así que la principal ventaja que proporcionan equipos como los inverter, es el ahorro energético (Multiaires, 2018).

Un aire acondicionado con tecnología inverter, hace posible el ahorro energético porque es capaz de controlar, a través de una placa electrónica, la frecuencia de la corriente eléctrica, que normalmente llega a las tomas de corriente con una frecuencia entre 50 y 60 Hz, y que es capaz de controlar desde los 5 Hertz (Hz) hasta los 120 Hz (llegando a aumentar la capacidad del compresor hasta un 30% más). Al variar la frecuencia varía la velocidad de giro del compresor, pudiendo funcionar desde el 10% hasta el 100% de su capacidad (Multiaires, 2018).

### **Presupuesto**

Para el estudio de presupuesto del proyecto se ha realizado la cotización de tres tipos

de sistema de aire acondicionado distintos al sistema instalado y siendo sistemas más comerciales en el país. Se realizó la cotización con la empresa barranquillera de aires acondicionados Bajo Cero, la cual presentó la oferta de aires acondicionados Split piso techo, sistemas VRF (volumen de refrigerante variable), y sistemas de climatización tipo paquete y la empresa Refriplast presentó, una oferta de equipos centralizados que funcionen con el actual sistema de ductos instalado.

Considerando la instalación de cada sistema, para el sistema 1 (aires acondicionados Split piso techo) se tomó de referencia la cotización de instalación de 6 equipos de la planta, para los cuales se asumió el costo que tendría para los 29 equipos requeridos. Para el sistema 2 (sistema VRF y tipo paquete) y sistema 3 (sistema centralizado propuesto) las cotizaciones incluían la instalación de los equipos. Sobre la inversión se asumen estos costos de instalación el costo de los equipos y el costo de desmontaje de los equipos instalados, según la oferta brindada por la empresa IMCERBA, para lo cual se halla el flujo de costos anuales, teniendo en cuenta la tasa de descuento actual en Colombia (12%) y sabiendo que el ahorro en consumo de energía será considerado como ingresos y considerando como gastos los costos de operación de personal de mantenimiento del nuevo sistema y los costos de mantenimiento de cada sistema, los cuales se basaron en los planes de mantenimiento de los equipos instalados en la planta, encontrados en base de datos de la empresa (SAP HANA).

En las siguientes figuras (71, 72 y 73), podrá notarse el flujo de costos de cada sistema de acondicionamiento propuesto.

**Figura 71.**

*Flujos netos de caja de sistema de acondicionamiento con piso techo.*

año	costos					costos totales	ingresos	beneficios - costos	flujo costos netos
	inversion	costo de desmontaje equipos actuales	instalacion	mtto (plan MTTO)	operación (Personal mtto)		operación (ahorro energetico)		
0	\$ 295.490.000	\$ 52.360.000	\$ 57.768.469			\$ 405.618.469		-\$ 405.618.469	-\$ 405.618.469
1				\$ 15.810.288	\$ 8.624.049	\$ 24.434.337	\$ 167.852.017	\$ 143.417.680	-\$ 262.200.789
2				\$ 15.810.288	\$ 8.624.049	\$ 24.434.337	\$ 167.852.017	\$ 143.417.680	-\$ 118.783.109
3				\$ 15.810.288	\$ 8.624.049	\$ 24.434.337	\$ 167.852.017	\$ 143.417.680	\$ 24.634.571
4				\$ 15.810.288	\$ 8.624.049	\$ 24.434.337	\$ 167.852.017	\$ 143.417.680	\$ 168.052.250
5				\$ 15.810.288	\$ 8.624.049	\$ 24.434.337	\$ 167.852.017	\$ 143.417.680	\$ 311.469.930
6				\$ 15.810.288	\$ 8.624.049	\$ 24.434.337	\$ 167.852.017	\$ 143.417.680	\$ 454.887.610

*Nota:* En la figura se hallaron los flujos de costos netos basados en los costos de inversión y teniendo en cuenta los ahorros de energía del sistema respecto al instalado actualmente.

### Figura 72.

*Flujos netos de caja de sistema de acondicionamiento con sistema VRF.*

año	costos					costos totales	ingresos	beneficios totales	flujo costos netos
	inversion	costo de desmontaje equipos actuales	instalacion	mtto (plan MTTO)	operación (Personal MTTO)		operación (ahorro energetico)		
0	\$ 917.436.406	\$ 52.360.000	incluida en la oferta			\$ 969.796.406		-\$ 969.796.406	-\$ 969.796.406
1				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 884.495.289
2				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 799.194.173
3				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 713.893.056
4				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 628.591.940
5				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 543.290.823
6				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 457.989.707
7				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 372.688.590
8				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 287.387.474
9				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 202.086.357
10				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 116.785.241
11				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	-\$ 31.484.124
12				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	\$ 53.816.992
13				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	\$ 139.118.109
14				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	\$ 224.419.226
15				\$ 16.027.766	\$ 12.286.036	\$ 28.313.802	\$ 113.614.919	\$ 85.301.117	\$ 309.720.342

*Nota:* En la figura se hallaron los flujos de costos netos basados en los costos de inversión y teniendo en cuenta los ahorros de energía del sistema respecto al instalado actualmente.

### Figura 73.

*Flujos netos de caja de sistema de acondicionamiento con sistema centralizado (empresa Refriplast).*

año	costos					costos totales	ingresos	beneficios totales	flujo costos netos
	inversion	costo de desmontaje equipos actuales	instalacion	mtto (plan MTTO)	operación (Personal mtto)		operación (ahorro energetico)		
0	\$ 664.448.400	\$ 52.360.000	incluida en la oferta			\$ 716.808.400		-\$ 716.808.400	-\$ 716.808.400
1				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 627.778.145
2				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 538.747.891
3				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 449.717.636
4				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 360.687.382
5				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 271.657.127
6				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 182.626.872
7				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 93.596.618
8				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	-\$ 4.566.363
9				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	\$ 84.463.891
10				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	\$ 173.494.146
11				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	\$ 262.524.401
12				\$ 20.488.987	\$ 8.425.200	\$ 28.914.187	\$ 117.944.441	\$ 89.030.255	\$ 351.554.655

*Nota:* En la figura se hallaron los flujos de costos netos basados en los costos de inversión y teniendo en cuenta los ahorros de energía del sistema respecto al instalado actualmente.

### **Criterios de inversión.**

Para este análisis se tendrán en cuenta los criterios de inversión, los cuales son indispensables para analizar proyectos de inversión, de esta manera, se tienen en cuenta cuatro criterios básicos; como lo son el valor actual neto (VNA), considerada la herramienta más confiable, tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio/costo y el periodo de recuperación de inversión (Arroyo & Vásquez, 2016)

#### **Valor actual neto (VAN)**

Este valor, hace referencia al valor actual de los beneficios netos que genera el proyecto, hallados utilizando la tasa de descuento actual, menos la inversión realizada en el periodo cero. Esta es su representación matemática. (Arroyo & Vásquez, 2016)

**Figura 74.**

*Ecuación 19. Valor actual neto.*

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde:

BN: beneficios netos del periodo (t)

i: tasa de descuento anual (tasa de interés (%))

$I_0$ : inversión en el periodo cero.

t: periodos teniendo en cuenta vida útil del proyecto.

Tasa interna de retorno (TIR).

La TIR es una tasa porcentual, la cual indica la rentabilidad promedio anual o dependiendo de la periodicidad de los flujos netos, que genera el capital que permanece invertido en el proyecto, en el caso de la inversión realizada. Esta tasa se representa en la siguiente ecuación:

**Figura 75.**

*Ecuación 20. Tasa retorno de inversión.*

$$\sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = VAN = 0$$

La TIR en si representará la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión, entonces va a ser la tasa de interés máxima a la que se puede presentar la inversión

para no perder dinero. (Arroyo & Vázquez, 2016)

Relación beneficio/costo.

La razón beneficio/costo es un indicador, el cual permite conocer la relación que existe entre el valor neto actual de los flujos y el valor inicial de la inversión del proyecto, el cual se representa así:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{valor presente de flujos futuros}}{\text{inversion inicial}}$$

Los ingresos se han tomado como el posible ahorro de energía obtenido y la comparación de costos de mantenimiento en equipos en el transcurrir de los años. (Arroyo & Vázquez, 2016)

Periodo de recuperación (Payback)

El periodo de recuperación del capital también conocido como Payback y plazo de recuperación del capital, es una herramienta de evaluación de proyectos de inversión que permite responder al interrogante: ¿en cuánto tiempo recupero la inversión? (Arroyo & Vázquez, 2016).

En la siguiente tabla (tabla 62), se encuentran todos los criterios de inversión de sistema piso techo, con base a los flujos de caja de la figura 53, en base a un periodo de 6 años.

**Tabla 62.***Criterios de inversión equipos piso techo.*


---

<b>Tasa De Descuento Colombia=</b>	12%
<b>Inversión=</b>	\$ 405.618.469
<b>Van De Costos=</b>	\$ 283.940.707
<b>Van De Beneficios=</b>	\$ 589.648.499
<b>VAN =</b>	\$ 184.030.030
<b>TIR=</b>	27%
<b>ROI</b>	35%
<b>B/C Al 6 Año=</b>	1,45
<b>Payback</b>	2,83
<b>Payback</b>	2 años, 9 meses y 29 días

---

*Nota:* En la tabla se puede apreciar los criterios de inversión tenidos en cuenta para la toma de decisión del sistema más viable basado en el flujo de costos netos.

Evaluando el sistema dos tenemos los flujos de caja de la figura 54 en base a un periodo de consideración de 12 años, representados en la siguiente tabla (63).

**Tabla 63.***Criterios de inversión equipos sistema VRF.*


---

<b>Tasa De Descuento Colombia=</b>	12%
<b>Inversión=</b>	\$ 969.796.406
<b>Van De Costos=</b>	\$ 397.287.932
<b>Van De Beneficios=</b>	\$ 528.737.699
<b>VAN =</b>	-\$ 441.058.707
<b>TIR=</b>	4%
<b>ROI</b>	9%
<b>B/C Al 9 Año=</b>	0,55
<b>Pay-back=</b>	11,36
<b>Pay-back=</b>	11 años, 4 mes y 10 días

---

*Nota:* En la tabla se puede apreciar los criterios de inversión tenidos en cuenta para la toma de

decisión del sistema más viable basado en el flujo de costos netos.

En el 3 sistema analizado, el cual es el sistema centralizado los criterios de inversión se hallaron en base a un periodo de 9 años, según los flujos netos de figura 55 como se observa en la siguiente tabla (64).

**Tabla 64.**

*Criterios de inversión equipos sistema centralizado propuesto.*

<b>Tasa De Descuento Colombia=</b>		12%
<b>Inversión=</b>	\$	716.808.400
<b>Van De Costos=</b>	\$	384.855.129
<b>Van De Beneficios=</b>	\$	474.375.436
<b>VAN =</b>	-\$	165.321.686
<b>TIR =</b>		7%
<b>ROI</b>		12%
<b>B/C al 9 año=</b>		0,77
<b>Pay-back</b>		8,05
<b>Pay-back</b>		8 años y 18 días.

*Nota:* En la tabla se puede apreciar los criterios de inversión tenidos en cuenta para la toma de decisión del sistema más viable basado en el flujo de costos netos.

#### **4. Diagnóstico final**

Con las actividades desarrolladas dentro de los objetivos propuestos, en el proyecto de la empresa Termotasajero SA ESP, se lograron obtener varios aportes y conocimientos como profesional, en el área de aires acondicionados, mantenimiento y diseño, entre los más destacados, aportando experiencia en estas áreas como ingeniero mecánico.

En cuanto a los aportes y conocimientos adquiridos, durante el periodo de pasantía, se puede afirmar que es una experiencia muy enriquecedora para un futuro profesional, debido a que en ella se ponen en prueba todos esos conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria, pero además se amplían conceptos y se fortalecen debilidades, presentadas de momento en el ámbito laboral.

Por otra parte, durante el periodo de trabajo en la empresa Termotasajero SA ESP, se adquirieron conocimientos y experiencias sobre la generación de energía, los ciclos termodinámicos en el ámbito laboral, además, generar vínculos profesionales, los cuales contribuyen en el crecimiento personal y profesional, aportando una mejor proyección y comprensión del campo laboral de aplicación al que puede enfrentarse como ingeniero mecánico.

## 5. Conclusiones

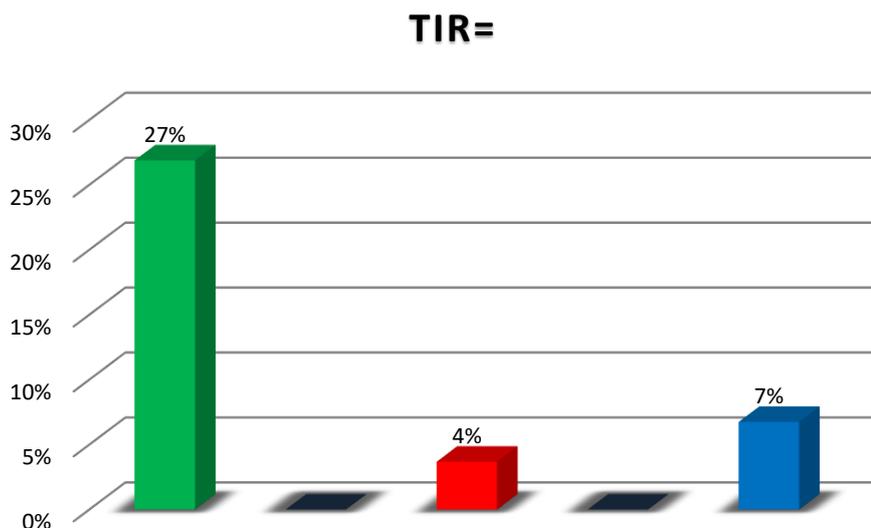
Como se puede observar, se analizaron tres propuestas de aire acondicionado, para los cuales se estudiaron los criterios de inversión de las propuestas, identificando que la propuesta que presenta mayor factibilidad y viabilidad de acuerdo a lo evaluado en el proyecto; es el sistema piso techo, debido a su bajo coste de inversión respecto los otros sistemas y además cumpliendo con requerimientos de menor consumo energético y contando con la modularidad de sus sistemas independientes, haciendo que no se afecte todo o gran parte del sistema de climatización bajo circunstancias de averías, fallas o mantenimientos, además de ser equipos más comerciales, para los cuales se consiguen con facilidad repuestos y consumibles de los equipos.

Por otra parte, bajo los criterios de inversión evaluados es viable, teniendo una tasa interna de retorno mayor a los otros dos sistemas evaluados como podemos observar en la figura 76.

Siendo la barra verde, el índice de tasa interna de retorno de la propuesta 1 (sistema Split piso techo), la barra roja, la propuesta 2 (sistema VRF y tipo paquete), notándose como la propuesta menos viable y la barra azul que representa la tasa interna de retorno de la propuesta 3 (sistema centralizado propuesto).

### **Figura 76.**

*Comparación tasa interna de retorno.*



*Nota:* En la figura se puede apreciar la tasa interna de retorno de inversión de los 3 sistemas analizados.

Además, el sistema piso techo brinda mayores ahorros energéticos, frente al sistema instalado actualmente, bajo las condiciones evaluadas, de climatización a las salas indicadas en la tabla 40.

Por último, uno de los puntos débiles de este sistema, es la gran cantidad de equipos requeridos para cada área especificada en la que se requiere climatización.

## **6. Recomendaciones**

Para reducir el consumo de energía eléctrica de los aires acondicionados al interior de las salas de acondicionamiento de los edificios de operaciones en Termotasajero Dos, se recomienda proyectarse a la instalación de termostatos programables, los cuales indiquen a los equipos cuando se alcance la temperatura deseada en la sala y así se reduzca el trabajo del compresor, o logre que se auto apaguen y auto enciendan los equipos.

También se recomienda mantener la hermeticidad en las salas, manteniendo las puertas y ventanas cerradas, reduciendo la entrada de corrientes de aire exterior y evitando la salida de aire climatizado interior, ya que uno de los hallazgos notables, fué encontrarse que varias de las puertas de los edificios de operaciones de la planta, permanecían abiertas.

## Referencias

- Resurtidora de aire y calefaccion. (6 de Enero de 2020). Obtenido de <https://blog.resurtidora.mx/que-es-seer-en-aire-acondicionado-mejores-marcas>
- ABB, P. d. (2016). catálogo técnico, centro de control de motores modular MNS.
- Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia.* (24 de Noviembre de 2022). Obtenido de Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia: <https://www.bajocero.co/>
- Airzone. (29 de noviembre de 2022). *Airzone*. Obtenido de Airzone: <https://www.airzone.es/blog/climatizacion/que-es-un-sistema-inverter/>
- Arroyo, P., & Vásquez, R. (2016). *Ingenieria Económica.¿ como medir la rentabilidad de un proyecto?* Lima, Perú: Fondo Editorial.
- Asfaltart SAS.* (s.f.). Obtenido de <https://www.asfaltart.co/quienes-somos/>
- ASHRAE. (2001). cooling and heating load calculations.
- ASHRAE. (2007). Heating, Ventilating and Air-Conditioning APPLICATIONS. *ASHRAE HANDBOOK.*
- ASHRAE. (2009). American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. . *ASHRAE HANDBOOK.*
- ASHRAE. (2011). American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers. *ASHRAE.*
- Ayuso, M. (01 de 06 de 2016). *El peligro oculto del aire acondicionado, una demanda de energia insostenible.* Obtenido de El peligro oculto del aire acondicionado, una demanda de energia insostenible.: [https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2016-06-01/peligo-aire-acondicionado-cambio-climatico-emisiones-energia\\_1209828/](https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2016-06-01/peligo-aire-acondicionado-cambio-climatico-emisiones-energia_1209828/)
- Bajo Cero SAS. (01 de 03 de 2021). *Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia.* Obtenido de Aires acondicionados | Bajo Cero | Colombia: <https://www.bajocero.co/>

BERGMAN, T. L., LAVINE, A., INCROPERA, F., & DEWITT, D. (2007). *fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons Ltd.

Carlos, T. V. (2010). *Universidad politecnica Salesiana* . Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/831>

Carrasco, E. (18 de Mayo de 2021). *STEL Order* . Obtenido de STEL Order :

<https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>

Carrier air conditioning company. (1980). *Handbook of air conditioning system design*.

Barcelona: marcombo Boixareu editores.

ÇENGEL, Y. A. (2016). *transferencia de calor y masa*. ciudad de Mexico: McGraw-Hill.

Duffuaa, R. D. (2013). *Sistemas de mantenimiento planeacion y control* . Limusa Wiley.

energy, e. (29 de noviembre de 2022). Obtenido de

<https://www.ergon.com.au/network/manage-your-energy/business-resources/understanding-power-factor>

Fly carpet. (20 de septiembre de 2022). *Gráfico psicrométrico interactivo en línea*. Obtenido

de Gráfico psicrométrico interactivo en línea: <https://www.flycarpet.net/en/psyonline>

GARCÍA-HUIDOBRO, S. J. (2016). Estudio de pinturas aislantes térmicas y su posible aplicación. *Universidad de Chile*.

Google Earth. (20 de septiembre de 2022). *Google Earth*. Obtenido de Google Earth:

<https://earth.google.com/web/@7.85613909,->

[72.63719928,351.52455785a,8315.44920196d,35y,0h,0t,0r](https://earth.google.com/web/@7.85613909,-72.63719928,351.52455785a,8315.44920196d,35y,0h,0t,0r)

Google Maps. (20 de septiembre de 2022). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps:

[oogle.com/maps/place/Termotasajero/@7.840581,-](https://www.google.com/maps/place/Termotasajero/@7.840581,-)

[72.6269434,15z/data=!4m5!3m4!1s0x8e664c24622ee7ad:0xdccdfc61e566ab50!8m2!](https://www.google.com/maps/place/Termotasajero/@7.840581,-72.6269434,15z/data=!4m5!3m4!1s0x8e664c24622ee7ad:0xdccdfc61e566ab50!8m2!)

[3d7.8478407!4d-72.6327057?hl=es](https://www.google.com/maps/place/Termotasajero/@7.840581,-72.6269434,15z/data=!4m5!3m4!1s0x8e664c24622ee7ad:0xdccdfc61e566ab50!8m2!3d7.8478407!4d-72.6327057?hl=es)

Imcerba Mantenimiento Industrial S A S. (29 de 09 de 2017). *Imcerba Mantenimiento*

*Industrial S A S*. Obtenido de Imcerba Mantenimiento Industrial S A S:

[https://www.informacion-empresas.co/Empresa\\_IMCERBA-MANTENIMIENTO-INDUSTRIAL-SAS.html](https://www.informacion-empresas.co/Empresa_IMCERBA-MANTENIMIENTO-INDUSTRIAL-SAS.html)

Industrias Thermotar LTDA. (2020). *Thermotar aires acondicionados*. Obtenido de

Thermotar aires acondicionados: <https://thermotar.com/>

Ley 55 de 1993. (11 de 01 de 2023). *Convenio sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo*. Obtenido de Convenio sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=37687#:~:text=ART%C3%8DCULO%2018.-,1.,sin%20demora%20a%20su%20supervisor.>

Multiaires. (2018). Multiaires cool air.

Navarro, J. D. (2004). *TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL*. Calpe institute of Technology.

NBE CT-79. (s.f.). *NORMAS BÁSICAS DE LA EDIFICACIÓN, CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS*.

NTC 2050. (10 de 12 de 2022). *Código eléctrico Colombiano*. Obtenido de Código eléctrico Colombiano:

[https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma\\_%20NTC\\_2050\\_98\\_codigo\\_electrico\\_col.pdf](https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma_%20NTC_2050_98_codigo_electrico_col.pdf)

NTC 3714. (10 de DICIEMBRE de 2022). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3714*.

Obtenido de NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3714:

<https://silo.tips/download/norma-tecnica-colombiana-3714>

NTC 5183. (11 de 01 de 2023). *VENTILACION PARA UNA CALIDAD ACEPTABLE DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES*. Obtenido de VENTILACION PARA UNA CALIDAD ACEPTABLE DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES:

<https://tienda.icontec.org/gp-ventilacion-para-una-calidad-aceptable-del-aire-en-espacios-interiores-ntc5183-2003.html>

NTC COLOMBIANA 2348. (12 de 12 de 2022). *MÁQUINAS Y EQUIPOS. CONDUCTOS*

*DE AIRE*. Obtenido de MÁQUINAS Y EQUIPOS. CONDUCTOS DE AIRE:

<https://docplayer.es/55886710-Norma-tecnica-colombiana-2348.html>

NTC-5104. (s.f.). eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo unitario. rangos de eficiencia energética y etiquetado.

Refriplast. (11 de 11 de 2020). *Refriplast - Aire Acondicionado, refrigeracion y ventilacion*.

Obtenido de Refriplast - Aire Acondicionado, refrigeracion y ventilacion ...:

<https://www.refriplast.com/>

Refriplast. (diciembre de 2022). *Bryant línea completa de soporte y equipos comerciales*

*ligeros*. Obtenido de <https://www.refriplast.com/>

Refriplast. (20 de diciembre de 2022). *Refriplast*.

SISTEMAS, A. Y. (23 de 12 de 2022). *Estudio de factibilidad y análisis costo beneficio*.

Obtenido de Estudio de factibilidad y análisis costo beneficio:

[https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/ads/125\\_estudio\\_de\\_factibilidad\\_y\\_analisis\\_costo\\_beneficio.html#:~:text=Se%20refiere%20a%20los%20recursos%20econ%C3%B3micos%20y%20financieros%20necesarios%20para,costo%20de%20adquirir%20nuevos%20recursos.](https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/ads/125_estudio_de_factibilidad_y_analisis_costo_beneficio.html#:~:text=Se%20refiere%20a%20los%20recursos%20econ%C3%B3micos%20y%20financieros%20necesarios%20para,costo%20de%20adquirir%20nuevos%20recursos.)

TECAM. (2022). Rendimiento energético en climatización: EER, SEER, COP y SCOP.

*TECAM tecnologia ambiental*.

TERMOTASAJERO DOS S.A E.S.P. (2021). *TERMOTASAJERO SA ESP*. Obtenido de

TERMOTASAJERO SA ESP: <https://termotasajero.com.co/nosotros/>

Todolineas S A S. (28 de 09 de 2017). *Todolineas S A S*. Obtenido de Todolineas S A S:

[https://www.informacion-empresas.co/Empresa\\_TODOLINEAS-LTDA.html](https://www.informacion-empresas.co/Empresa_TODOLINEAS-LTDA.html)

Torres Valdivieso, J. C. (2010). *Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/831>

Viladomat, A. R. (2018). Calor sensible, calor latente y la carta psicrométrica. *Luftechnik*.

Weather, A. (2022). Pronóstico del tiempo global e información climática, sobre coordenadas geográficas. *Weather Atlas*. Obtenido de Pronóstico del tiempo global e información climática, sobre coordenadas geográficas.

## Apéndice.

### Apéndice A.

tabla de condiciones interiores para condiciones industriales.

**TABLA 5. CONDICIONES INTERIORES PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**  
(Estos valores son facilitados a título informativo, las condiciones escogidas las determina generalmente el cliente)

INDUSTRIA	APLICACIÓN	Temp. seca (°C)	Humedad relat. %	INDUSTRIA	APLICACIÓN	Temp. seca (°C)	Humedad relat. %	
ABRASIVOS	Fabricación	24-27	45-50	CERVECERÍA	Cerveza blanca	0-2	75	
FÓSFOROS	Fabricación	22-23	50		Cerveza negra	4-7	75	
	Secado	21-24	40		Cava de fermentación			
APARATOS ELÉCTRICOS	Almacenaje	15-17	50		Cerveza blanca	4-7	75	
	Árrollamientos, bobinas, material electrónico	22	15		Cerveza negra	13	75	
	Montaje lámparas	20	40		Trasiego	0-2	75	
	Instrumentos electrónicos	21	50-55		CERÁMICA	Refractarios	43-65	50-90
	Fabricación y laboratorio	24	50-55	Modelado		27	60-70	
	Montaje termostatos	24	50-55	Almacén de arcillas		15-27	35-65	
	Montaje higrostatos	24	50-55	Decoración		24-27	45-50	
	Montajes de precisión	22	40-45	CEREALES EN COPOS		Empaquetado	24-27	45-50
	Ensayos aparatos de medida	23-24	60-63			GOMA DE	Fabricación	25
	Montaje fusibles e interruptores	23	50					
Fabric. condensad.	23	50						

Nota: Obtenido de (Carrier air conditioning company., 1980)

### Apéndice B.

factores de calor sensible y latente en personas según actividad de trabajo.

18.4

2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant <sup>b</sup>	
		Adult Male	Adjusted, M/F <sup>a</sup>			Low V	High V
		Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant <sup>c</sup>	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling <sup>d</sup>	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Nota: Obtenido de (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., 2009).

## Apéndice C.

### Caudales de aire exterior, según la aplicación industrial

TABLA 45. CAUDALES DE AIRE EXTERIOR

APLICACION	NÚMERO DE FUMADORES	m <sup>3</sup> /h POR PERSONA		m <sup>3</sup> /h por m <sup>2</sup> de superficie de suelo Mínima *
		Recomendada	Mínima *	
Apartamento { Normal Lujo	Pequeño	34	25	-
	Muy pequeño	51	42	6,0
	Pequeño	17	13	-
	Grande	25	17	-
	Muy pequeño	17	13	-
Bolsa Bar Corredores (insuflación o extracción) Grandes almacenes Sala de consejo	Muy grande	85	51	-
	Grande	51	42	-
	-	-	-	4,6
	Pequeño	13	8,5	0,9
Farmacia *** Fábrica *** Precio único Salón de funeraria Garaje **	Muy grande	85	51	-
	Grande	51	42	-
	Pequeño	13	8,5	-
	Ninguno	17	13	-
	-	-	-	18,3
Hospital { quirófano *** Habitación privada Sala común Habitación de hotel Cocina { Restaurante *** Privada Laboratorio ***	Ninguno	-	-	36,6
	Ninguno	51	42	6,0
	Ninguno	34	25	-
	Grande	51	42	6,0
	-	-	-	73,0
	Pequeño	34	25	36,6
Sala de conferencias Despacho { Común Privado Privado Cafetería *** Restaurante { Comedor ***	Muy grande	85	51	22,8
	Común	25	17	-
	Privado	42	25	4,6
	Privado	51	42	4,6
	Grande	20	17	-
	Grande	25	20	-
Aula ** Tienda al detall Teatro o sala de cine ** Teatro o sala de cine Cuartos de aseo ** (Extracción)	Ninguno	-	-	-
	Ninguno	17	13	-
	Ninguno	13	8,5	-
	Pequeño	25	17	36,6

## Apéndice D.

*Condiciones de oferta para desmontaje de equipos de aire acondicionado instalados actualmente.*



**IMCERBA**  
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO

NIT. 900.894.192-6  
Calle 15 # 0-05 COMUNEROS

Tels: 3132137009 - 3105809435  
imcerba@hotmail.com  
CUCUTA-COLOMBIA

San José de Cúcuta, diciembre 21 de 2022

Señores:

**TERMOTASAJERO S.A E.S.P**  
**ING. JENNY SANDOVAL**  
**MANTENIMIENTO**

**REF: SOLICITUD DE COTIZACION DESMONTAJE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**

### ALCANCE DEL TRABAJO

El trabajo consiste suministrar el servicio técnico para el desmontaje de equipos de refrigeración en TERMOTASAJERO DOS S. A. E. S. P.

Incluye:

- 1.1 Desmontar 4 unidades manejadoras, 4 ventiladores, 4 unidades condensadoras ubicadas en el edificio de turbina. 1.2
- Desmontar 2 equipos de Aire Acondicionado del edificio AQCS. 1.3
- Ubicar en la zona de chatarra todos los elementos que componen los equipos desmontados. 1.4
- Suministro de Herramientas, herramientas de izaje, equipos de medición, equipos de soldadura, oxicorte, llaves, pulidoras, extensiones, estrobos, diferenciales, iluminación, y demás equipos especiales requeridos para la actividad objeto del servicio.
- 1.5 Suministro de materiales consumibles, Soldadura, discos, gases y demás necesarios para ejecutar el trabajo.
- 1.6 Cronograma detallado de las actividades a realizar.
- 1.7 Informe. Al finalizar los trabajos el proveedor entregará un informe donde indique: Los daños encontrados, el trabajo realizado y Recomendaciones para el próximo mantenimiento.

Para ello, IMCERBA suministrará:

- 1) Personal técnico calificado certificado en alturas y debidamente afiliados al sistema de seguridad social.
- 2) Supervisor Técnico y Supervisor de Seguridad Industrial.
- 3) Relacionar experiencia específica de la empresa en trabajos realizados.
- 4) El Proveedor debe suministrar su propio TALLER para la ejecución del trabajo, TERMOTASAJERO S.A.E.S.P. no prestará sus instalaciones (Taller), equipos, herramientas ni accesorios.
- 5) El Proveedor debe garantizar la calidad de su trabajo, realizar el control y pruebas que se requieran para este fin, éstas deben estar especificadas en la oferta, los costos de todas las pruebas y ensayos deberán ser cubiertos por El Proveedor.
- 6) Cualquier daño ocurrido en sus propios equipos y accesorios o en los de la empresa por la inadecuada ejecución del trabajo será responsabilidad del Proveedor y la reparación estará a su cargo.
- 7) El Proveedor garantizará la calidad del trabajo ejecutado o equipos suministrados como mínimo (12) meses, contados a partir de la entrega del trabajo.
- 8) Transporte hasta y desde TERMOTASAJERO S.A. E.S.P.
- 9) La logística necesaria en planta para movimiento, transporte, descargue y cargue de los materiales y/o equipos hasta los sitios donde se ejecutarán los trabajos. También se encargará de la vigilancia y

## Apéndice E.

### Condiciones y oferta de desmontaje de la empresa IMCERBA.

almacenamiento de sus materiales, herramientas y equipos.

10) La logística necesaria para terminado el trabajo dejar el área limpia.

11) Elementos de protección personal y dotación a su personal.

12) El Proveedor reitera que se obliga a afiliarse y vigilar la afiliación al Sistema General de Seguridad Social a sus trabajadores, contratistas y subcontratistas, de conformidad con la normatividad vigente; para el ingreso debe cumplir con los requisitos del Sistema General de Riesgos Laborales pertinente con la actividad a desarrollar, con grado de riesgo mínimo IV.

13) El Proveedor deberá tener en cuenta que TERMOTASAJERO S.A. E.S.P. cuenta con un sistema de gestión de calidad bajo la norma NTC ISO:9001: 2015, para el desarrollo de las actividades deberá cumplir con los requisitos del sistema de gestión de calidad los cuales se darán a conocer cuando se adjudique el contrato.

IMCERBA se encargará del almacenamiento transitorio y definitivo de los residuos sólidos, líquidos, peligrosos y no peligrosos generados durante el desarrollo del trabajo. Para ello, se designará una persona de cada equipo de trabajo, y estos serán supervisados por el técnico.

Para el manejo transitorio de residuos, se usarán recipientes adecuados, se designará una zona específica para ello, en concordancia con los encargados de la planta y se señalará de acuerdo con las normas para el manejo de residuos.

Después de terminado el trabajo, los residuos serán llevados a sitios adecuados para el procesamiento de los mismos.

TERMOTASAJERO deberá suministrar:

- El equipo en seguridad.
- La alimentación de los trabajadores durante el desarrollo del trabajo.

ITEM	CANT	DESCRIPCION	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	1	DESMONTAJE DE 8 UNIDADES Y 4 VENTILADORES EDIFICIOS TURBINA Y AQCS SEGÚN ANEXOS	\$ 44.000.000	\$ 44.000.000
			subtotal	\$ 44.000.000
			Iva 19%	\$ 8.360.000
			Total	\$ 52.360.000

Valor de la oferta: \$ 52.360.000

Validez de la oferta: 60 días

Tiempo de entrega: 15 días calendario

30% de anticipo

70% a crédito 60 días

Atentamente,

**NELSON BARBOSA**  
Ing. Mecánico