



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO POR ABSORCIÓN ASISTIDO CON ENERGÍA SOLAR Y
GAS NATURAL, PARA SATISFACER EL CONSUMO ENERGÉTICO EN
REFRIGERACIÓN DE OFICINAS EN UN EDIFICIO PÚBLICO. UBICADO EN
CLIMA TROPICAL – COLOMBIA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTOR: JORGE ADELMO DIAZ SARMIENTO

**PROFESOR GUÍA: Dr. JAIME SOTO
Co GUÍA: Dr. REINALDO SANCHEZ**

CONCEPCIÓN, agosto de 2016

Resumen

La investigación tuvo como objeto la evaluación técnica y económica de un sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural para satisfacer el consumo energético en refrigeración de oficinas de un edificio público en uso, ubicado en clima tropical. Se determinaron datos de radiación, energía solar, variación y proyección tarifas de energía eléctrica y gas natural. Se calculó el consumo energético actual por uso de aires acondicionados. Se calculó la carga térmica para refrigeración y se elaboró el diseño del sistema de enfriamiento por absorción. Para el cálculo de costos directos se asumieron variables según ley 1715 de 2014 de Colombia.

Se usó ciclo de costo de vida para determinar diferencia entre el costo inicial y el valor presente; comparando el sistema de enfriamiento convencional con el sistema de enfriamiento por absorción, analizando el comportamiento del payback a 25 años. Se elaboró análisis de sensibilidad a los resultados de la evaluación económica.

Los resultados obtenidos permiten concluir que:

En términos generales el sistema es muy sensible a variaciones de costos y tasas de descuento. Es muy rentable a partir del año séptimo si se presentan cambios, como: -1% en la tasa de descuento, +2% en costo energía eléctrica, -3% en costos de inversión. En el escenario normal el proyecto es rentable a partir del año quince. A pesar de esto, puede decirse que el sistema satisface el consumo energético en refrigeración de oficinas y contribuye al uso racional y eficiente de la energía enmarcado bajo la ley 1715 de 2014.

Palabras claves:

Enfriamiento por absorción, Energía solar, energía eléctrica, ciclo costo de vida.

Summary

The research took as an object the technical and economic evaluation of a system of cooling for absorption represented with solar power and natural gas to satisfy the energetic consumption in office refrigeration of a public building in use located in tropical climate. We compute information of radiation, solar power, variation and projection rates of electric power and natural gas. In addition, we determine the energetic current consumption by use of equipped airs. The thermal load was calculated for refrigeration and there was elaborated the design of the system of cooling by absorption. For the calculation of direct costs variables were assumed according to law 1715 of 2014 of Colombia.

There was used cycle of cost of life to determine difference between the initial cost and the present value; comparing the system of conventional cooling with the system of cooling for absorption, analyzing the behavior of the payback to 25 years. Sensibility analysis was elaborated to the results of the economic evaluation.

The obtained results allow to conclude that:

In general terms the system is very sensitive to variations of costs and discount rates. It is very profitable from the seventh year if they present changes, since: -1 % in the discount rate, +2 % in cost electric power, -3 % in costs of investment. In the normal scene the project is profitable from the year fifteen. In spite of this, it can be said that the system satisfies the energetic consumption in office refrigeration and contributes to the rational and efficient use of the energy framed under the 1715 law 2014.

Key words:

Cooling for absorption, Solar power, electric power, cycle cost of life.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Objetivo general	4
1.2 Objetivos específicos	4
Capítulo 2. Marco Teórico.....	5
2.1 Análisis Climatológico.....	6
2.2 Energía solar	7
2.2.1 Distribución de la radiación solar	8
2.2.2 Radiación Solar en Colombia.....	9
2.2.3 Energía solar disponible en la ciudad de Villavicencio	10
2.3 Producción de energía solar en Latinoamérica	11
2.4 Energía eléctrica en Colombia	12
2.4.1 Variación y proyección de tarifas de energía eléctrica en Colombia	12
2.4.2 Consumo actual de energía eléctrica en edificio público, Alcaldía de Villavicencio	15
2.5 Gas natural en Colombia.....	17
2.5.1 Variación y proyección de tarifas de energía eléctrica en Colombia	18
2.6 Descripción del Edificio público, alcaldía de Villavicencio	20
2.7 Sistema de enfriamiento en uso para refrigeración de oficinas. Edificio público Alcaldía Villavicencio.....	21
2.8 Evaluación técnica sistema de enfriamiento por absorción edificio público alcaldía Villavicencio.....	22
2.8.1 Sistema de captación solar.....	23
2.8.2 Sistema hidráulico	28
2.8.3 Sistema de intercambio	31
2.8.4 Sistema de acumulación.....	33
2.8.5 Máquina de absorción	33
2.8.6 Sistema de disipación	35

2.8.7	Sistema de Energía auxiliar	35
2.8.8	Sistema de regulación y control.....	37
2.8.9	Circuito hidráulico para transporte de agua fría a fan coil	38
Capítulo 3. Aspectos Metodológicos.....		39
3.1	Consumo energía eléctrica por uso de aires acondicionados para refrigeración de oficinas. Edificio Alcaldía de Villavicencio	43
3.2	Calculo de carga térmica para refrigeración de edificio de la alcaldía de Villavicencio.....	49
3.2.1	Carga de calor por conducción a través de barreras externas	50
3.2.2	Carga de calor por radiación a través de vidrios	56
3.2.3	Carga de calor por conducción a través de barreras internas.....	56
3.2.4	Carga de calor por iluminación	57
3.2.5	Carga de calor por equipos eléctricos y electrónicos.....	57
3.2.6	Carga de calor por personas.....	58
3.2.7	Carga de calor por infiltraciones	58
3.2.8	Determinación de caudal de aire para ventilación	59
3.2.9	Determinación carga de calor por ventilación.....	60
3.2.10	Determinación calculo caudal de aire a suministrar	60
3.2.11	Determinación calculo de la capacidad de enfriamiento del equipo de aire acondicionado.	61
3.3	Uso de software dinámico:	64
3.4	Diseño sistema enfriamiento por absorción asistido por energía solar y gas natural.....	66
3.4.1	Diseño sistema de colectores solares.....	66
3.3.2	Diseño de sistema hidráulico	71
3.3.3	Diseño de sistema de intercambio.....	74
3.3.4	Diseño de sistema de acumulación	75
3.3.5	Determinación de Máquina de absorción	75
3.3.6	Determinación sistema de disipación	75
3.3.7	Diseño de sistema auxiliar	76
3.3.8	Determinación sistema de regulación y control.....	77
3.3.9	Diseño sistema hidráulico para transporte de agua fría a fancoil	77

Capítulo 4. Evaluación económica.....	79
4.1 Presupuesto económico sistema de enfriamiento por absorción.....	79
4.1.1 Costos Directos	79
4.1.2 Costos Indirectos.....	81
4.2 Costos de mantenimiento, de reemplazo y valor residual para el sistema de enfriamiento por absorción para edificio.	84
4.3 Costo anual de energía eléctrica, para operación del sistema de enfriamiento por absorción.....	84
4.4 Costo anual de gas natural, para operación del sistema de enfriamiento por absorción....	86
4.5 Presupuesto sistema de enfriamiento convencional, actualmente en uso.....	87
4.6 Costos de mantenimiento, de reemplazo y valor residual para el sistema de enfriamiento actualmente en uso.....	88
4.7 Costo anual de energía eléctrica, para operación del sistema de enfriamiento actualmente en uso.....	88
4.8 Variables económicas	89
4.8.1 Evolución del IPC general.....	89
4.8.2 Tasa de descuento.....	90
4.8.3 Tasa de escalonamiento	90
4.9 Definición de escenarios	90
4.10 Análisis económico.....	91
4.10.1 Diagramas de flujo de caja:	91
4.10.2 Ciclo de costo de vida, evaluación económica:	92
4.11 Análisis de los resultados	93
4.12 Inversionistas.....	99
Conclusiones.....	100
Referencias bibliográficas.....	104

Lista de Tablas

Tabla 2. 1: Condiciones climatológicas de Villavicencio	7
Tabla 2. 2: Disponibilidad promedio anual de radiación solar en Colombia por regiones	9
Tabla 2. 3: Radiación solar mensual por metro cuadrado de superficie horizontal día Villavicenci .	10
Tabla 2. 4: Fuentes de generación de energía eléctrica sistema interconectado en GWh	12
Tabla 2. 5 . Tarifas de energía eléctrica entidades oficiales 2011-2015. Depto Meta Colombia	15
Tabla 2. 6: Información consumos mensuales energía eléctrica, edificio Alcaldía Villavicencio.....	16
Tabla 3. 1: Temperaturas mensuales de confort, promedio y horas de uso por aires acondicion ..	44
Tabla 3. 2: Consumos eléctricos mensuales por uso de aires acondicionados.	45
Tabla 3. 3: Consumo de energía eléctrica por uso de aire acondicionado	48
Tabla 3. 4: Descripción de muros	51
Tabla 3. 5: Coeficiente Global de transferencia de calor (U) del muro	52
Tabla 3. 6: Paredes en mampostería muro sencillo.....	52
Tabla 3. 7: Coeficiente global de transferencia de calor (U) del vidrio	52
Tabla 3. 8: Coeficiente global de transferencia de calor (U) de la cubierta	53
Tabla 3. 9: Calculo placa piso y entre-piso.....	53
Tabla 3. 10: Coeficiente global de transferencia de calor (U) de las puertas.....	54
Tabla 3. 11: Coeficiente global de transferencia de calor (U), barreras internas.....	54
Tabla 3. 12: DTCE corregido para latitud 5 N, hora proyecto 15 h, mes enero.....	55
Tabla 3. 13: Carga de calor por conducción debido a barreras externas.....	55
Tabla 3. 14: Carga de calor por radiación	56
Tabla 3. 15: Carga de calor por conducción barreras internas	57
Tabla 3. 16: Carga de calor por iluminación	57
Tabla 3. 17: Carga de calor por equipos eléctricos y electrónicos	58
Tabla 3. 18: Carga de calor por personas sensible y latente.....	58
Tabla 3. 19: Carga de calor por infiltración.....	59
Tabla 3. 20: Resumen carga de calor oficina No 01	59
Tabla 3. 21: Caudal de aire para ventilación.....	60
Tabla 3. 22: Calculo carga de térmica del aire para ventilación	60

Tabla 3. 23: Caudal de aire a suministrar	61
Tabla 3. 24: Caudales de aire a manipular por el equipo.....	61
Tabla 3. 25: Total carga de calor para oficina 1 del piso No 5.	62
Tabla 3. 26: Total carga de calor para piso No 5	62
Tabla 3. 27: Resumen de cargas térmicas por oficina y total del edificio.	63
Tabla 3. 28: Análisis de sensibilidad de cargas térmicas.....	66
Tabla 3. 29: Factor de corrección k por inclinación de 15° para una latitud de 4°	67
Tabla 3. 30: Radiación efectiva por m ² día. Villavicencio.....	67
Tabla 3. 31: Rendimiento de captador solar.....	69
Tabla 3. 32: Energía que necesita máquina de absorción.	70
Tabla 3. 33: Aporte solar calculado mediante carta F	71
Tabla 3. 34: Rutas de pérdidas en circuitos	72
Tabla 3. 35: Calculo volumen de expansión	73
Tabla 3. 36 Cantidad de intercambiadores.....	74
Tabla 3. 37: Potencia de la caldera. sistema auxiliar	76
Tabla 3. 38: Diseño de la red de suministro de gas natural para la caldera.....	77
Tabla 4. 1: Renta anual.....	80
Tabla 4. 2: Presupuesto sistema de enfriamiento por absorción	82
Tabla 4. 3: Consumo mensual de energía eléctrica sistema de enfriamiento por absorción	85
Tabla 4. 4: Costos anual de energía eléctrica para operación sistema de enfriamiento	85
Tabla 4. 5: Costo anual de gas natural para operación sistema de enfriamiento por absorción	86
Tabla 4. 6: Resumen de costos sistema de enfriamiento por absorción	87
Tabla 4. 7: Costos totales inversión en valor presente de aires acondicionados actualmente.....	87
Tabla 4. 8: Costo anual energía eléctrica, por uso de aires acondicionados.....	88
Tabla 4. 9: Resumen costos totales sistema de aires acondicionados.....	89
Tabla 4. 10: Resumen evaluación económica.....	92
Tabla 4. 11: Simulación de costos sistema de enfriamiento por absorción.....	93
Tabla 4. 12: Resultado variaciones en costos caso normal.....	95
Tabla 4. 13: Recuperación simple (años) de los costos del sistema de enfriamiento por absorci	98

Lista de Gráficos

Gráfica 2. 1: Información Climatológica de la ciudad de Villavicencio	6
Gráfica 2. 2: Series de tiempo continuo de la irradiación solar total (TSI).....	7
Gráfica 2. 3: Flujos verticales de energía entre el espacio, la atmosfera y la superficie terrestre en W / m2.....	8
Gráfica 2. 4: Distribución global de la radiación	9
Gráfica 2. 5: Rangos de radiación solar global para la ciudad de Villavicencio	10
Gráfica 2. 6: Abaco para el cálculo de pérdidas del captador por orientación e inclinación.	11
Gráfica 2. 7: Composición de la generación de energía y el precio spot	13
Gráfica 2. 8: Precio promedio anual de la electricidad.....	13
Gráfica 2. 9: Precio de la electricidad. Países de américa latina año.2014	14
Gráfica 2. 10: Tendencia incremento anual energía eléctrica. Departamento Meta Colombia	15
Gráfica 2. 11: Tendencia consumos anuales energía eléctrica edificio público	17
Gráfica 2. 12: Reservas colombianas de gas natural	17
Gráfica 2. 13: Evolución de las reservas de gas natural.....	18
Gráfica 2. 14: Evolución por estrato de tarifas del gas natural en Colombia.....	19
Gráfica 2. 15: Proyección de precios de gas natural en el interior de Colombia	19
Gráfica 2. 16: Rendimiento térmico de un captador solar de tubo de vacío	26
Grafica 3. 1: Distribución mensual de consumo energía eléctrica por uso de aire acondicionado...48	
Grafica 4. 1: % de costos directos sistema de enfriamiento.....	83
Grafica 4. 2: Evolución del IPC en Colombia	89
Grafica 4. 3: Histograma de costos frecuencia vs probabilidades acumuladas	93
Grafica 4. 4: Análisis tornado	95
Grafica 4. 5: Gráfica tipo araña.....	96
Grafica 4. 6: Correlación no lineal de rango	96
Grafica 4. 7: Porcentaje de variación explicado.	97
Grafica 4. 8: Incidencia de variación de costos Vs recuperación simple en años.	98

Lista de Figuras

Figura 2. 1 Ubicación edificio público alcaldía de la ciudad de Villavicencio	21
Figura 2. 2: Ubicación de aires acondicionados en el exterior.	22
Figura 2. 3: Esquema básico de funcionamiento del sistema de refrigeración con máquina de absorción.....	23
Figura 2. 4: Esquema captador solar térmico de tubo de vacío de flujo directo	24
Figura 2. 5: Partes y áreas de un captador solar de tubos de vacío de flujo directo	25
Figura 2. 6: Configuración captadores en serie y paralelo.....	26
Figura 2. 7:Técnica retorno invertido	27
Figura 2. 8: Distancia mínima entre captadores.....	27
Figura 2. 9: Intercambiadores de placa	32
Figura 2. 10: Ciclo de absorción agua-bromuro de litio de simple efecto	34
Figura 2. 11: Elementos del sistema de regulación y control	38
Figura 2. 12: Circuito hidráulico a fan coil	38
Figura 3. 1.Datos cálculo de carga térmica para refrigeración edificio (piso 1)	64
Figura 3. 2. Resultado carga térmica para refrigeración edificio (piso 1)	65
Figura 3. 3. Datos cálculo de carga térmica para refrigeración edificio (piso 10)	65
Figura 3. 4. Resultado carga térmica para refrigeración edificio (piso 10)	65
Figura 3. 5: Volumen total de expansión.....	74
Figura 4. 1: Análisis de estadístico.....	94

Capítulo 1. Introducción

El cambio climático, las temporadas de sequías, el aumento de temperatura, el efecto de isla calor entre otros, han venido causando altos consumos de energía eléctrica en Colombia. En este sentido surge interés por el ahorro energético. Una evaluación técnica y económica de un sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural puede ofrecer una solución al ahorro energético en edificios estatales, contribuyendo en la implementación del programa nacional de usos de energías renovables y la aplicación de la ley colombiana 1715 de 2014. Debido al aumento de consumo de energía eléctrica en los edificios públicos y la necesidad de disminuir las emisiones de CO₂ de los fósiles al medio ambiente, el interés por el uso de fuentes de energía renovables se muestra más fuerte que nunca. (Emilio J. Sarabia Escrivá, Edwin V. Lamas Sivila, Víctor M. Soto Francés. 2011).

Durante el cuarto trimestre de 2015 y primer trimestre de 2016, en Colombia la demanda de electricidad presentó un crecimiento mayor al previsto con un 1,81% por encima del período anterior, alcanzando un 4,75% de crecimiento; de forma similar la demanda de potencia máxima del sistema, alcanzó un crecimiento de 5,12%, como consecuencia del aumento de la temperatura y cambio en los patrones de lluvia (UPME 2016). Así las cosas, a nivel mundial ha venido surgiendo interés por el uso de fuentes naturales inagotables, que contribuyan a la disminución del efecto invernadero y ahorro de energía eléctrica.

Los sistemas de enfriamiento tradicionales demandan mayores consumos de energía eléctrica y los refrigerantes utilizados, causan agotamiento de la capa de ozono e inciden en el aumento del efecto invernadero (Sabina Rosiek, Francisco Javier Batlles. 2013). El sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, presenta grandes ventajas, ya que la demanda de enfriamiento es mayor, a medida que aumenta la radiación solar. Dicho de otra forma, en verano es necesario refrigerar más, por ende, existe aumento en consumos de energía eléctrica y es precisamente cuando hay más radiación solar disponible.

La principal ventaja de la tecnología del sistema de enfriamiento por absorción, es que su coeficiente de rendimiento es mayor que el de otros ciclos operados térmicamente. Por otra parte, la libertad

de ruido, vibraciones, bajo costo de mantenimiento, mantenimiento de larga duración, y la posibilidad de utilizar cualquier tipo de fuente de calor, como la radiación solar (H.Z. Hassan, A.A. Mohamad, 2012).

La investigación e implementación de sistemas de enfriamiento por absorción asistidos con energía solar y gas natural en países tropicales como Colombia, aun es incipiente, si se compara con países como Alemania, España e Italia, podría decirse que el uso de la energía solar térmica es una tecnología poco desarrollada a pesar de las condiciones climáticas favorables (Balbis M, Tovar I, Balaguera E 2009).

En países como, Argentina, Chile, Brasil, Perú, Ecuador, México, Colombia entre otros; desarrollan políticas y establecen normas con el objetivo de incorporar en sus programas energéticos fuentes de energía limpia, cada vez más encaminados al ahorro energético y la disminución de consumos de energía eléctrica. En el año 2014, Colombia expide la ley 1715 de 2014, encaminada a la implementación de políticas públicas para uso de energías renovables y la disminución de uso de energías eléctrica.

En Colombia, se ha avanzado poco en el uso de sistemas de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, entre otras razones por desconocimiento y falta de divulgación. (Díaz, Monteagudo .2014). Por falta de comprensión en la operación de sistemas de aire acondicionado por absorción, que utilicen LiBr-H₂O (Díaz .2012).

Los edificios públicos en Colombia, presentan altos consumos de energía eléctrica para refrigeración, aumentando los costos de operación y contribuyendo a la baja sostenibilidad ambiental. La ley 1715 de 2014, contempla un plazo de diez años, para que las administraciones públicas establezcan objetivos de eficiencia energética, los cuales deben ser alcanzados a través de medidas de gestión eficiente de la energía. Estos objetivos deben ser fijados como metas escalonadas a ser alcanzados y cada entidad deberá destinar los recursos (presupuesto) necesarios para acometer el desarrollo de tales medidas de gestión eficiente de la energía.

Para determinar el edificio caso de estudio, se tuvieron en cuenta los edificios públicos de mayor envergadura de la ciudad de Villavicencio, el edificio de la gobernación departamental y el edificio público de la alcaldía municipal; se tabuló y se categorizó la información mediante matrices. Se

analizaron, se evaluaron los resultados, y se determinó, que el edificio caso de estudio para efectuar evaluación técnica y económica, correspondía a la alcaldía de Villavicencio.

Esta investigación se desarrolló con el fin de analizar técnica y económicamente un sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, para satisfacer el consumo energético en refrigeración de oficinas de un edificio público ubicado en clima tropical y de esta manera ayudar a promover el desarrollo y utilización de fuentes no convencionales de energía, ayudando a cumplir las metas de eficiencia energética enmarcadas dentro de la ley 1715 de 2014 y poder contribuir en el impulso de programa de uso racional de la energía y el fomentar la inversión y desarrollo en tecnologías limpias para producción de energía.

El programa de uso racional y eficiente de la energía, consiste en un plan de acción indicativo, que busca en promover el uso racional y eficiente de la energía, y demás formas de energía no convencionales, asegurando el abastecimiento energético, la competitividad, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales. Es decir, pretende consolidar una cultura sostenible y eficiente de los recursos naturales a lo largo de la cadena energética y la construcción de condiciones económicas para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos, además del fortalecimiento de instituciones y el impulso de iniciativas empresariales que propendan por el ahorro energético que implique el uso de tecnologías y buenas prácticas de eficiencia energética (unidad de planeación minero energética 2015).

El problema está enmarcado en los altos consumos de energía eléctrica para refrigeración de edificios públicos generando cero ahorros energéticos, aumento en costos de operación y la falta de implementación de la ley 1715 de 2014, en cuanto a cumplimiento de objetivos energéticos en administraciones públicas.

Por lo anterior se establece la siguiente hipótesis:

El uso de energía solar y gas natural mediante un sistema de enfriamiento por absorción para refrigeración de edificios públicos, es una alternativa viable que permite incentivar al ahorro de energía que se consume hasta un 50% y contribuye en la aplicación del programa nacional de uso racional y eficiente de la energía enmarcado en la ley 1715 de 2014.

1.1 Objetivo general

Evaluar técnica y económicamente un sistema de enfriamiento por absorción, para satisfacer el consumo energético en refrigeración de oficinas de un edificio público en uso. En clima tropical, en la ciudad de Villavicencio – Colombia. Contribuyendo en el programa de uso racional de la energía enmarcado dentro de la ley 1715 de 2014.

1.2 Objetivos específicos

Identificar y determinar consumos de energía eléctrica, carga térmica para refrigeración de oficinas de un edificio público en uso.

Diseñar sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, para refrigeración de oficinas de un edificio público en uso.

Elaborar presupuesto económico del sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural para refrigeración de oficinas de un edificio público en uso, teniendo en cuenta aplicación de la ley 1715 de 2014 y la implementación de programa de uso racional de la energía, así mismo determinar inversiones iniciales en el sistema de aire acondicionado actualmente implementado.

Determinar costos de mantenimiento, de reemplazo, vida residual, de energías anuales para operación, tanto para el sistema de enfriamiento por absorción y como para el sistema de refrigeración actualmente en uso; teniendo en cuenta el uso de la norma UNE-EN-15459 de eficiencia energética de los edificios.

Analizar y evaluar económicamente el sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural; frente al sistema de refrigeración convencional actualmente en uso; y así comparar el ciclo de vida bajo los tres escenarios posibles, normal, optimista y pesimista. Efectuando un análisis de sensibilidad mediante la aplicación de Risk simulator.

Capítulo 2. Marco Teórico

La generación de energía renovable en el mundo, es liderada por China seguido por Estados Unidos y Brasil. Dentro del contexto latinoamericano Brasil y Chile lideran las inversiones en millones de dólares (Energy Finance 2014). El uso de la energía solar térmica para refrigeración, en Europa presenta un crecimiento notable. Sin embargo, en Colombia a pesar de las condiciones climáticas favorables, este tipo de tecnología es poco aplicada, lo que se refleja en la baja producción de energía solar, que para el año 2010 fue tan solo del 2% del total de la energía producida. (García H 2013). Este atraso en el uso de energías renovables, obedece a la ausencia de leyes que impulsen la implementación de los planes y programas nacionales de energía.

Para introducir el concepto de un sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, para refrigeración de oficinas de un edificio público, es necesario esclarecer los siguientes interrogantes: ¿Qué es un sistema de enfriamiento por absorción?, ¿Cómo es su funcionamiento?, ¿Es posible su uso e implementación en un edificio público?, ¿Cómo se transforma la energía solar térmica en un sistema de refrigeración?, ¿Es suficiente la radiación solar en la ciudad de Villavicencio?, ¿Qué tipo de captadores solares se requiere?, ¿Cuál es el aporte solar?, ¿Cuál es la carga térmica y demanda térmica del edificio?, ¿Cuáles son los consumos actuales de energía eléctrica y cuáles serían las inversiones iniciales para la implementación del sistema por absorción?.

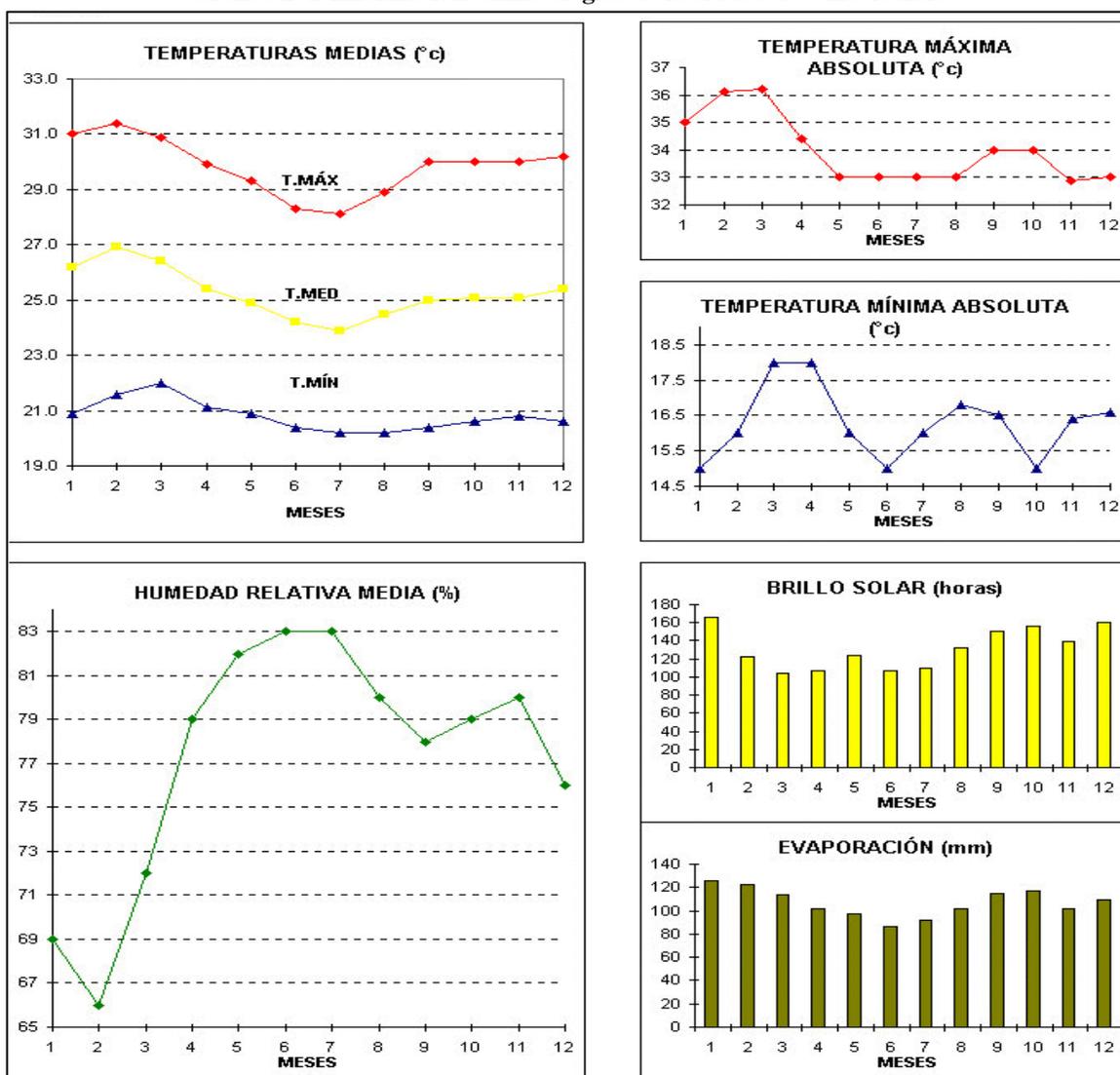
En la década de los 90's la masificación del uso del gas natural, desestimuló el uso de energía solar. Hoy día con la crisis energética que vive Colombia, la implementación de un sistema de enfriamiento por absorción asistido por energía solar y gas natural, se convierte en una alternativa viable; principalmente cuando el gobierno nacional ha expedido una ley¹, la cual establece el marco legal y los instrumentos necesarios para la promoción y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, fomentando la inversión, la investigación, el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía y la eficiencia energética.

¹ Esta ley regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema Energético Nacional

2.1 Análisis Climatológico

El lugar de la investigación se ubicó en la ciudad de Villavicencio (Meta) al oriente de Colombia. Su clima de es cálido - húmedo. La temporada seca se extiende de diciembre a marzo con más de cinco horas diarias de sol. De abril a noviembre se presenta lluvias con cuatro horas diarias de sol. La temperatura promedio es de 25.5 °C, al medio día la temperatura máxima media oscila entre 28 y 32°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 20 y 22 °C. La radiación solar es 4,7 kWh/m² día, según IDEAM (instituto de hidrología y meteorología y estudios ambientales de Colombia) ver gráfica 2.1

Gráfica 2. 1: Información Climatológica de la ciudad de Villavicencio.



Fuente: Instituto de hidrología y meteorología y estudios ambientales de Colombia

En la tabla 2.1, se observan las condiciones climatológicas de la ciudad de Villavicencio.

Tabla 2. 1: Condiciones climatológicas de Villavicencio

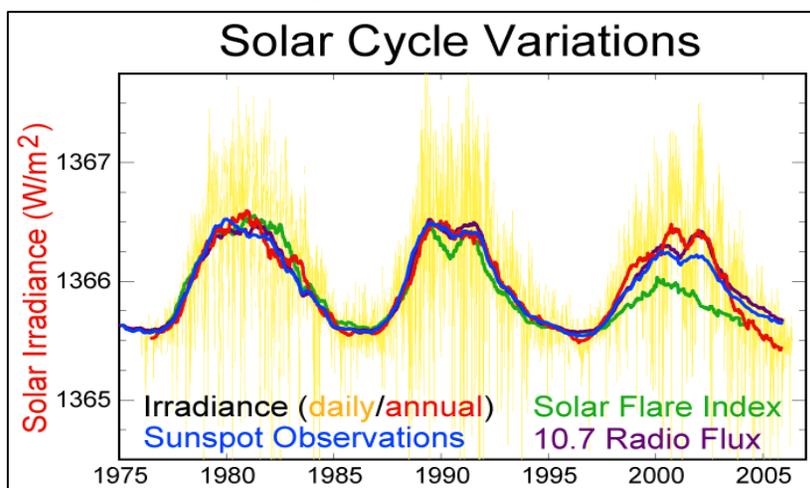
Descripción	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación	mm	63,9	116	226,7	525	606	527	434	420,7	420,7	463,8	427,8	156,2
Numero de días de lluvia	días	8	9	15	23	26	26	26	24	23	22	21	13
Temperatura media máxima	°C	31	31,4	30,9	29,9	29,3	28,3	28,1	28,9	30	30	30	30,2
Temperatura promedio	°C	26,2	26,9	26,4	25,4	24,9	24,2	23,9	24,5	25	25,1	25,1	25,4
Temperatura media mínima	°C	20,9	21,6	22	21,1	20,9	20,4	20,2	20,2	20,4	20,6	20,8	20,6
Temperatura mínima	°C	15	16	18	18	16	15	16	26,8	16,5	15	16,4	16,6
Temperatura máxima	°C	35	36,1	36,2	34,4	33	33	33	33	34	34	32,9	33
Brillo	hr	165,7	123	104	107	123	107	110	132,6	149,8	156,1	139,9	160,8
Humedad	%	69	66	72	79	82	83	83	80	78	79	80	76
Radiación solar global promedio multianual	kWh/m ² dia	4,9	5,1	4,9	4,9	4,5	4,5	4,9	4,5	4,9	4,5	4	4
Promedios anuales diarios del numero de horas sol	hr	5,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,9	5,5	4,5	4,5

Fuente: elaboración propia. Datos del IDEAM.

2.2 Energía solar

El Sol es una de las fuentes de energías renovables con mayor perspectiva de futuro, puesto que emite sobre la Tierra cuatro mil veces más energía de la que consume. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías la radiación del sol, con el fin de poder emplearla en la producción de calor y electricidad (Uriarte 2014). La gráfica 2.2, muestra la variación de la irradiación solar en el tiempo, esta variación depende de los ciclos solares, de la distancia de la tierra al sol, ya que la órbita terrestre es elíptica.

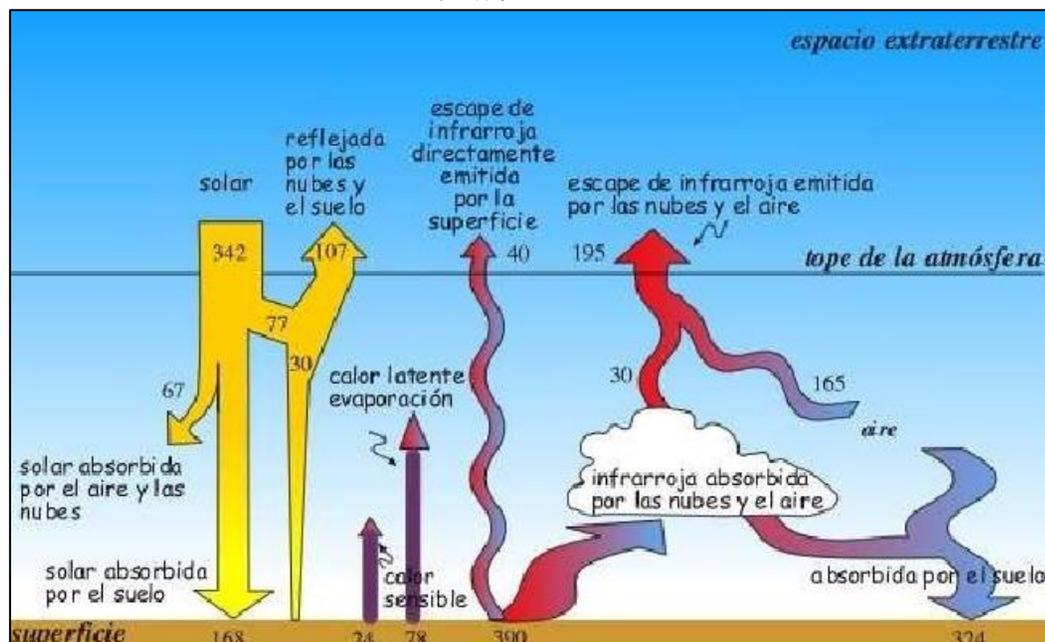
Gráfica 2. 2: Series de tiempo continuo de la irradiación solar total (TSI)



Fuente: RC Willson, earth_obs_ACRIM_composite 02/12/2014

2.2.1 Distribución de la radiación solar: Teniendo en cuenta que la temperatura media de la tierra se mantiene constante con el tiempo, la cantidad de energía que entra a la tierra debe ser igual a la cantidad de energía radiada hacia el espacio. En la parte superior de la atmósfera terrestre, sobre una superficie perpendicular a la radiación, se presenta un potencial promedio de $1353 \text{ W/m}^2 = 4872 \text{ KJ/h.m}^2$ magnitud que se conoce como constante solar o flujo de la radiación solar que recibe la tierra por m^2 , el cual está distribuido por toda la cobertura de la atmósfera terrestre en un promedio de 342 W/m^2 ; el porcentaje de radiación que se refleja al universo es del 31,3 %, por lo que se pierde hacia el espacio $0,313 \times 342 = 107 \text{ W/m}^2$, entonces $342 \text{ W/m}^2 - 107 \text{ W/m}^2 = 235 \text{ W/m}^2$, que es el valor aproximado del flujo medio de energía del sol absorbido por la tierra, que se distribuye en 67 W/m^2 dispersados por las nubes y gases atmosféricos y 168 W/m^2 absorbidos por la superficie terrestre. (Uriarte A 2014). La gráfica 2.3, muestra los flujos verticales medios de la energía en el sistema.

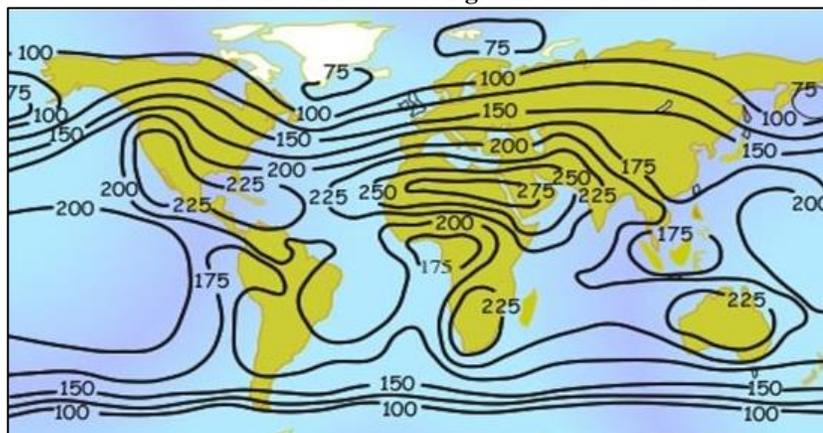
Gráfica 2. 3: Flujos verticales de energía entre el espacio, la atmosfera y la superficie terrestre en W / m^2



Fuente: Historia del clima de la tierra (Uriarte 2003)

2.2.2 Radiación Solar en Colombia: En la gráfica 2.4, se evidencia que Colombia es un país privilegiado con gran cantidad de radiación solar distribuida en un rango de 225W/m² en la costa norte y 175W/m² en la zona sur del país.

Gráfica 2. 4: Distribución global de la radiación



Fuente: Historia del clima de la tierra (Uriarte 2003).

La radiación que recibe el territorio colombiano puede llegar a durar doce horas al día, similar a los altos índices registrados en África, (Balbis M, Tovar O, Balaguera M 2009). Por ser Colombia un territorio extenso, presenta varios rangos de radiaciones solares divididas por regiones, ver la tabla 2.2. El edificio seleccionado, se encuentra en la región de la Orinoquia, es decir, se cuenta con una radiación promedio multianual de 1643 kWh /m²año, es decir, 4.5 kWh/m² día.

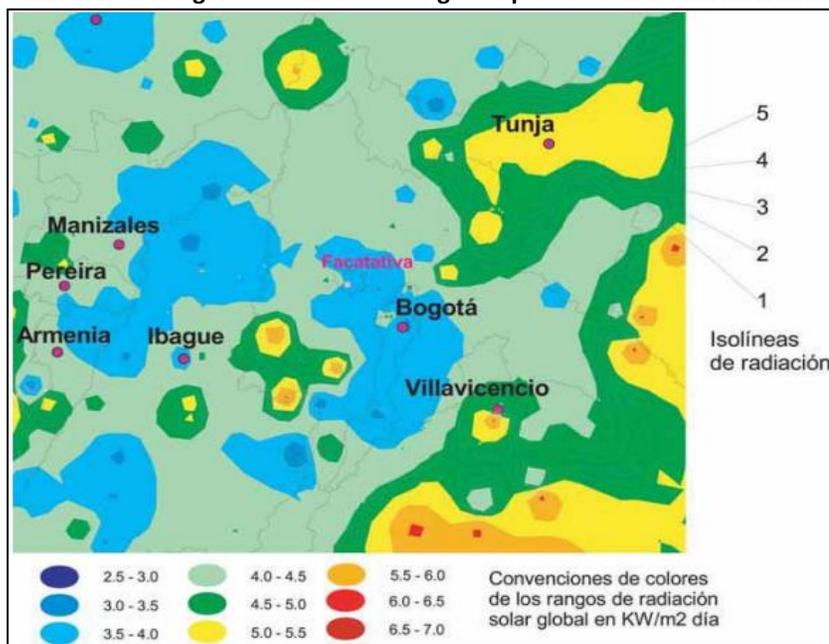
Tabla 2. 2: Disponibilidad promedio anual de radiación solar en Colombia por regiones

Región	Radiación solar (kWh/m ² año)
Guajira	2190
Costa atlantica	1825
Orinoquia	1643
Amazonia	1551
Andina	1643
Costa Pacifica	1278

Fuente: fuente IDEAM

La gráfica 2.5 muestra rangos de radiación solar global.

Gráfica 2. 5: Rangos de radiación solar global para la ciudad de Villavicencio



Fuente: IDEAM

2.2.3 Energía solar disponible en la ciudad de Villavicencio: La radiación solar global promedio multianual en kWh/m² día, se determina mediante mapas de radiación solar, publicados por el IDEAM. Ver tabla 2.3

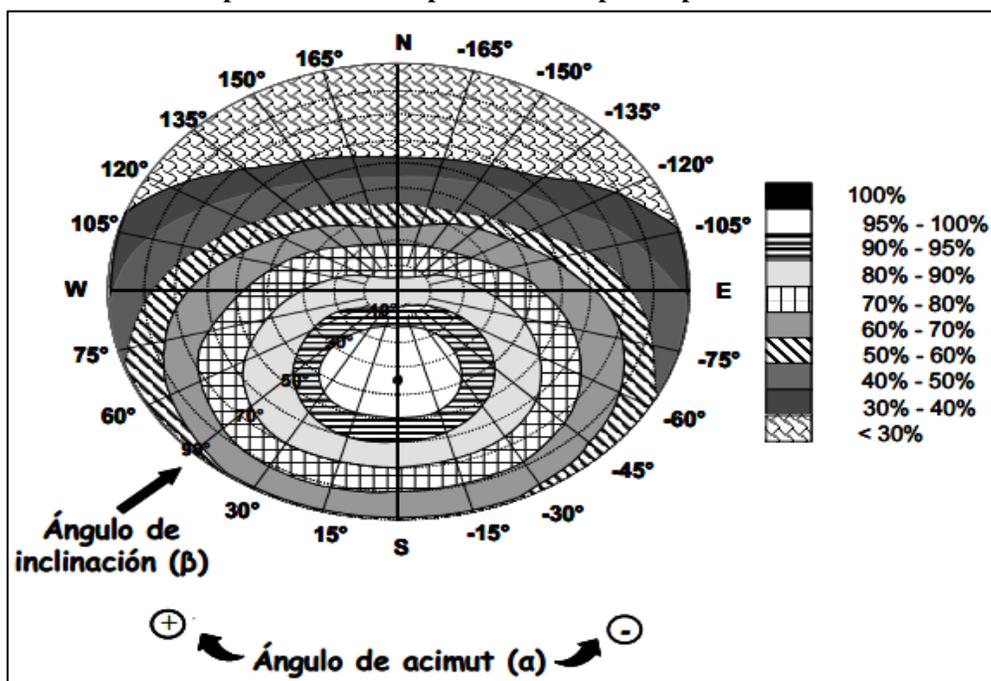
Tabla 2. 3: Radiación solar mensual por metro cuadrado de superficie horizontal día en Villavicencio

mes	Radiación solar global promedio multianual kWh/m ² día
Enero	4,90
Febrero	5,10
Marzo	4,90
Abril	4,90
Mayo	4,50
Junio	4,50
Julio	4,90
Agosto	4,50
Septiembre	4,90
Octubre	4,50
Noviembre	4,00
Diciembre	4,00

Fuente: elaboración propia

La radiación solar efectiva por metro cuadrado, se calcula teniendo en cuenta el factor por inclinación de captadores. Ver gráfica 2.6

Gráfica 2. 6: Abaco para el cálculo de pérdidas del captador por orientación e inclinación.



Fuente: CTE DB HE 4

2.3 Producción de energía solar en Latinoamérica

Según Bloomberg new Energy Finance en el año 2014, la generación de energía solar en Latinoamérica estuvo liderada por Brasil y Chile, países que han invertido millones de dólares en la producción y además cuentan con gran cantidad de leyes que ha impulsado los programas de uso eficiente de la energía. Es decir, las leyes creadas por el estado han empoderado los programas nacionales de energía dando como resultado uso eficiente de la energía.

Colombia, cuenta con poca legislación que contribuya al desarrollo e implementación de la energía solar; en el año 2001, se crea la ley 697 la cual toca el tema de uso racional de la energía, pero a pequeña escala. En el año 2008 se crea la ley 1215, la cual exime de contribuciones hasta el 20 % y para el año 2014 se expide la ley 1715 la cual integra las energías renovables al sistema energético nacional incentivando el uso de energías no convencionales, entregando exenciones por el uso de energías renovables.

2.4 Energía eléctrica en Colombia

La energía eléctrica está regulada en Colombia por la ley 143 de 1994, la cual establece criterios para la prestación de servicios de electricidad, crea algunos entes, entre ellos, la comisión de regulación de energía y gas, la superintendencia de servicios públicos domiciliarios y la unidad de planeación minero energética; encargados de la dirección, planeación, regulación y supervisión de cada una de las actividades que conforman la cadena productiva.

La prestación del servicio de energía, está compuesta por actividades de generación, transporte, distribución y comercialización. Actualmente la generación de energía eléctrica en Colombia se realiza principalmente por medio de generación hidráulica como se aprecia en la tabla 2.4. Lo que hace que la generación dependa en gran medida de los cambios climáticos que se presenten durante el año.

Tabla 2. 4: Fuentes de generación de energía eléctrica sistema interconectado en GWh

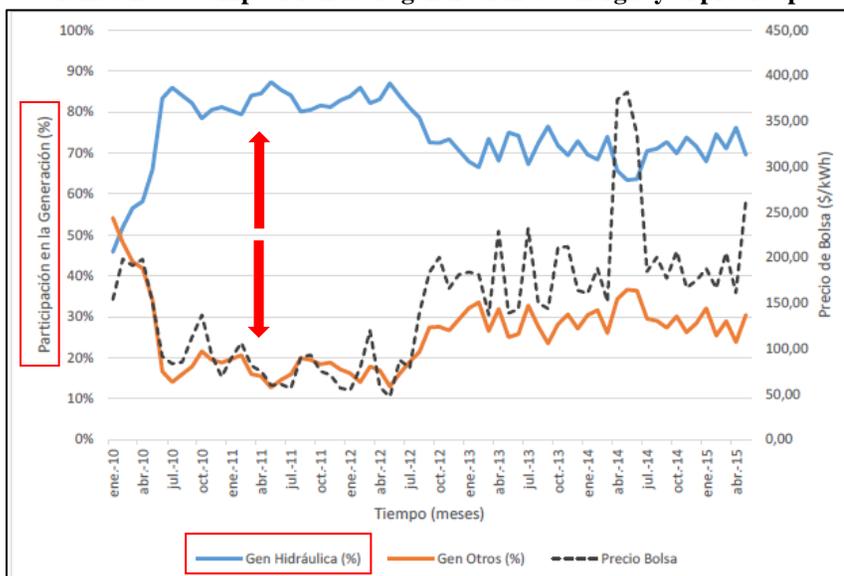
AÑO	Hidráulica	Gas	Carbón	Viento	Bagazo	Combustible	Mezcla gas	ACPM	JET-A1	TOTAL
2010	40.557,46	12.365,76	3.477,44	38,57	204,99	241,08				56.885,30
2011	48.427,48	8.043,17	1.586,59	41,27	311,36	206,33				58.616,20
2012	47.581,71	9.231,61	2.478,51	54,85	343,86	226,44		71,88		59.988,86
2013	44.362,79	8.820,93	5.764,56	57,62	348,99	179,82	161,62	1.022,52	24,74	60.743,59
2014	44.741,96	7.839,23	5.935,94	70,23	441,71	283,59	2.046,51	2.924,96	43,74	64.327,87

Fuente: Boletín estadístico de minas y energía 2010 - 2015.

2.4.1 Variación y proyección de tarifas de energía eléctrica en Colombia: El comportamiento y variación del precio de la energía eléctrica, está asociado a la situación de las precipitaciones en el país y a la composición de la generación. En la gráfica 2.7 se evidencia que el incremento de generación energética, está directamente relacionado al aumento de lluvias, las cuales hacen subir el nivel de los embalses disminuyendo el precio de la energía, mientras que en temporada seca sucede lo contrario; así mismo se observa que el precio spot en el año 2010 se encuentra entre 150 -200 pesos por kWh, a mitad del año 2011 el precio se sitúa por debajo de los 100 pesos kWh, desde finales de 2012 el precio muestra una tendencia ascendente y alcanza su máximo valor en junio de 2014; desde

entonces y hasta abril de 2015, desciende para situarse entre 150 y 200 pesos por KWh. (Vélez L 2015).

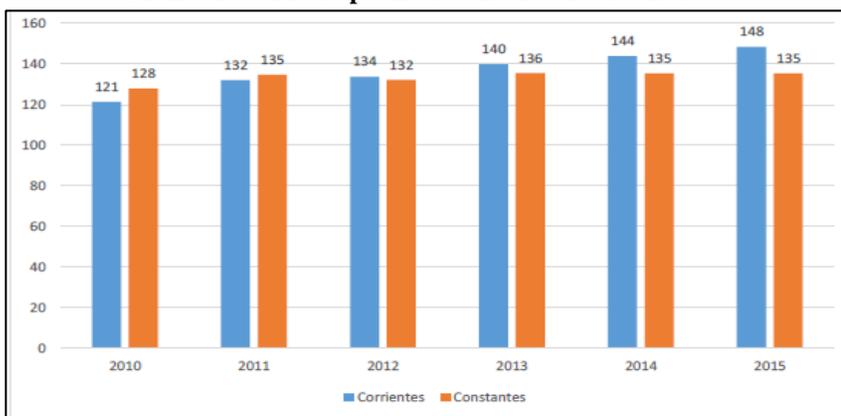
Gráfica 2. 7: Composición de la generación de energía y el precio spot



Fuente: Ente encargado de la operación del mercado eléctrico mayorista en Colombia

La gráfica 2.8 muestra la evolución del precio promedio anual de la energía transada en contratos de largo plazo entre 2010 y 2015, en pesos corrientes y pesos constantes. En pesos corrientes se observa un incremento de 9% entre 2010 y 2011; posteriormente el precio medio aumenta en línea con la inflación del IPC, lo cual se traduce en la relativa estabilidad en pesos constantes a partir del 2011, sin embargo, se observa un crecimiento en el precio y una tendencia al alza en los próximos años.

Gráfica 2. 8: Precio promedio anual de la electricidad.

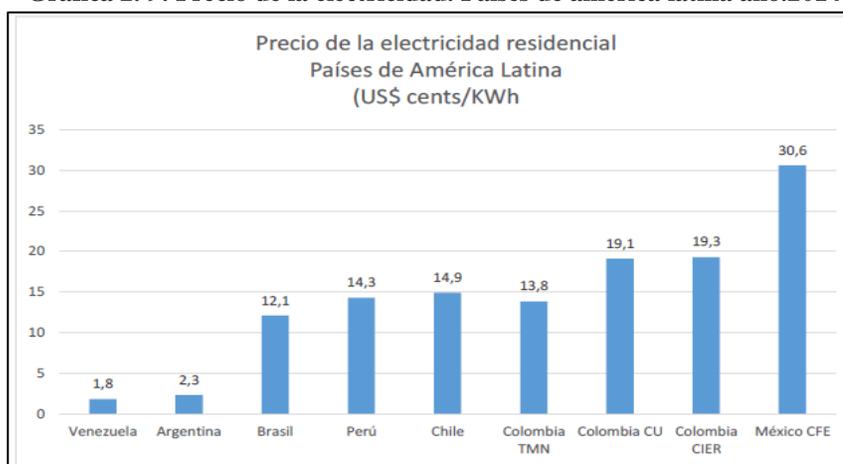


Fuente: Ente encargado de la operación del mercado eléctrico mayorista en Colombia

Según una publicación del periódico El Tiempo, en el año 2015, el gobierno colombiano tuvo que poner más de un billón de pesos para cubrir pérdidas de las plantas térmicas, ya que estaban enfrentando problemas financieros por aumento en sus costos, debido al fenómeno del niño, que cada vez se presenta con mayor intensidad y duración; situación que apagó dos centrales y elevó el riesgo de racionamiento, por lo tanto, aumentaron las tarifas de energía eléctrica.

La tarifa media de electricidad residencial en Colombia, es superior a la de Brasil e inferior a la de Perú, Chile y México. Estadísticamente es más elevada que en Venezuela y Argentina, donde se opta por la gratuidad del servicio. El precio de la electricidad industrial en 2014 es más competitivo que en 2012, comparado con Brasil, Perú y Chile. (Vélez L 2015). Ver gráfica 2.9.

Gráfica 2. 9: Precio de la electricidad. Países de américa latina año.2014



Fuente: Ente encargado de la operación del mercado eléctrico mayorista en Colombia

En el departamento del Meta- Colombia, las tarifas oficiales de energía eléctrica del mercado regulado, (ver anexo C) son establecidas según el nivel de tensión, es decir, si el cliente es o no es propietario del transformador. La tabla 2.5 reúne tarifas de los últimos cinco años con promedios mensuales por año para el departamento del Meta Colombia.

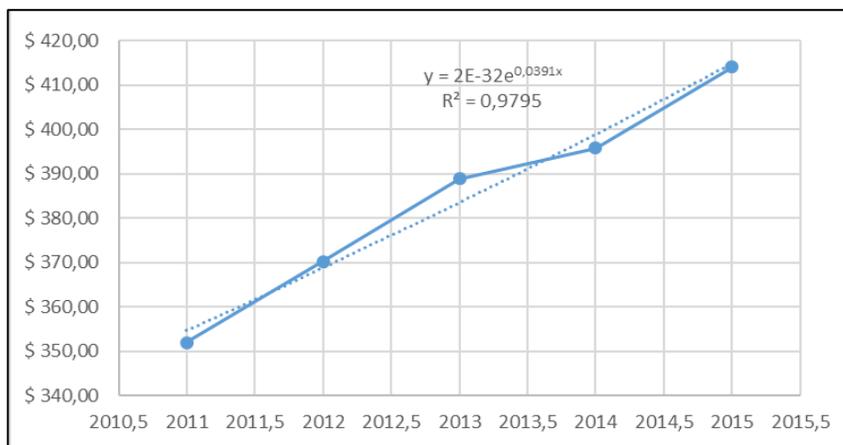
Se analizó la información y se evidenció la tendencia reflejada por la ecuación, presentándose un incremento en tarifas anuales del 4,1 %. Ver gráfica 2.10.

Tabla 2. 5 . Tarifas de energía eléctrica entidades oficiales 2011-2015. Departamento del Meta Colombia

TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA					
MES	2011	2012	2013	2014	2015
ENERO	\$ 325,73	\$ 375,16	\$ 384,86	\$ 387,89	\$ 414,04
FEBRERO	\$ 342,82	\$ 386,23	\$ 368,46	\$ 373,63	\$ 398,21
MARZO	\$ 345,18	\$ 367,29	\$ 390,01	\$ 386,02	\$ 393,44
ABRIL	\$ 340,11	\$ 370,90	\$ 394,41	\$ 388,89	\$ 413,79
MAYO	\$ 355,72	\$ 377,36	\$ 389,97	\$ 401,55	\$ 405,49
JUNIO	\$ 340,70	\$ 343,23	\$ 360,80	\$ 405,55	\$ 410,37
JULIO	\$ 361,29	\$ 360,51	\$ 376,38	\$ 407,80	\$ 402,50
AGOSTO	\$ 351,40	\$ 360,90	\$ 423,60	\$ 406,79	\$ 408,89
SEPTIEMBRE	\$ 355,04	\$ 360,47	\$ 390,59	\$ 385,08	\$ 420,56
OCTUBRE	\$ 360,58	\$ 371,96	\$ 371,09	\$ 401,31	\$ 430,30
NOVIEMBRE	\$ 372,28	\$ 383,22	\$ 403,94	\$ 411,16	\$ 441,39
DICIEMBRE	\$ 373,44	\$ 385,07	\$ 411,71	\$ 393,44	\$ 429,61
PROMEDIOS MENSUALES kWh	\$ 352,02	\$ 370,19	\$ 388,82	\$ 395,76	\$ 414,05

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2. 10: Tendencia incremento anual energía eléctrica. Departamento Meta Colombia



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 2.10 se observa que las tarifas presentan una tendencia exponencial y seguirán incrementándose en los próximos años.

2.4.2 Consumo actual de energía eléctrica en edificio público, Alcaldía de Villavicencio:

Mediante la certificación expedida por la empresa electrificadora del departamento del

Meta-Colombia, (ver anexo D) del consumo del año 2011 al año 2015, se determinaron consumos anuales de energía eléctrica por el edificio público. Ver tabla 2.6.

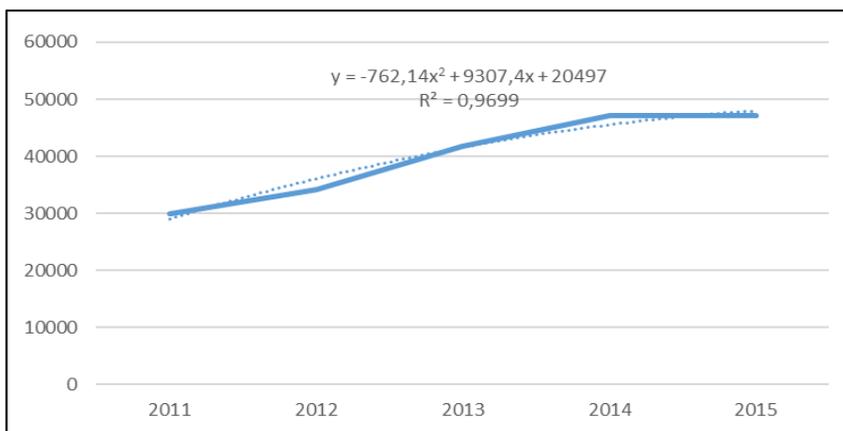
Tabla 2. 6: Información consumos mensuales energía eléctrica, edificio Alcaldía Villavicencio

	2011	2012	2013	2014	2015
MES	CONSUMOS MENSUALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA (kWh). EDIFICIO ALCALDÍA DE VILLAVICENCIO				
ENERO		38220	43290	46410	46800
FEBRERO	30810	32760	46800	57720	49530
MARZO	31980	30420	44850	54600	55692
ABRIL	34320	31980	41340	54990	56090
MAYO	26520	27690	40170	39000	39780
JUNIO	27690	30420	38220	48360	49327
JULIO	28080	29250	36270	35880	36598
AGOSTO	26520	29250	35100	47580	48532
SEPTIEMBRE	31980	28470	37440	36660	37393
OCTUBRE	31980	39780	44850	43680	44554
NOVIEMBRE	28860	43290	49140	55380	56488
DICIEMBRE	30420	49140	44070	44460	45349
TOTALES AÑO	329160	410670	501540	564720	566132
PROMEDIOS MENSUALES	29924	34222,5	41795	47060	47178

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 2.6, en los años 2014 y 2015 no se presentó un incremento notable en el consumo. En los meses febrero y septiembre, se presentaron mayores y menores consumos respectivamente. Respecto al año 2014 se analizó la información y se evidenció la tendencia reflejada por la ecuación, presentándose un incremento en tarifas anuales del 3 %. Ver gráfica 2.11, también se determinó que el consumo de energía eléctrica para el año 2015, se estabilizó y el comportamiento obedece a una tendencia polinómica.

Gráfica 2. 11: Tendencia consumos anuales energía eléctrica

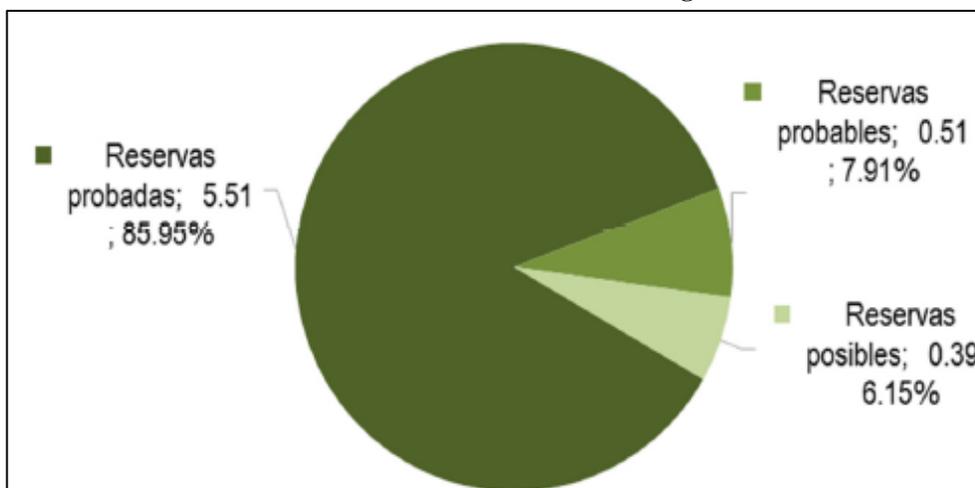


Fuente: elaboración propia.

2.5 Gas natural en Colombia

Las reservas de gas natural hasta el 31 de diciembre de 2015, son de 6.41 terapias cúbicas, de las cuales el 86% son reservas probadas equivalentes a 5.51 Terapias cúbicas, el 8% son reservas probables equivalentes a 0.51 Terapias cúbicas y el 6% son reservas posibles equivalentes a 0.39 Terapias cúbicas. El 50% de las reservas probadas se encuentran ubicadas en los llanos Orientales, seguidas por la Guajira que representan el 31%, y el resto están localizadas en el Valle Inferior del Magdalena, Valle Medio, Valle Superior y Catatumbo con un 19% (unidad de planeación minero energética. 2015). La gráfica 2.12 muestra disponibilidad de las reservas totales de Colombia al 31 de diciembre de 2013.

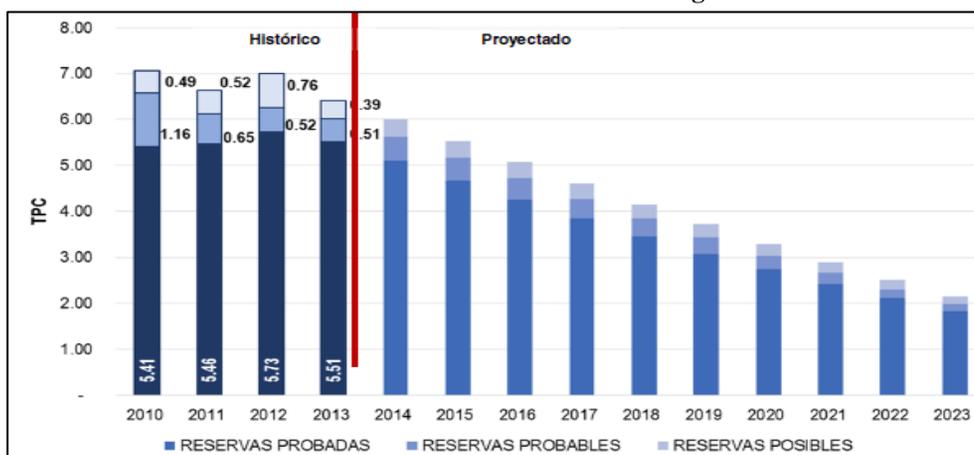
Gráfica 2. 12: Reservas colombianas de gas natural



Fuente: ministerio de minas y energía. 2014

La gráfica 2.13 refleja las reservas de gas natural, sin considerar nuevos descubrimientos. El análisis fue realizado a partir de curvas de producción esperadas, presentándose disminución importante en las reservas probadas. Los resultados indican que en los últimos años las reservas totales han disminuido (unidad de planeación minero energética. 2015). Es de resaltar que el ministerio de minas y energía, mediante la resolución 31132 de marzo de 2016, publica la declaración de la producción de gas natural para el periodo 2016 -2025.

Gráfica 2. 13: Evolución de las reservas de gas natural

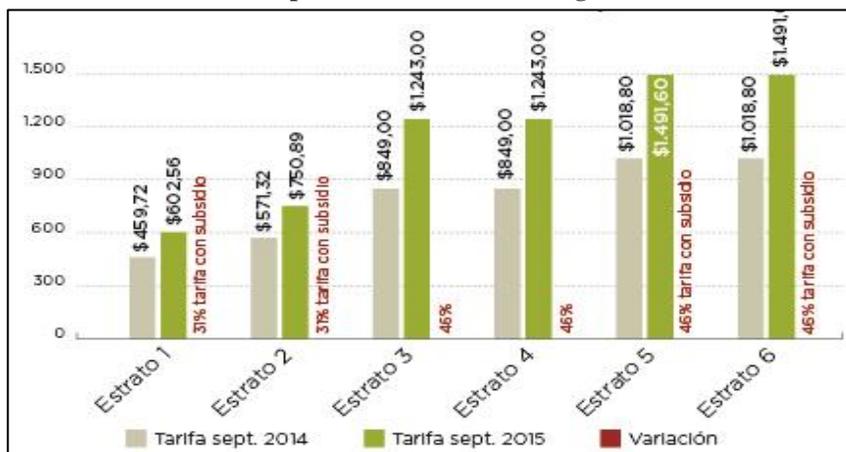


Fuente: agencia nacional de hidrocarburos. 2014

2.5.1 Variación y proyección de tarifas de energía eléctrica en Colombia: En Colombia la regulación de precios de gas natural, es definida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas, entidad a quien se le delegó la función a través de la Ley de Servicios Públicos 142 de 1994; donde el régimen tarifario estará orientado por los criterios de eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia. Las principales causas de las variaciones de las tarifas pueden darse por factores, como: el costo del gas, la tasa representativa del mercado, las condiciones económicas de los contratos de compra y transporte de gas, el origen y la trayectoria del gas y la variación de los indicadores económicos IPC e IPP (comisión de regulación de energía y gas 2014).

Para los años 2014 y 2015, la gráfica 2.14 muestra evolución de tarifas del gas natural en Colombia. Se concluyó que los usuarios han tenido que asumir aumentos en la tarifa final desde el 31% hasta el 46%, según variación porcentual.

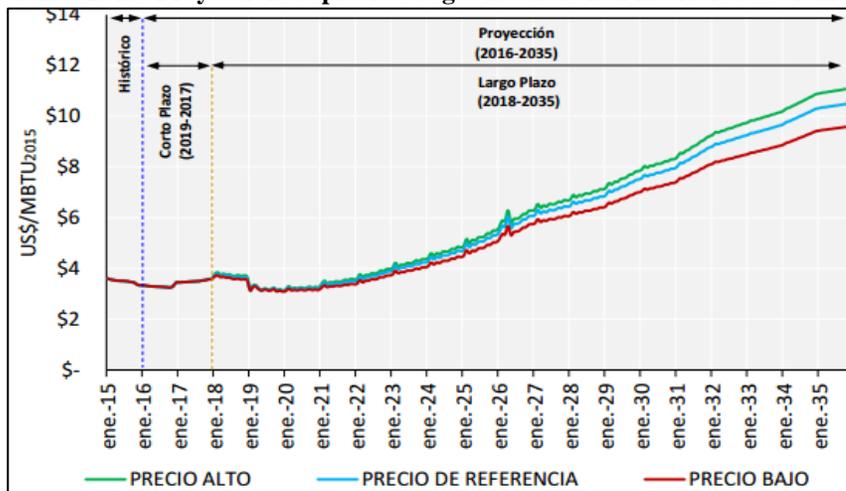
Gráfica 2. 14: Evolución por estrato de tarifas del gas natural en Colombia.



Fuente: agencia nacional de hidrocarburos. 2016

La proyección de tarifas del gas natural, requiere de la definición de parámetros que simulen comportamientos futuros. La unidad de planeación minero energética de Colombia, realizó investigación de precios planteando escenario alto, medio y bajo; representado las posibles trayectorias futuras, ante la incertidumbre de los mercados internacionales y las negociaciones bilaterales; para el interior del país se obtuvieron los siguientes resultados, ver gráfica 2.15.

Gráfica 2. 15: Proyección de precios de gas natural en el interior de Colombia



Fuente Unidad de planeación minero energética

De la gráfica anterior, se concluye que los precios, tienen un incremento en el horizonte de planeación, de forma gradual. Entre el año 2017 y 2020 se provisiona una estabilidad de los precios entre los US\$ 3,5/MBTU y US\$ 4/MBTU, los cuales no afectarán los precios nacionales debido a que los niveles de importación son bajos, sin embargo, a partir del año 2021, se observa que los precios aumentan paulatinamente en el tiempo.

2.6 Descripción del Edificio público, alcaldía de Villavicencio

El concepto de edificio público está enmarcado en la propiedad del estado, es un espacio de uso público que comprende una mezcla de posibilidades reflejadas en diferentes grados de accesibilidad, vinculadas por una parte a la concesión libre o parcial, el uso o tránsito que un privado otorga a los individuos, o bien, al uso de una propiedad pública nacional (Schlack 2007). Los edificios oficiales permiten acceso al público en general, se restringe el ingreso a las oficinas dependiendo de la dinámica de los funcionarios. En general el edificio público de la alcaldía de Villavicencio, es el centro de operaciones de la administración municipal, en sus oficinas funcionan las direcciones y las secretarías de la ciudad.

Colombia no cuenta con ninguna ley que evalúe el desempeño energético de los edificios públicos, no existe ninguna norma que se refiera a construcciones verdes en Colombia (Álvarez C. Serna, F. 2012), obligando a indagar normas internacionales como son BREEAM, LEED, Energy Star, entre otras, las cuales no están contextualizadas con el entorno, y su aplicación representa costos adicionales por su implementación y acreditación.

Sin embargo, el gobierno colombiano junto a las administraciones oficiales debe establecer objetivos de eficiencia energética para todos los edificios públicos construidos. Tales objetivos deben ser fijados como metas escalonadas y ser alcanzados en períodos fijos de tiempo, con horizontes de hasta 10 años tras la entrada en vigencia de la ley 1715 de 2014. Cada entidad debe destinar recursos del presupuesto para el desarrollo e implementación de medidas de gestión eficiente de la energía. Se deben adoptar planes de gestión eficientes, que tendrán por objeto la consecución de ahorro energético, así como el uso de fuentes no convencionales de energía para los edificios públicos.

En la figura 2.1 se aprecia el edificio público, el cual está localizado en la Ciudad de Villavicencio-Colombia. Latitud 4,15°, longitud -73,63°, Altitud 468 msnm, zona caracterizada por su clima cálido húmedo. Ubicado en la esquina de la calle 40 con carrera 33A. Construido en concreto reforzado, mediante sistema aporticado, con fachada a la calle y carrera, con ventanales a lo ancho, cuenta con diez pisos en altura, y en cada piso seis oficinas; ver descripción detallada del edificio e inventario físico de aires acondicionados, anexo A, planos anexo B.



Figura 2. 1 Ubicación edificio público alcaldía de la ciudad de Villavicencio

2.7 Sistema de enfriamiento en uso para refrigeración de oficinas. Edificio público Alcaldía Villavicencio

Colombia no cuenta con reglamentación técnica que regule la ubicación de equipos de acondicionamiento de aire, por tal razón se presenta irregularidad en los conceptos de montaje. Los aires acondicionados del edificio de la alcaldía de Villavicencio, se encuentran en la fachada principal del edificio, ocasionando contaminación visual, auditiva y deterioró urbanístico.

El sistema de enfriamiento actual está compuesto por aires acondicionados tipo Split. (ver figura 2.2). La unidad que contiene el compresor se ubica en el exterior del edificio y comunica con la unidad interior mediante tubos de pequeños diámetros.



Figura 2. 2: Ubicación de aires acondicionados en el exterior.

2.8 Evaluación técnica sistema de enfriamiento por absorción edificio público alcaldía Villavicencio.

La evaluación técnica consiste en dar un valor, tomando como base información empírica que se recoge de forma sistemática y rigurosa; los medios son los métodos y el fin es aplicar medidas (Portillo M 2005). La evaluación técnica del sistema de enfriamiento por absorción tiene como objetivo garantizar el rigor técnico de cada unidad que comprende el sistema de enfriamiento, garantizando el cumplimiento de normas y especificaciones. Cada componente debe ser diseñado teniendo en cuenta parámetros, variables, normas técnicas y criterios que garanticen un proyecto confiable y seguro.

El sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, consiste en la transformación de la energía a través de un ciclo de absorción. Mediante el uso de energía solar y gas natural el agua es calentada, y es transportada por tuberías a la máquina de absorción, la cual transforma el agua caliente en agua fría; mediante un circuito de tuberías tipo cerrado, se distribuye el agua fría a las unidades fancoil ubicados en cada oficina del edificio. Los fancoils cuentan con batería de intercambio térmico (tubos de cobre y aletas de aluminio) y un ventilador que fuerza el aire a pasar por donde fluye agua fría, bajando la temperatura.

La mayoría de los sistemas de enfriamiento por absorción asistido con energía solar, son enfriadores de absorción bromuro de litio – agua de simple efecto, como es el caso de Malasia, país ubicado al

suroeste asiático, donde la tecnología de refrigeración de absorción solar es ampliamente utilizada, (Mekhilefa, Mustafa, Saidurb, Omara, Younisc 2011).

La figura 2.3 muestra un esquema básico de refrigeración solar en el ciclo de absorción, apoyado con una fuente de calor producida por gas natural.

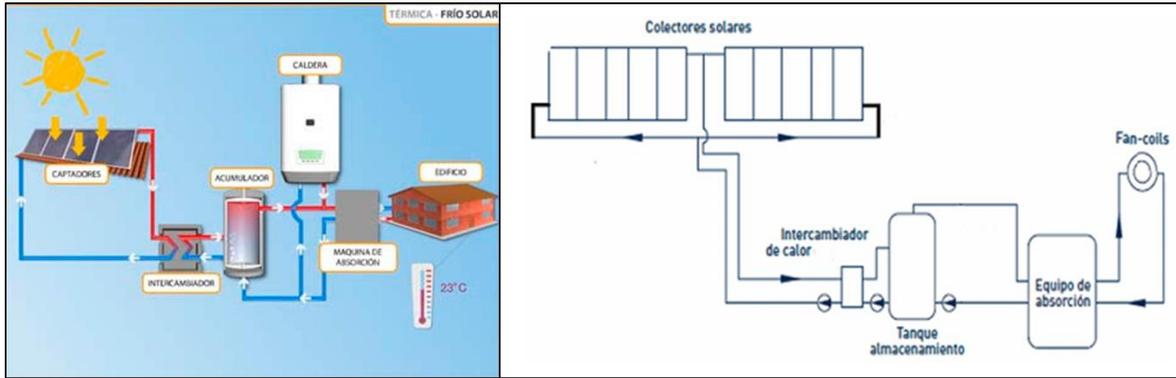


Figura 2. 3: Esquema básico de funcionamiento del sistema de refrigeración con máquina de absorción

El sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, está compuesto por:

- Sistema de captación solar
- Sistema hidráulico primario y secundario.
- Sistema de intercambio
- Sistema de acumulación
- Máquina de absorción
- Sistema de disipación
- Sistema de energía auxiliar
- Sistema de regulación y control.
- Circuito hidráulico para transporte de agua fría a fancoils

2.8.1 Sistema de captación solar: El elemento fundamental del sistema de captación, es el captador solar, elemento encargado de obtener la energía solar. El campo de captadores solares proporciona agua caliente como fuente de energía a la máquina de absorción

(Carrera y col. 2011). Los captadores solares se catalogan de baja, media y alta temperatura. Los captadores de baja y media temperatura son así mismos captadores de placa plana.

- **Clasificación de captadores solares:** Existen en el mercado cuatro tipos de captadores solares térmicos:

Captadores planos: Son diseñados para aplicaciones que requieran temperaturas bajas hasta 80 grados centígrados. Se encuentran de dos tipos: sin cubierta (para calentar agua de piscinas) y con cubierta o vidriados (uso en general). La cubierta transparente permite el paso de la radiación solar y también aísla el absorbedor, con el fin de impedir el contacto entre éste y el aire frío del exterior (Akira 2012).

Captadores planos de concentración: Son tubos de cristal, dispuestos paralelamente entre sí, por donde circula agua; están ubicados sobre un reflector de forma cilíndrica, el cual concentra los rayos solares sobre el tubo (Paredes C 2012).

Captadores cilindro- parabólicos: Es un captador en forma de cilindro parabólico, en el foco tiene un conducto por donde pasa el fluido calo transportador y posee un mecanismo de seguimiento solar en un eje. Su uso está destinado a procesos que necesiten temperaturas mayores a 400 °C. (Paredes C 2012).

Captadores de tubos de vacío: Están compuestos por un número de tubos de vacío (15 a 30) conectados a un único sistema captador de calor, el tubo interior está recubierto con una capa selectiva que ofrece una excelente absorción de radiación solar y una baja emisión de radiación infrarroja. Ver figura 2.4.

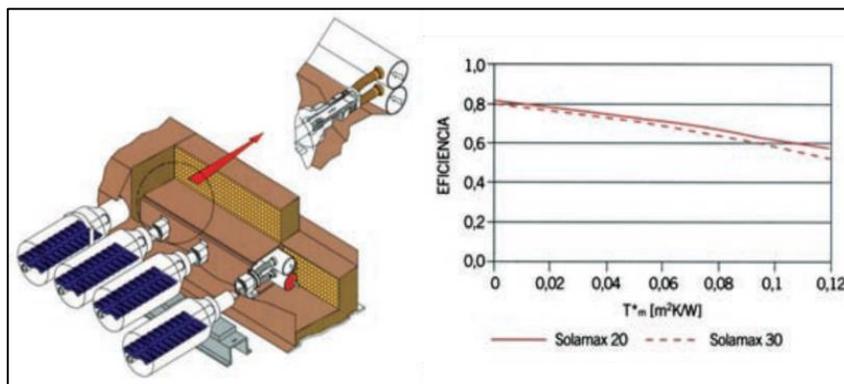


Figura 2. 4: Esquema captador solar térmico de tubo de vacío de flujo directo

A diferencia de los captadores de placa plana, la presencia de la cámara de vacío evita cualquier pérdida por conducción o convección, debido a esto, el sistema funciona incluso con temperatura ambiente baja, existen dos tipos: flujo directo y tubos de calor, el uso está definido básicamente en aplicaciones que requieran temperaturas medias (Zhai XQ, Qu M, Li Y, Wang RZ, 2011) es decir, procesos de enfriamiento solar por absorción.

- **Componentes de un captador tubo de vacío:** Estos captadores se diferencian de los captadores planos, por el mayor rendimiento y menores pérdidas. La figura 2.5 muestra las partes que componen el captador; el área del absorbedor, el área de apertura y el área total.

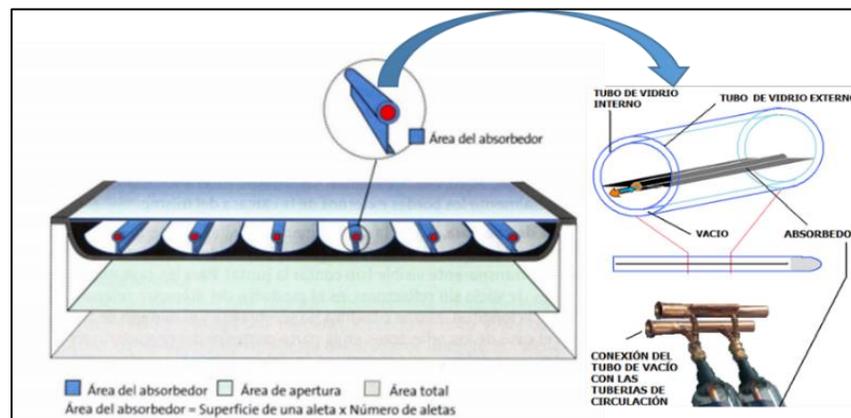


Figura 2. 5: Partes y áreas de un captador solar de tubos de vacío de flujo directo

Rendimiento térmico: El rendimiento térmico es la relación que existe entre la energía útil y la energía recibida en un instante de tiempo determinado, para captadores de tubos de vacío se aplica la ecuación de segundo grado:

$$n = n_0 - \alpha_1 * \frac{(tm - ta)}{I} - \alpha_2 \frac{(tm - ta)^2}{I}$$

Donde n_0 : es el rendimiento óptico

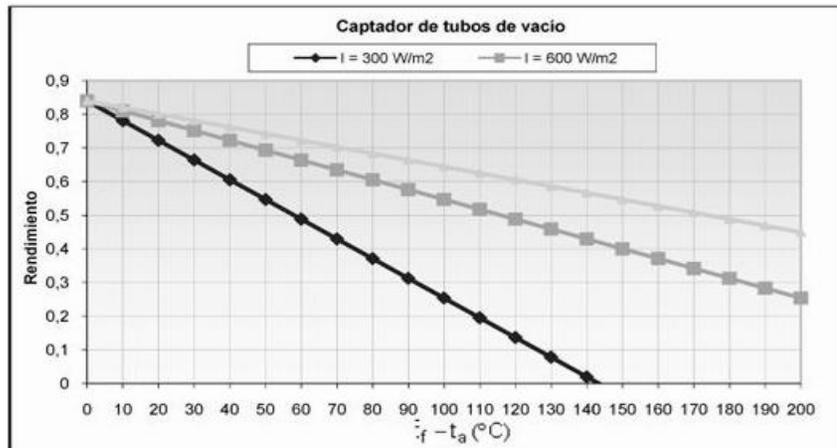
α_1 y α_2 : parámetros dados por fabricante que caracterizan pérdidas de calor en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

t_m : temperatura media fluido

t_a : temperatura ambiente.

La gráfica 2.16 representa la anterior ecuación.

Gráfica 2. 16: Rendimiento térmico de un captador solar de tubo de vacío



Fuente: climatización solar 2010.

Cobertura solar: Para el cálculo de la cobertura solar se usó el método de la carta F-, método desarrollado a principio de los años 70 del siglo pasado, el cual basa en la estandarización de resultados después de realizar simulaciones dinámicas mediante software especializado. La ecuación usada es la siguiente:

$$f = 1,029D1 - 0,065D2 - 0,245D1^2 + 0,0018D2^2 + 0,0215D1^3$$

Dónde: $D1$ Y $D2$ son coeficientes de fórmulas de la carta F, afectados por volumen acumulación y temperatura ambiente del agua.

Conexiones entre captadores solares: El conjunto de captadores se conecta de tres formas: conexión en paralelo, conexión en serie, conexión en serie y paralelo, siendo la última mencionada la más eficiente. Ver figura 2.6 y anexo B.

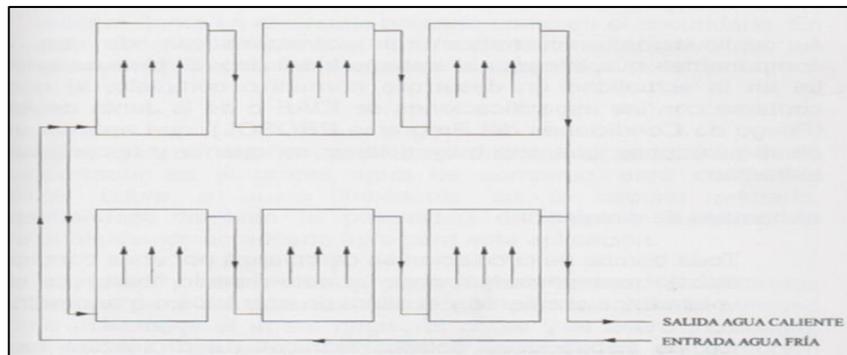


Figura 2. 6: Configuración captadores en serie y paralelo

Es fundamental que la distribución de caudales sea igual en cada captador, esto se logra mediante la técnica de retorno invertido, en donde se distribuye el caudal desde el punto más alejado a todos los captadores por su parte baja. El retorno se efectúa por la parte superior opuesta a la conexión de entrada, manteniendo un orden contrario al de circuito de ida, es decir, el captador que primero recibe el fluido es el último en recoger (Rufes P 2010). Ver figura 2.7.

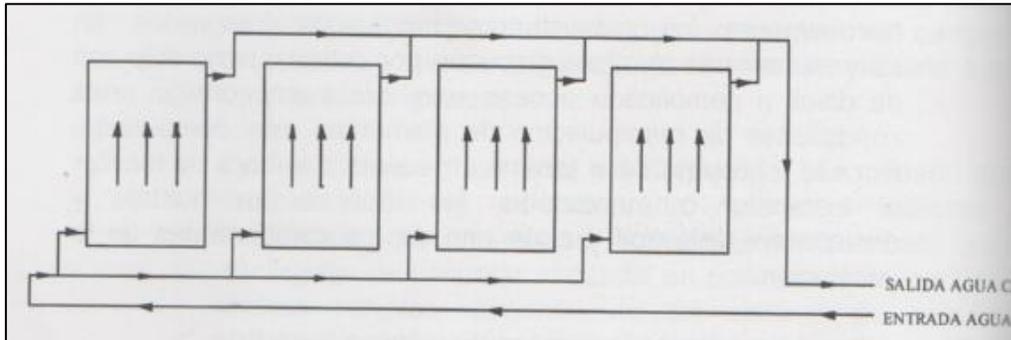


Figura 2. 7: Técnica retorno invertido

La idea del retorno invertido, es equilibrar las pérdidas de carga asegurando una distribución uniforme en la línea de captadores. Si no se usa esta configuración, los captadores que están más cerca tendrán menos pérdida de carga que los últimos; el caudal y el salto térmico serán diferentes (Rufes P 2010).

Distancia mínima entre captadores: La instalación de captadores solares en filas paralelas, causa sombras sobre la superficie de captación, la distancia mínima se calcula de tal manera, que no genere sombras a ninguna hora del día (Rufes P 2010). Ver figura 2.8

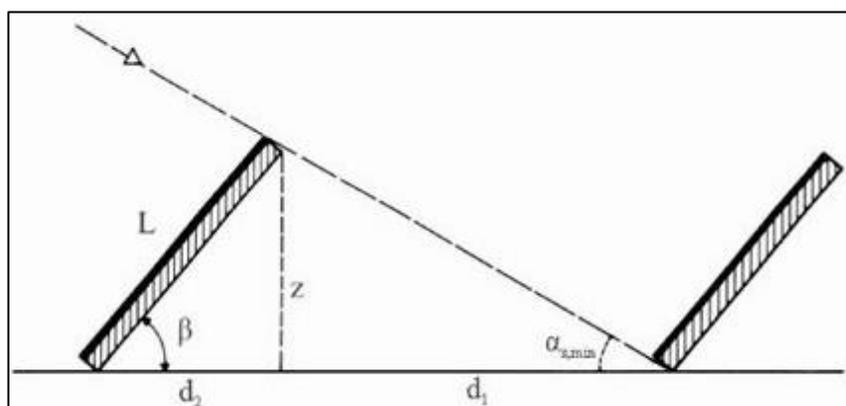


Figura 2. 8: Distancia mínima entre captadores

Donde L: longitud captador solar

Z: altura del captador con respecto a la inclinación

B: ángulo inclinación del captador

Amin: altura solar mínima.

La distancia solar mínima, se calcula mediante la ecuación planteada por CENSOLAR 1993a, Borja 2003, González y Quintero 2004, 2006. Diseñada para instalaciones que se usen durante todo el año.

$$\alpha. \min = 90^\circ - \text{latitud de emplazamiento} - 23,5^\circ$$

Teniendo en cuenta la figura 2.8, se plantea la siguiente ecuación para el cálculo de la distancia mínima:

$$d1 = \frac{z}{\text{tg}\alpha. \min} = \frac{L * \text{sen}\beta}{\text{tg}\alpha. \min}$$

2.8.2 Sistema hidráulico: Un buen diseño del sistema hidráulico garantiza eficiente funcionamiento del sistema solar térmico. Para obtener un buen diseño, es necesario tener en claro los siguientes conceptos:

- **Sistema de tuberías:** Para el diseño de las tuberías que transportan agua caliente y fría, se siguen los siguientes criterios de diseño: - Tramos de tuberías horizontal con pendiente mínima del 1%. -En tramos primarios se debe diseñar en tubería de cobre y en acero inoxidable. -En tramos secundarios se puede diseñar en tuberías plásticas siempre y cuando estén proyectadas para soportar temperaturas máximas. - Velocidades inferiores a 1,5 m/s - PH entre 5 y 9. -Pérdidas de energía unitaria menores a 40 mm columna de agua.

Se debe tener en cuenta norma NTC 1500² código nacional de fontanería, normas sobre energía solar térmica y fotovoltaica³, RETIE⁴ reglamento técnico de instalaciones eléctricas en Colombia.

² Con esta norma se diseñan las instalaciones hidráulicas y sanitarias en Colombia

³ Son normas para el diseño de energía solar térmica y fotovoltaica, con poco uso en Colombia

⁴ Toda instalación eléctrica construida en Colombia necesita del visto bueno para su conexión.

- **Calculo de tuberías y pérdidas de carga:** Para el cálculo de diámetros de tuberías y pérdidas de carga admisibles, se determina el caudal a circular por los captadores solares (43 y 72 l/h m²). Si los captadores están en paralelo, se deben sumar los caudales que circulan por cada uno de ellos y se calcula el caudal total mediante la ecuación:

$$Qp = Qcap * S capt * N$$

Dónde: Qp: caudal total (l/h)

Q capt: caudal del captador (l/hm²) = 70 l/h m²

S capt: superficie de un captador (m²) = 3,03 m²

N: número de captadores. Se definieron 59 unidades por ser el número que se acomodó al área de la cubierta del edificio.

Si los colectores están en serie se calcula el caudal total mediante la ecuación:

$$Qp = \frac{Vcapt * S capt}{N}$$

Para el caso de tuberías de cobre la pérdida de energía en el circuito se calcula mediante siguiente ecuación:

$$H = 378 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

H: perdida unitaria (mca)

Q: caudal (l/h)

D: diámetro interior de la tubería (mm)

Las pérdidas por fricción son más altas por ser el fluido agua glicolada (alta viscosidad), por tal razón se debe corregir mediante la siguiente ecuación:

$$F = \left(\frac{\mu mezcla^{1/4}}{\mu agua^{1/4}} \right)$$

F: es el factor corrector

μmezcla: 0,00180 kg / (m.s), viscosidad dinámica del agua glicolada a 50°C

μ agua: 0,000547 kg / (m.s), viscosidad dinámica del agua a 50°C

La pérdida de carga corregida debe ser < a 40 mm. c.a/m

la velocidad debe estar entre 0,4 m/s y 1 m/s

La velocidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V * A ; V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Q: caudal (m³/s)

V: velocidad (m/s)

D: diámetro (m)

Para el cálculo del diámetro de cada circuito, se usan características y pérdidas por accesorios para tubería de cobre tipo L. Ver anexo E.

- **Bombas de circulación:** Para hacer circular el fluido por los captadores, es necesario colocar una bomba de circulación que garantice energía necesaria para disminuir pérdidas por fricción y accesorios, permitiendo adecuada transferencia de calor. Para instalaciones de superficies mayores a 50 m² es conveniente instalar dos bombas en paralelo (Rufes P 2010).
- **Válvulas:** Son elementos diseñados para regular y controlar el paso de un fluido.
- **Accesorios:** Elementos necesarios para conexiones de instalaciones solares y controles de temperatura y presiones.
- **Vaso de expansión:** Para evitar daños y deterioro en las instalaciones solares, es necesario incorporar un vaso de expansión de tipo cerrado; el sistema se dimensiona de tal manera que el valor de la presión mínima en frío, en el punto más alto del circuito, no sea mayor a 1,5 psi, mientras que la presión máxima en caliente no supere la presión máxima de trabajo (Padilla J 2016). Los fabricantes facilitan tablas o graficas que determinan el volumen necesario del vaso de expansión. Si no se tiene las tablas se aplica la normativa alemana VDI

-6002 (solar heating for domestic wáter- general principles, systems technology and use in residential building), mediante la siguiente formula:

$$Vn = (Vexp + Vini * Vcap) * N$$

$$N = \frac{(Pc + 1)}{(Pc - Po)}$$

Dónde: Vn: volumen vaso de expansión.

Vexp: volumen de expansión, se asumen el 10% del volumen del circuito solar donde este montado el vaso.

Vini: volumen precarga inicial, es el ,65 de glicol o ,05 de agua por el volumen total de la instalación.

Vcol: volumen total del fluido.

Pc: presión máxima (presión de tarado de la válvula de seguridad).

Po: presión de precarga de vaso de expansión= 1,5*0,1 h.

H: altura estática la instalación.

2.8.3 Sistema de intercambio: Según la termodinámica, la energía que poseen las sustancias o cuerpos se acumula, es decir, lo que llamamos trasmisión de calor es el intercambio energético que se produce entre dos cuerpos que tienen temperaturas diferentes; y la ganancia o pérdida de calor será más rápida cuanto mayor sea la diferencia de temperatura.

- **Clasificación de intercambiadores de calor:** Los intercambiadores pueden ser compactos $\geq 700\text{m}^2/\text{m}^3$ y no compactos $< 700\text{m}^2/\text{m}^3$, (Galindo L 2010). Además, se clasifican en dos tipos, sistemas de intercambio externos o internos, para grandes y pequeñas instalaciones respectivamente.

- Sistemas de intercambio externo:** Se ubican fuera de los tanques de acumulación y son usados para caudales mayores a 1000 litros (Fernández S 2004). A estos intercambiadores se les denomina “intercambiadores de placa”, ya que su configuración es la de un circuito de placas metálicas con la forma de un radiador, ver figura 2.9.

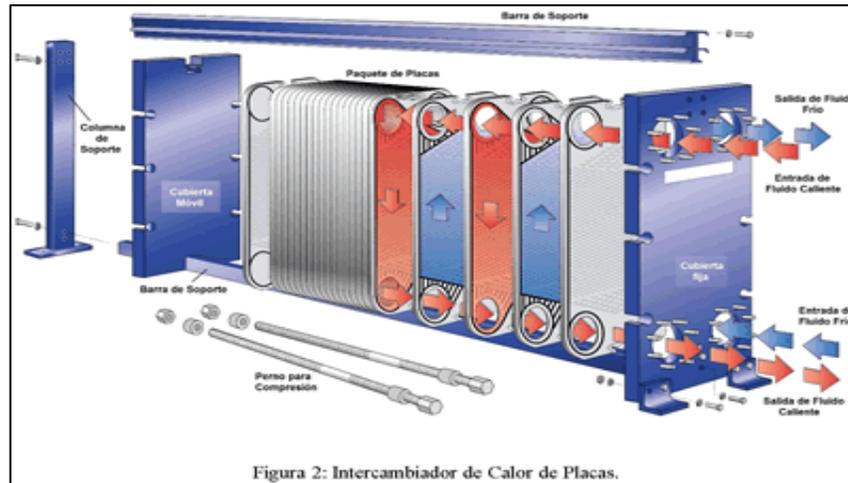


Figura 2. 9: Intercambiadores de placa

- Eficiencia de intercambiador:** La eficiencia de un intercambiador es la relación que existe entre la potencia térmica real demandada y la potencia térmica que en teoría podría intercambiarse, es decir la máxima potencia (Jaramillo O 2007). La potencia se calcula con la fórmula de transferencia de calor así:

$$P = m_1 * c_1 * \Delta T_1 = m_2 * c_2 * \Delta T_2$$

Donde; P: potencia en (kW)

m 1, m 2: caudal circuito primario y secundario (kg/s)

c1, c2: calor específico del fluido primario y secundario (kJ/kg°C)

$\Delta T_1, \Delta T_2$: salto térmico primario y secundario (°C)

Para calcular la eficiencia del captador se usa la siguiente ecuación:

$$E = \frac{P}{P_{max}} = \frac{P}{C_{min} * (T_1 - T_2)}$$

Donde; E: eficiencia

Cmin: capacidad calorífica menor de los dos fluidos = (mcp) min

t_{e1} : temperatura de entrada del fluido al circuito primario = 105 °C

t_{s2} : temperatura de salida del fluido del circuito secundario = 90 °C

t_{e2} : temperatura de entrada del fluido del circuito secundario = 75 °C

El sistema de intercambio se dimensiona teniendo en cuenta las características físicas de los fluidos de refrigeración, ver anexo F.

2.8.4 Sistema de acumulación: Son tanques que almacenan agua caliente para tener independencia de las condiciones de radiación en cada instante. Son fabricados en acero con revestimiento epoxídico de alta calidad y aislamiento térmico con espuma rígida de poliuretano, tienen protección catódica permanente, disponen de conexiones para producción de agua caliente a través de un intercambiador de placas.

El volumen del tanque de acumulación, se calcula teniendo en cuenta la superficie de captación y la relación entre el volumen del tanque; la superficie de captación debe estar entre 50 y 180, según apartado 3.3.3 de la HE4 del CTE de España.

2.8.5 Máquina de absorción: La máquina de absorción es una bomba de calor, es decir, es un equipo que permite transferir energía de una fuente a baja temperatura a otra fuente a alta temperatura con un pequeño consumo de energía adicional.

En función de las sustancias que se utilizan existen dos tipos de máquinas de absorción:

- NH_3 (amoníaco): refrigerante - H_2O (Agua): absorbente; estas se utilizan en aplicaciones que requieran temperaturas por debajo de 0°C, pudiéndose obtener hasta temperaturas en el evaporador de hasta - 60°C, su uso está enfocado en aplicaciones de tipo industrial.
- H_2O (agua): refrigerante - LiBr (bromuro de litio): absorbente; estas se usan en aplicaciones que requieran temperaturas por encima de 0°C, entre 4°C y 12°C. La mezcla de agua-LiBr son las más adecuadas para la producción de aire acondicionado siendo las más apropiadas para las aplicaciones de energía solar "(Jaruwongwittaya T, Chen G, 2010).

Las máquinas de absorción pueden ser de simple y de doble efecto. Las de simple efecto constan de los cuatro elementos básicos: generador, absorbedor, condensador y evaporador y requieren agua caliente entre (80°C - 95°C). Mientras que las de doble efecto deben requieren agua caliente entre (120°C - 190 °C). El principal inconveniente del doble

efecto es el nivel térmico necesario para generar estas temperaturas, solicitando captadores solares muy costosos (Hernández G 2012).

La eficiencia de la máquina de absorción está determinada por la relación entre el frío producido y la energía térmica consumida para producirlo, lo que se denomina COP. En máquinas de absorción de simple efecto bromuro de litio agua el COP está comprendido entre (0,6 y 0,7), lo que significa que para obtener 1 kWh de frío son necesarios (1,66 kWh o 1,42 kWh) de calor, mientras que en las de doble efecto el COP puede variar entre (1 y 1,2), lo que significa que para obtener 1 kWh de frío son necesarios (1 kWh o 0,83 kWh) de calor. (Martínez R 2010). Es decir, las máquinas de absorción de doble efecto son más eficientes que las de simple efecto; pero requieren de agua a temperaturas mayores a 120°C, lo que hace el sistema costoso y no aplicable para producción de aire acondicionado.

- Ciclo de absorción de simple efecto:** Basa su capacidad en sustancias como el bromuro de litio que absorbe agua en fase de vapor. El agua circula por un circuito a baja presión y es disipada en el evaporador, donde se enfría la sustancia absorbente, bromuro de litio. El vapor es absorbido por el bromuro de litio en el absorbedor, donde una fuente de calor separa ambas sustancias de nuevo. El agua retorna al evaporador y el bromuro al absorbedor, comenzando el ciclo de nuevo. (Hernández G 2012). La figura 2.10 muestra el esquema de una máquina de absorción de simple efecto que trabaja con una mezcla agua-bromuro de litio.

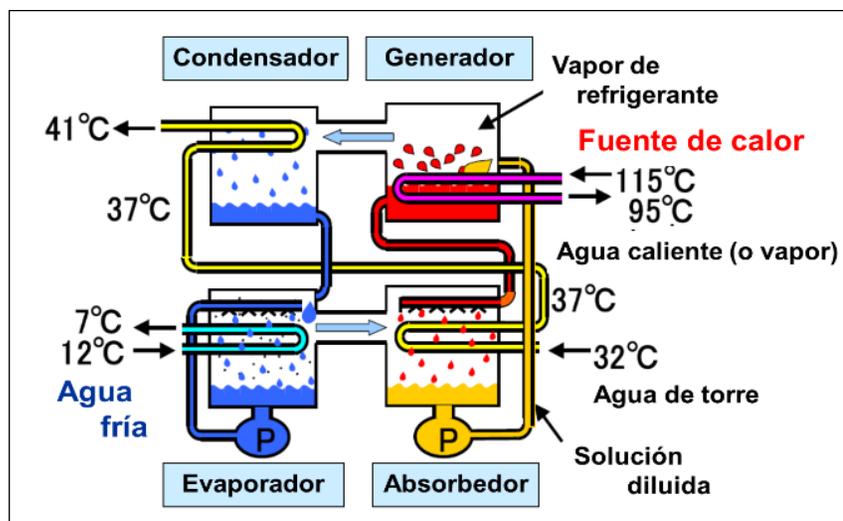


Figura 2. 10: Ciclo de absorción agua-bromuro de litio de simple efecto

2.8.6 Sistema de disipación: Las bajas temperaturas en la disipación mejoran la eficiencia en la máquina de absorción. Si la temperatura asciende sensiblemente la máquina se bloqueará. Si la temperatura es inferior, su desempeño será mejor, pero una excesiva reducción en la temperatura de agua de ingreso, puede originar problemas. Para mantener la temperatura estipulada por el fabricante es necesario emplear torre de refrigeración que garantizan temperaturas bajas y estables (Hernández G 2012)

- **Torre de refrigeración:** Existen sistemas de enfriamiento abiertos y cerrados. Cuando un sistema es cerrado, el agua no entra en contacto con el aire externo, resultando insignificante la contaminación del agua, por los contaminantes del aire y microorganismos.

Para determinar la potencia de un sistema de disipación se usa la siguiente ecuación:

$$P = Q * C_e * \Delta T$$

Dónde: P: potencia del sistema (kW)

Q: caudal (m³/s)

C_e: calor específico del fluido en J/ (kg*k)

ΔT: salto térmico o diferencia de temperatura

2.8.7 Sistema de Energía auxiliar: En una instalación que funciona mediante energía solar es importante disponer de un sistema de energía auxiliar (gas natural), ya que durante todo el año la radiación y duración del sol es variable. El sistema auxiliar debe entrar en funcionamiento únicamente cuando sea necesario, siendo primordial el aporte solar, (Rufes P 2010). El sistema de energía auxiliar, se diseña para cubrir el servicio como si no se contara con energía solar y solo entra a funcionar cuándo sea estrictamente necesario.

- **Uso de la caldera a gas natural:** En una caldera, la energía se transforma en calor mediante el calentamiento del agua que circula a través de ella. La cantidad de calor que se libera en la combustión es lo que se denomina poder calorífico. El poder calorífico del gas natural explotado en Colombia depende del campo de producción (Ecopetrol 2014), y es 37497 BTU/m³.

Existen tres tipos de calderas: Calderas estándar, calderas de baja temperatura y calderas de condensación. Las calderas de condensación, usan emisores de baja temperatura y son empleadas en sistemas de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural. (Fundación de la energía de la comunidad de Madrid. Guía básica de calderas industriales 2013).

- **Calculo de la potencia una la caldera a gas natural:** La potencia útil de la caldera se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_u = 4,18 * \frac{t_u - t_e}{h_v + h_p} * (h_p * Q_{mp} + h_v * Q_{mv})$$

Donde P: potencia útil de la caldera en (kW)

t_u : temperatura entrada máquina de absorción (°C)

t_s : temperatura salida máquina de absorción (°C)

h_p : duración horas no sol en el día (s)

h_v : duración horas valle no uso en el día (s)

Q_{mp} : caudal medio sistema solar (l/s)

Q_{mv} : caudal medio en horas valle no uso (l/s)

Para el cálculo de caudal medio en horas valle se usa la siguiente formula

$$Q_{mv} = \frac{G - Q_{mp} * H_p}{H - H_p}$$

Dónde: Q_{mv} : Caudal medio horas valle no uso (l/s)

G: el consumo máquina de absorción de agua caliente (l)

Q_{mp} : Caudal medio del sistema solar (l/s)

H_p : tiempo total horas de no sol en el día (s)

H: tiempo funcionamiento diario de la caldera. (s)

- **Calculo de tuberías y pérdidas de carga tubería para gas natural:** La pérdida de carga acumulada en redes en media presión debe ser menor al 10% en cada tramo y la velocidad debe ser menor a 20 m/s.

Para tuberías que transportan gas natural la presión a la salida (P2), se calcula mediante la siguiente formula:

$$P2 = (P1^2 - (* G^{0,425} * L^{0,576}) / (0,0000461 * D^{2,725})^{1,739})$$

En donde: Q: capacidad de la tubería en m³/hr

D: diámetro interno de la tubería en mm.

G: gravedad específica del gas. (0,67)

P1: presión absoluta de entrada a la tubería, expresada en mbar.

P2: presión absoluta de salida a la tubería, expresada en mbar.

L: longitud de la tubería en más.

D: diámetro interno de la tubería en mm.

La velocidad en tuberías que transportan gas natural se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = 354 * Q * (Patm + P2)^{-1} * D^{-2}$$

Para uso de las formulas se toman diámetros internos de tuberías y longitudes equivalentes, ver anexo G

2.8.8 Sistema de regulación y control: Es un conjunto de dispositivos automáticos que tienen como función administrar, regular, ordenar y operar el funcionamiento de un sistema, cuyo fin es reducir las probabilidades de fallo y asegurar eficiencia en el sistema integrado, por ello, el sistema de regulación y control permite llevar a cabo ajustes con objeto de disminuir los costos energéticos y obtener así una mejor eficiencia de la instalación, (Molina M 2013).

El sistema controla una serie de elementos tipo bombas, válvulas, presostatos, manómetros a partir de información transmitida por sensores que miden parámetros como temperaturas, caudales, presiones. Ver figura 2.11.

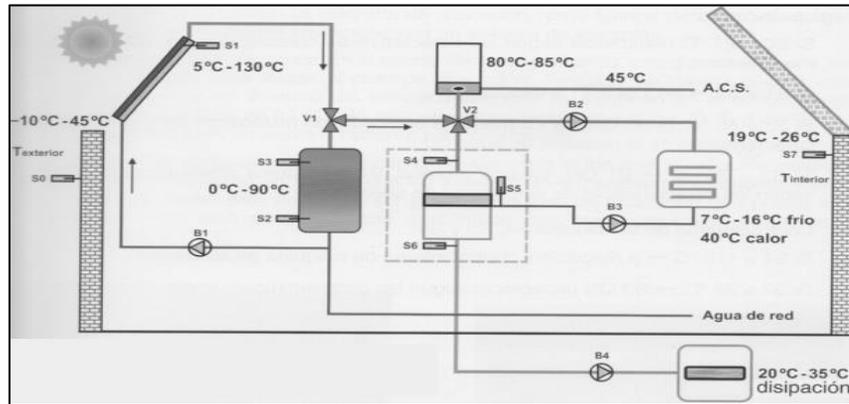


Figura 2. 11: Elementos del sistema de regulación y control

2.8.9 Circuito hidráulico para transporte de agua fría a fan coil: El agua fría producida por la máquina de absorción, es distribuida mediante por un circuito cerrado a cada unidad fancoil del edificio. Ver figura 2.12.

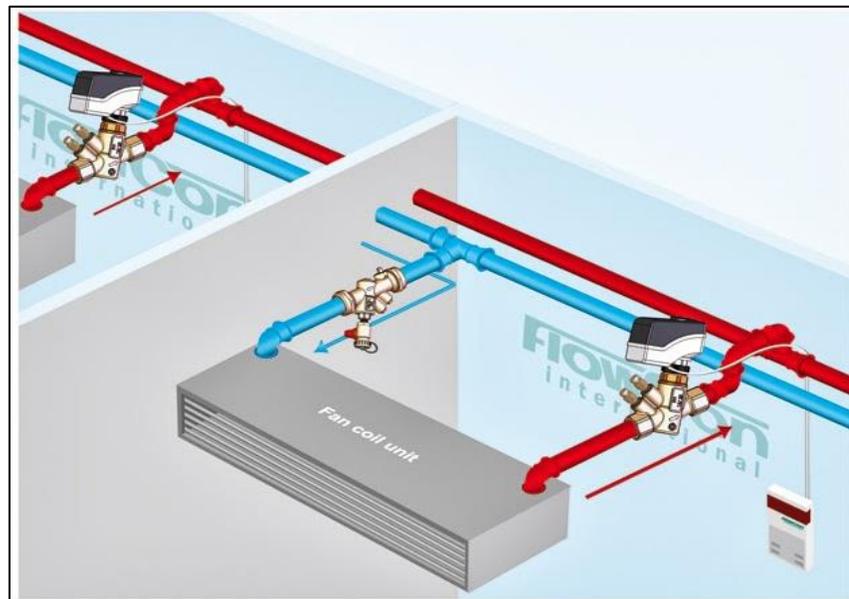


Figura 2. 12: Circuito hidráulico a fan coil

- **Calculo de tuberías y pérdidas de carga:** Las pérdidas de carga y velocidades se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$j = (Q / (280 * C * D^{2,63}))^{1,85}$$

$$V = 0,355 * C * D^{0,63} * j^{0,54}$$

En donde j: Pérdida de carga en m/m, < 0,5 m/m; C: coeficiente de fricción; V: velocidad media en m/s, < 20m/s; D: diámetro en m; Q: caudal en m³/s

Capítulo 3. Aspectos Metodológicos

En este capítulo se expone la metodología por medio de la cual se llevó a cabo esta investigación, como primer paso se realizó el análisis de lo escrito sobre el tema, consultando la bibliografía y bases de datos científicas que permitieron establecer criterios técnicos, tales como: Energía solar, energía eléctrica, gas natural, sistema por absorción. Una vez establecidos los criterios técnicos se procedió a diseñar el sistema de enfriamiento por absorción asistido por energía solar y gas natural, se elaboró presupuesto económico incluyendo exenciones otorgadas por la ley 1715 de 2014. Se calculó los costos de operación, mantenimiento y vida residual para los dos sistemas de enfriamiento, teniendo en cuenta norma UNE-EN-15459. Se asumieron variables económicas, según estudios realizados en el medio. Se definió escenarios posibles del mercado. Se efectuó por medio de la metodología del ciclo de vida la evaluación económica comparando la inversión del sistema de enfriamiento por absorción, con el uso de aires acondicionados analizando tiempo de recuperación de inversiones, viabilidad y sensibilidad financiera del proyecto. A continuación, se describe detalladamente el procedimiento usado, así:

- Se definieron parámetros para selección del edificio, caso base. La metodología usada para la escogencia del edificio caso de estudio, se basó en las cinco fases señaladas por Montero y León (2002):
 - Se seleccionó y definió del edificio público: Para determinar el edificio, se tuvieron en cuenta edificios públicos de mayor envergadura en el departamento del Meta Colombia; el edificio de la gobernación departamental y el edificio de la alcaldía municipal de Villavicencio.
 - Se elaboraron preguntas para visualizar la situación energética de los dos edificios; ¿Cuántos aires acondicionados tiene cada edificio?, ¿Cuál es la potencia total de los aires acondicionados?, ¿Cuál es el número pisos, número de oficinas por piso de cada edificio?, ¿Todas las oficinas tienen y usan aire acondicionado?, ¿Cuáles son los consumos de energía eléctrica de cada edificio?, ¿Qué tipo de construcción predomina en cada edificio?

- Se localizaron las fuentes de datos: Una vez seleccionados los dos edificios, mediante el trabajo de campo, se recogió información.
- Se analizó e interpreto la información: El análisis de la evidencia es el corazón del estudio de caso, pero al mismo tiempo es la parte más compleja y menos codificada del desarrollo de un estudio (Fong, 2002). La triangulación de la evidencia a lo largo de la fase de recogida de datos constituye cierto proceso analítico del caso de estudio (Eisenhardt, 1989; Maxwell, 1998), éste tiene lugar, una vez que se haya completado la obtención de información. Se tabuló y se categorizó la información mediante matrices. Se analizaron, se evaluaron los resultados, y se determinó a través de una serie de conclusiones, que el edificio caso de estudio para efectuar evaluación técnica y económica, correspondía a la alcaldía de Villavicencio. Ver anexo H.
- Se recopiló información de la ciudad de Villavicencio referente al clima, radiación solar, temperatura, humedad, pluviosidad, viento, entre otras.
- Se digitó en autocad los planos arquitectónicos del edificio y se tabuló información de las áreas de cada piso.
- Se tabularon los datos históricos del consumo de energía eléctrica en el edificio y se analizaron los cuatro años anteriores, determinando el año de mayor consumo de energía eléctrica y dentro de este año, los meses de mayor y menor consumo.
- Se determinaron consumos de energía eléctrica para refrigeración:
- Se tabuló el inventario físico de piso a piso y el número de equipos de aires acondicionados con su potencial eléctrico.
- Mediante software de caracterización climática y diagnóstico de confort de la universidad de Colima, bajo el modelo de ANSI ASHRAE 55:2010, se determinaron las temperaturas medias horarias, la temperatura de confort, los porcentajes de humedades relativas medias horarias y la carta psicométrica de Villavicencio.

- Se tabularon datos de temperaturas medias horarias dadas por el programa y se determinaron las temperaturas promedias en horarios laborales.
- Se determinó calendario laboral colombiano para año 2015.
- Se efectuó calculo de consumo de energía eléctrica por refrigeración, teniendo en cuenta las áreas de cada piso, potencia y numero de aires acondicionados, temperatura interior y exterior, grados día para Villavicencio en base 20°C, días de operación a la semana y horas de uso diarias.
- Se calculó la carga térmica para refrigeración del edificio, mediante el método manual
- Se diseñó el sistema de captación solar, así:
 - Se calculó la radiación solar por superficie horizontal día, disponible en la ciudad de Villavicencio.
 - Se tabuló la información de la radiación solar efectiva por m². día en Colombia específicamente en la ciudad de Villavicencio.
 - Se calculó perdidas por orientación e inclinación de los captadores solares, en la ciudad de Villavicencio.
 - Se calculó radiación efectiva por (Mj/ m². día), para la ciudad de Villavicencio.
 - Se calculó distancia mínima entre captadores, para que no se presenten sombras
 - Se calculó el rendimiento del captador solar, según norma europea.
- Se calculó la energía total mensual necesaria para la máquina de absorción
- Se aplicó método de la carta F, para calculo de cobertura solar y el aporte del otro combustible.
- Se diseñó sistema hidráulico así:

- Se definió trazado en planta de la distribución de tuberías de agua fría y agua caliente
- Se calcularon las pérdidas en los circuitos primario y secundario
- Se diseñaron sistemas de bombeo
- Se determinó volumen de expansión
- Se diseñó el sistema de intercambio
- Se diseñó el sistema de acumulación
- Se determinó máquina de absorción
- Se diseñó sistema de disipación.
- Se diseñó el sistema de energía auxiliar (gas Natural)
- Se determinó el sistema de regulación y control
- Se diseñó sistema de tuberías para transporte de agua fría y se determina capacidad de fan coils, para cada oficina en cada piso.
- Se elaboraron planos, como resultado de cada diseño.
- Mediante los planos y catálogos se determinaron cantidades de cada sistema, se elaboraron presupuestos económicos, tanto para el sistema convencional como para el sistema de enfriamiento por absorción solar.
- Se determinaron los costos directos, es decir los insumos, los cuales incluyen las exenciones dadas por la ley 1715 de 2014, la maquinaria, la mano de obra y herramienta menor.
- Se determinaron los costos indirectos, es decir la administración, los imprevistos, la utilidad, los tramites de importación, arranque y puesta en marcha del sistema, costos de ingeniería y legalización.

- Se calcularon los costos de mantenimiento, de reemplazo y valor residual para los dos sistemas.
- Se determinaron los costos de energía eléctrica, para el uso de cada sistema.
- Se determinó el costo anual de gas natural para operación del sistema de enfriamiento por absorción.
- Se asumieron variables económicas, tasa de descuentos, tasa de escalonamiento.
- Se definieron escenarios normal, pesimista y optimista.
- Se efectuó el análisis económico, así:
 - Se elaboraron diagramas de flujo de caja
 - Se usó ciclo de costo de vida como herramienta de evaluación económica, comparando el uso del sistema de enfriamiento por absorción con el sistema convencional, para los tres escenarios.
 - Se analizaron los resultados económicos mediante análisis de la incertidumbre en las estimaciones de los costos del sistema de enfriamiento por absorción, mediante aplicación Risk simulator
 - Se efectuó análisis de sensibilidad, para cuantificar el efecto de la variación de los costos de inversión, de gas natural, de reemplazo y mantenimiento y de energía eléctrica, basados en la base de la recuperación simple para el escenario normal
- Se elaboraron conclusiones del resultado de la investigación.

3.1 Consumo energía eléctrica por uso de aires acondicionados para refrigeración de oficinas. Edificio Alcaldía de Villavicencio

El cálculo del consumo eléctrico por uso de aires acondicionados, se determinó mediante el siguiente procedimiento:

Se efectuó descripción detallada del edificio e inventario de aires acondicionados por piso, ver anexo A.

Mediante software de caracterización climática y diagnóstico de confort de la universidad de Colima, bajo el modelo de ANSI ASHRAE 55:2010, se determinaron las temperaturas medias horarias, la temperatura de confort, los porcentajes de humedades relativas medias horarias y la carta psicométrica de Villavicencio. Ver Anexo I.

Del software se tomaron temperaturas mensuales medias horarias, desde las ocho (08: am) hasta las seis (06: pm) horario laboral.

Se determinó promedio mensual de temperatura para horario laboral. Los meses junio y julio, son meses de mayor pluviosidad y menor temperatura, por tal razón se asumieron seis horas de uso de aires acondicionados. Para el resto de meses se asumieron siete horas de uso diarias de aires acondicionados. No se incluye horario de 12:00 pm a las 14:00 pm, por tiempo dado para almuerzo. Ver tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Temperaturas mensuales de confort, promedio y horas de uso por aires acondicionados

Hr/mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
8	22,3	23,0	24,1	23,3	23,1	22,5	22,3	22,4	22,7	22,8	22,1	21,9
9	24,4	25,1	26,4	25,6	25,3	24,5	24,3	24,7	25,2	25,2	24,0	24,0
10	26,8	27,4	28,6	27,7	27,3	26,4	26,2	26,8	27,5	27,5	26,2	26,2
11	29,0	29,5	30,2	29,2	28,7	27,8	27,6	28,3	29,2	29,2	28,2	28,3
12	30,5	31,0	31,1	30,1	29,5	28,5	28,3	29,1	30,2	30,1	29,6	29,7
13	31,4	31,8	31,3	30,3	29,6	28,6	28,4	29,2	30,4	30,4	30,4	30,6
14	31,6	32,0	30,9	29,9	29,3	28,3	28,1	28,9	30,0	30,1	30,5	30,8
15	31,2	31,6	30,3	29,2	28,6	27,7	27,5	28,2	29,3	29,4	30,2	30,4
16	30,5	30,9	29,4	28,3	27,8	26,8	26,6	27,3	28,3	28,4	29,6	29,8
17	29,6	30,0	28,4	27,4	26,8	26,0	25,8	26,4	27,3	27,4	28,7	28,9
18	28,5	29,0	27,4	26,4	25,9	25,1	24,9	25,4	26,2	26,3	27,8	27,9
T Confort	25,8	26,0	25,9	25,6	25,5	25,2	25,2	25,3	25,5	25,5	25,7	25,7
T Prom	28,73	29,22	28,90	27,95	27,45	26,56	26,36	26,97	27,86	27,88	27,94	28,04
Hr uso	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00

Fuente: programa caracterización climática

Para el año 2015, se efectuó cálculo de consumo de energía eléctrica por refrigeración, teniendo en cuenta las áreas de cada piso, potencia y numero de aires acondicionados, temperatura interior y

exterior, grados día para Villavicencio en base 20°C, días de operación a la semana y horas de uso diarias. Mediante las siguientes ecuaciones se calculó el consumo eléctrico para refrigeración:

$$F \text{ operación} = \frac{\# \text{días mes}}{7} * \# \text{ días semana} * \frac{\# \text{hr día}}{(\# \text{días mes} * \# \text{hr día})}$$

$$G = \frac{\text{Potencia equipo}}{\text{Vol aire piso} * (\text{temp ext} - \text{temp int})} * 1000$$

$$\text{Consumo} = \text{grados día mes} * \text{Vol aire piso} * G * \text{hr día} * F \text{ operación} * 1000$$

Mediante estas ecuaciones se calculó el consumo mensual para cada piso y a su vez se sumó el consumo mensual, determinando el total por mes. Ver tabla 3.2

Tabla 3. 2: Consumos eléctricos mensuales por uso de aires acondicionados.

	MES	Grados -DÍA/mes base 20°C	Grados -DÍA/mes de operación	días/mes	Días semana en operación	Horas del día en operación	Factor Operación	Consumo kW-h/mes
PISO 1	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	4.434,1
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	4.522,8
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	4.786,2
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	3.103,9
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	2.931,9
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	2.022,0
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	2.274,3
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	2.881,3
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	4.038,6
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	4.058,1
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	2.999,3
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	4.038,6
PISO 2	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	2.743,8
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	2.798,6
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	2.961,6
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	1.920,6
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	1.814,2
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.251,2
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.407,3
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	1.782,9
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	2.499,0
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	2.511,1
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	1.855,9
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	2.499,0

Capítulo 3. Aspectos Metodológicos

	MES	Grados -DÍA/mes base 20°C	Grados -DÍA/mes de operación	días/mes	Días semana en operación	Horas del día en operación	Factor Operación	Consumo kW-h/mes
PISO 3	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	2.543,8
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	2.594,6
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	2.745,7
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	1.780,6
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	1.681,9
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.160,0
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.304,7
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	1.652,9
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	2.316,8
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	2.328,0
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	1.720,6
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	2.316,8
PISO 4	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	2.934,4
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	2.993,1
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	3.167,4
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	2.054,1
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	1.940,2
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.338,1
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.505,1
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	1.906,8
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	2.672,6
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	2.685,5
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	1.984,8
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	2.672,6
PISO 5	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	2.200,0
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	2.244,0
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	2.374,7
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	1.540,0
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	1.454,6
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.003,2
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.128,4
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	1.429,6
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	2.003,8
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	2.013,4
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	1.488,1
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	2.003,8
PISO 6	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	2.756,3
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	2.811,4
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	2.975,1
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	1.929,4
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	1.822,4
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.256,9
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.413,7
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	1.791,0
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	2.510,4
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	2.522,5
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	1.864,3
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	2.510,4

Capítulo 3. Aspectos Metodológicos

	MES	Grados -DÍA/mes base 20°C	Grados -DÍA/mes de operación	días/mes	Días semana en operación	Horas del día en operación	Factor Operación	Consumo kW-h/mes
PISO 7	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	2.845,3
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	2.902,2
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	3.071,2
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	1.991,7
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	1.881,3
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.297,5
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.459,4
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	1.848,9
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	2.591,5
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	2.604,0
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	1.924,6
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	2.591,5
PISO 8	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	3.475,0
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	3.544,5
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	3.750,9
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	2.432,5
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	2.297,7
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.584,6
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.782,4
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	2.258,1
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	3.165,0
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	3.180,3
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	2.350,5
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	3.165,0
PISO 9	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	4.025,0
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	4.105,5
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	4.344,6
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	2.817,5
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	2.661,3
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.835,4
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	2.064,5
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	2.615,4
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	3.666,0
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	3.683,7
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	2.722,5
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	3.666,0
10	Enero	250,0	250,0	31	5	7	0,21	3.639,1
	Febrero	255,0	255,0	28	5	7	0,21	3.711,8
	Marzo	257,0	257,0	31	5,25	7	0,22	3.928,0
	Abril	175,0	175,0	30	5	7	0,21	2.547,3
	Mayo	174,0	174,0	31	4,75	7	0,20	2.406,1
	Junio	140,0	140,0	30	4,75	6	0,17	1.659,4
	Julio	136,0	136,0	31	5,5	6	0,20	1.866,5
	Agosto	171,0	171,0	31	4,75	7	0,20	2.364,7
	Septiembre	207,0	207,0	30	5,5	7	0,23	3.314,5
	Octubre	208,0	208,0	31	5,5	7	0,23	3.330,5
	Noviembre	178,0	178,0	30	4,75	7	0,20	2.461,5
	Diciembre	207,0	207,0	31	5,5	7	0,23	3.314,5

A continuación, se resumen los resultados del cálculo del consumo eléctrico por uso de los equipos de aire acondicionados, ver tabla 3.3 y gráfica 3.1

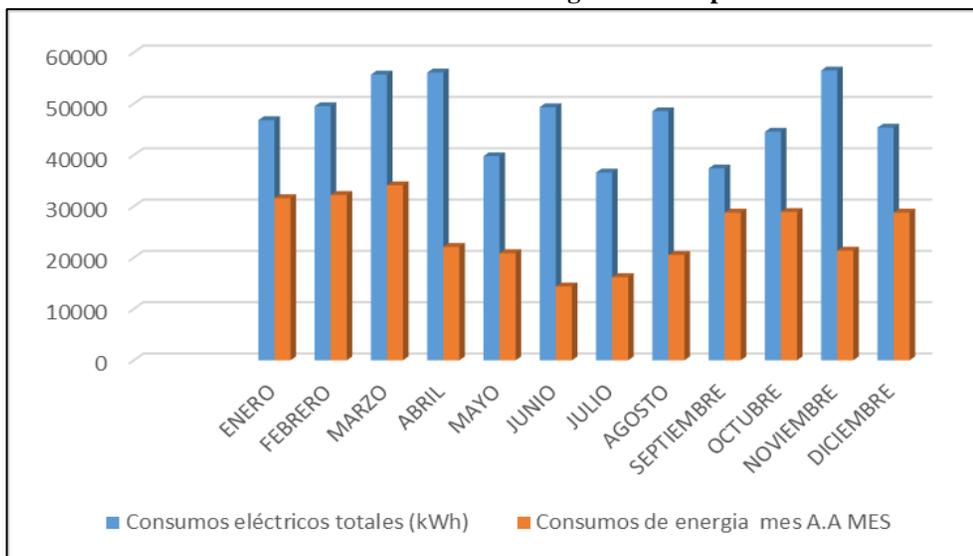
Tabla 3. 3: Consumo de energía eléctrica por uso de aire acondicionado

AÑO 2015	Consumos eléctricos totales (kWh)	Consumos de energía eléctrica mes		
		De A.A kWh/mes	Otros consumos	De A.A MJ/mes
ENERO	46.800	31.597	15.203	113.748
FEBRERO	49.530	32.229	17.301	116.023
MARZO	55.692	34.105	21.587	122.780
ABRIL	56.090	22.118	33.972	79.624
MAYO	39.780	20.892	18.888	75.210
JUNIO	49.327	14.408	34.919	51.869
JULIO	36.598	16.206	20.391	58.343
AGOSTO	48.532	20.531	28.000	73.913
SEPTIEMBRE	37.393	28.778	8.615	103.602
OCTUBRE	44.554	28.917	15.636	104.102
NOVIEMBRE	56.488	21.372	35.116	76.939
DICIEMBRE	45.349	28.778	16.571	103.602
TOTALES	566.132	299.932	266.200	1.079.754
PORCENTAJES		52,98%	47,02%	

Fuente: elaboración propia

Los otros consumos corresponden al uso de computadores, iluminación, equipo de oficina tipo impresoras, fotocopadoras, radios, celulares, escáner, ventiladores, equipo de bombeo, iluminación navideña, entre otros.

Grafica 3. 1: Distribución mensual de consumo energía eléctrica por uso de aire acondicionado.



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 3.1, se observó que las barras conservan las mismas tendencias de las temperaturas medias diarias, es decir existe relación entre aumentos de consumos energéticos con respecto a el aumento de temperatura, y por ende aumento en uso de aires acondicionados.

Es importante resaltar que el mayor consumo por uso de aire acondicionado se presentó en febrero y marzo meses de mayor temperatura; el menor consumo se presentó en el mes de junio debido a que coinciden menor número de días laborales, menores horas de uso y menores temperaturas; del 100% de consumo de energía eléctrica el 52,98 % correspondió consumo de energía eléctrica por uso de aire acondicionado para el edificio, es decir 299.932 kwh/año. El área refrigerada del edificio es de 2220,28 m², ver anexo A, luego el consumo energético es de 135.08kwh/ m². año. Para el alcance de esta investigación es claro que el edificio solo usa los sistemas de aires acondicionado por siete horas diarias por cinco días a la semana, en el anexo I, se observó que las temperaturas medias horarias inician a descender desde las siete de la noche hasta las nueve de la mañana del otro día, es decir el edificio durante la noche no demanda energía. Como el edificio no funciona durante las 24 horas y en las oficinas no demandan una temperatura constante, la demanda energética no coincide con la carga térmica. Sin embargo, los equipos deben funcionar durante un horario determinado, marcado por las condiciones operacionales; a si las cosas, cuando el sistema de aire acondicionado se pone en marcha a las nueve de la mañana, sólo tiene que vencer la carga térmica de esa hora, pues no debe extraer calor acumulado así el sistema haya permanecido apagado, de manera que la demanda térmica a esa hora es sustancialmente menor que la carga térmica, por tal razón no se determinó la demanda térmica

3.2 Cálculo de carga térmica para refrigeración de edificio de la alcaldía de Villavicencio

Para el cálculo de la carga térmica de refrigeración se partió de varios supuestos, entre ellos:

- El análisis de carga térmica se efectuó únicamente para el día quince del mes de enero, a las 15:00 hr, ya que es un mes de mayor radiación solar.
- Teniendo en cuenta que los diez pisos son simétricos en cuanto a geometría, áreas, materialidad, espacios, número de ocupantes, puestos de trabajo, computadores e

iluminación, se analizó térmicamente únicamente el piso No 5, el cual se dividió en zonas, es decir, seis oficinas.

- Se analizó cada oficina y se determinó la carga térmica del piso No 5, se multiplico por el número de pisos (10) y se calculó la carga térmica total del edificio.

Para el análisis de carga térmica se siguió el método de "Calculo de Cargas por Temperatura Diferencial y Factores de Carga de Enfriamiento"; método usado al considerarse como la primera alternativa de procedimiento de cálculo manual y por ser un método exacto, es decir, conduce a selección de equipos de menor tamaño y de mayor eficiencia.

A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo de las cargas térmicas

3.2.1 Carga de calor por conducción a través de barreras externas: Esta carga de calor, determina el flujo de calor del exterior hacia el interior a través de barreras (techos, paredes, vidrios) que reciben radiación solar. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * DTCE$$

Q: ganancia de calor por conducción

U: coeficiente general de transferencia de calor

A: área de transferencia de calor.

DTCE: diferencia de temperatura para carga de enfriamiento

Para el cálculo de U se usó la siguiente ecuación

$$U = \frac{1}{\sum r}$$

Donde r: resistencia térmica de cada material que compone la barrera r a su vez de calcula a partir de: $r = e/k$

Donde e: espesor del material y k=conductancia térmica del material (datos obtenido de tablas de conductividad térmicas para diferentes materiales).

También se consideró la resistencia al flujo de calor por convección (Rc) debido a corrientes de aire sobre las barreras y cámaras de aire datos obtenidos de NBE-CT-79.

Resumiendo $U=1 / (Rc \text{ interior} + \sum e/k + Rc \text{ exterior})$

Área de transferencia de calor (A), indica el área superficial a través de la cual fluye el calor.

La Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE), es una diferencia de temperatura entre el exterior que recibe radiación y el interior, que toma en cuenta el efecto de almacenamiento de calor, según tablas 6.1 -6.2 – 6.5 del libro de acondicionamiento de aire principios y sistemas de Edward G Pita. Valores que fueron corregidos de acuerdo a:

Latitud de la construcción y mes del análisis, tabla 6.4. (LM)

Corrección por temperatura del recinto Tr diferente a 78 F (78F – Tr)

Corrección por temperatura exterior Te diferente a 85F: (Te –(DT diario/2) -85F)

DT diario: variación de temperatura diaria

DT diario: 20 F

Te promedio: (Te –(DT diario/2)

Te: 95F

Te promedio: 85 F

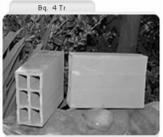
Corrección por color de la superficie K= 1 superficies oscuras k=0.5 superficies claras

De acuerdo a lo anterior se planteó la siguiente ecuación que corrige el DTCE así:

$$DTCE \text{ corr} = (DTCE - LM) * K + (78F - TR) + (TE - \left(DT \frac{\text{diario}}{2} \right) - 85F)$$

- **Calculo de Coeficientes global de transferencia de calor (U), para los diferentes materiales**

Tabla 3. 4: Descripción de muros

Descripción	Tipo	Dimensiones	# bloques m ²	Esp revoque interno	Figura
Pared sencilla	Bloque No 4	31 cmx 9 cmx23 cm	13	1,5 cm	

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 5: Coeficiente Global de transferencia de calor (U) del muro

Material de construcción	Conductividad térmica K (W/mK)	Espesor e(mts)	Resistencia termica r=e/k (m2K/W)
Bloque tipo farol numero 4		0,12	0,134
revoque 1,5 cmm a ambos lados d ela pared	0,63	0,03	0,048
Resistencia superficial de aire por convección lado externo e interno (tabla 2,1) cerramiento vertical flujo horizontal (1/hi +1/he)			0,170
Sumatoria de resistencias termicas			0,352
Coeficiente global de transferencia de calor U (btu/hrFt2F)			0,508
Coeficiente global de transferencia de calor U (W/m2C)			2,844

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 6: Paredes en mampostería muro sencillo

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Situación del cerramiento						Situación de la cámara y dirección del flujo de calor	Espesor de la cámara, en mm				
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, cierrán o cámara de aire				10	20	50	100	≥ 150
	1/hi	1/he	1/hi + 1/he	1/hi	1/he	1/hi + 1/he						
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal	0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)	Cámara de aire vertical y flujo horizontal	0,16 (0,14)	0,19 (0,16)	0,21 (0,18)	0,20 (0,17)	0,19 (0,16)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente	0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)	Cámara de aire horizontal y flujo ascendente	0,16 (0,14)	0,17 (0,15)	0,19 (0,16)	0,19 (0,16)	0,19 (0,16)
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)	Cámara de aire horizontal y flujo descendente	0,17 (0,15)	0,21 (0,18)	0,24 (0,21)	0,24 (0,21)	0,24 (0,21)
Resistencias térmicas superficiales en m² h °C/kcal (m² °C/W)						Resistencia térmica de la cámara R _c en m² h °C/kcal (m² °C/W)						

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 7: Coeficiente global de transferencia de calor (U) del vidrio

Material de construcción	Conductividad térmica K (W/mK)	Espesor e(mts)	Resistencia termica r=e/k (m2K/W)
Vidrio	0,81	0,05	0,062
Resistencia superficial de aire por convección lado externo e interno			0,170
Sumatoria de resistencias térmicas			0,232
U = 1/ Sumatoria de resistencias			4,315
Coeficiente global de transferencia de calor U (btu/hrFt2F)			0,7706

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 8: Coeficiente global de transferencia de calor (U) de la cubierta

Material de construcción	Conductividad termica K (W/mK)	Espesor e(mts)	Resistencia térmica r=e/k (m2K/W)
Mortero de cemento	1,4	0,025	0,018
Hormigon	1,63	0,2	0,123
Recamara de aire		0,75	0,160
Cielo raso en dry wall	0,44	0,012	0,027
Resistencia superficial de aire por conveccion lado externo e interno			0,170
Sumatoria de resistencias termicas			0,498
U = 1/ Sumatoria de resistencias			2,009
Coeficiente global de trasferencia de calor U (btu/hrFt2F)			0,359

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 9: Calculo placa piso y entre-piso

PLACA ENTRE-PISO					
BARRERAS EN PARALELO CASETON 1,3X0,7					
Area de flujo 2,1					
PARTE SOLIDO					
Barreras	Conductividad (w/mC)	Espesor (m)	resistencia (m2C/w)	Flujo de calor	
Baldoza	2,1	0,01	0,005		
mortero	1,4	0,08	0,057		
concreto	1,6	0,4	0,250		
Area solido	0,84		0,312	2,693	
SOLIDO-AIRE-SOLIDO					
Barreras	Conductividad (w/mC)	Espesor (m)	resistencia (m2C/w)	Flujo de calor	
Baldoza	2,1	0,01	0,005		
mortero	1,4	0,08	0,057		
concreto	1,6	0,1	0,063		
Area solido- aire-solido	1,26		0,124	10,128	
Resistencia ponderada 0,164					
Barreras	Conductividad (w/mC)	espesor	resistencia (m2C/w)	Transmitancia (W/m2C)	Coeficiente global de trasferencia de calor U (btu/hrFt2F)
Resistencia ponderada			0,164		
Camara de aire horizontal y flujo descendente		0	0,000		
ceilo raso dry wall	0,25	0	0,000		
Película interior			0,120		
Película exterior			0,053		
			0,337	2,969	0,53

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 10: Coeficiente global de transferencia de calor (U) de las puertas

Material de construcción	Conductividad térmica K (W/mK)	Espesor e(mts)	Resistencia térmica $r=e/k$ (m ² K/W)
Aluminio	232	0,005	0,000
Cámara de aire vertical l y flujo horizontal			0,140
Resistencia superficial de aire por convección lado externo e interno			0,170
Sumatoria de resistencias térmicas			0,310
Coeficiente global de transferencia de calor U (btu/hrFt ² F)			0,576
Coeficiente global de transferencia de calor U (W/m ² C)			3,226

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 11: Coeficiente global de transferencia de calor (U), barreras internas

Barrera	Coeficiente global de transferencia de calor U (btu/hrFt ² F)
Paredes en mamposteria muro sencillo	0,508
Vidrio	0,771
Cubierta	0,359
Placa entre piso	0,530
Puertas	0,576

Fuente: elaboración propia

- **Calculo de la Diferencia de temperatura para carga de enfriamiento (DTCE) y DTCE corregida**

Tabla 3. 12: DTCE corregido para latitud 5 N, hora proyecto 15 h, mes enero.

BARRERAS	Característica	Orient	DTCE (Tabla 6,1) techos	DTCE (Tabla 6,2) paredes	DTCE (Tabla 6,5) Vidrio	LM (corrección por latitud y mes) tabla 6,4	K (Corrección por color de superficie)	Tr	Te prom	DTCE corregido
Cubierta	Techo tipo 8 Concreto ligero de 8" con cielo raso suspendido tabla 6,1	Plana	25			-3	0,5	72	85	17
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	N		12		-3	1	72	85	15
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	NE		23		-5	1	72	85	24
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	E		33		-1,5	1	72	85	37,5
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	SE		31		2,5	1	72	85	39,5
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	S		20		8,5	1	72	85	34,5
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	SW		16		2,5	1	72	85	24,5
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	W		14		-1,5	1	72	85	18,5
Pared	Tipo D, ladrillo de 4"	NW		12		-5	1	72	85	13
Vidrio	de 4 mm de espesor	NE			13,5			72	85	19,5
Vidrio	de 4 mm de espesor	NW			13,5			72	85	19,5
Vidrio	de 4 mm de espesor	SE			13,5			72	85	19,5
Vidrio	de 4 mm de espesor	SW			13,5			72	85	19,5

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. 13: Carga de calor por conducción debido a barreras externas

BARRERAS EXTERNAS	Característica	ORIENTAC	AREA (m2)	AREA (Ft2)	Coefficiente global de transferencia de calor U (Btu/hFt2F)	DTCE corregido (diferencia de temperatura para carga de enfriamiento)	GANANCIA DE CALOR Q (Btu/h)
Cubierta	Techo tipo 8 Concreto ligero de 8" con cielo raso suspendido tabla 6,1	PLANA	45,88	493,60	0,359	17,00	3009,9
Pared sencilla	Tipo D, ladrilloo comun 4"	N	27,37	294,45	0,508	15,00	2243,0
Vidrio	Vidrio de 5 mm	W	5,91	63,59	0,771	19,50	955,6
TOTAL CARGA DE CALOR POR CONDUCCIÓN BARRERAS EXTERNAS							6.208,50

Fuente: elaboración propia

3.2.2 Carga de calor por radiación a través de vidrios: Esta carga de calor determina el flujo de calor del exterior hacia el interior a través de vidrios que reciben la radiación solar, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q = FGCS * A * CS * FCE$$

Q: Ganancia de calor por radiación a través de vidrios.

FGCS: Factor de ganancia máxima de calor solar.

A: Área de transferencia de calor

CS: Coeficiente de sombreado

FCE: Factor de carga de enfriamiento para el vidrio

Tabla 3. 14: Carga de calor por radiación

Característica	ORIENT	AREA (m2)	AREA (Ft2)	FGCS (factor ganancia máxima calor solar) tabla 6,6 julio Lat 5	CS (coeficiente de sombreado) tabla 6.7	FCE (factor de carga de enfriamiento para el vidrio) tabla 6,8	GANANCIA DE CALOR Q (Btu/h)
Vidrio de 5 mm de espesor (sin sombreado construcción ligera (L))	NE	0,00	0,00	33	0,65	0,22	0
Vidrio de 5 mm de espesor (sin sombreado construcción ligera (L))	NW	2,96	31,80	229	0,65	0,72	3407,6
Vidrio de 5 mm de espesor (sin sombreado construcción ligera (L))	SE	0,00	0,00	237	0,65	0,25	0
Vidrio de 5 mm de espesor (sin sombreado construcción ligera (L))	SW	2,96	31,80	237	0,65	0,83	4065,4
TOTAL CARGA DE CALOR POR CONDUCCIÓN POR RADIACIÓN SOLAR A TRAVES VIDRIOS							7.473,00

Fuente: elaboración propia

3.2.3 Carga de calor por conducción a través de barreras internas: Esta carga de calor determina el flujo de calor de espacios colindantes sin acondicionamiento hacia el interior del recinto a través de barreras (paredes, pisos). Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * (DT)$$

Q: ganancia de calor por conducción

U: coeficiente general de transferencia de calor

A: área de transferencia de calor.

DT: diferencia de temperatura entre los dos recintos

Tabla 3. 15: Carga de calor por conducción barreras internas

BARRERAS INTERNAS	Característica	AREA (m2)	AREA (Ft2)	Coefficiente global transferencia calor U (Btu/hFt2F)	Te (Temperatura del otro lado de la barrera)	Tr (Temperatura del Recinto)	GANANCIA DE CALOR Q (Btu/h)
PLACA ENTRE-PISO	Concreto 8" de espesor	45,882	493,60	0,530	90	72	4.710,9
Pared sencilla	muros colindantes	25,922	278,87	0,508	90	72	2.549,2
Puerta	Aluminio	4,81	51,75	0,576	90	72	536,5
TOTAL CARGA DE CALOR POR CONDUCCIÓN BARRERAS INTERNAS							7.796,60

Fuente: elaboración propia

3.2.4 Carga de calor por iluminación: Esta carga de calor determina el flujo de calor producido por el sistema de iluminación. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 3.413 * W * FB * FCE$$

Q: ganancia de calor por iluminación

W: potencia en vatios del sistema de iluminación

FB: factor de balastro. 1.25 lámparas fluorescentes, 1 lámparas incandescentes

FCE: almacenamiento de parte de la ganancia de calor por alumbrado, propósitos generales

Tabla 3. 16: Carga de calor por iluminación

ILUMINACIÓN	Tipo de lámparas	Potencia (W) por lámpara	Cantidad de lámparas	FB(factor de balastro)	Factor de almacenamiento	GANANCIA DE CALOR Q (Btu/h)
	Fluorescentes 40 W	50	3	1,25	1	639,9
	Foco de 25 W	25	0	1,25	1	0,0
	Foco de 75 W	75	0	1,25	1	0,0
TOTAL CARGA DE CALOR POR ILUMINACIÓN						639,90

Fuente: elaboración propia

3.2.5 Carga de calor por equipos eléctricos y electrónicos: Esta carga de calor determina el flujo de calor producido por los equipos eléctricos y electrónicos que se encuentren dentro

del recinto acondicionado, la razón de flujo de calor se obtiene por información de los fabricantes de los equipos.

Tabla 3. 17: Carga de calor por equipos eléctricos y electrónicos

EQUIPOS ELÉCTRICOS	Descripción del equipo	cantidad	W (wattios) totales	Factor de carga	GANANCIA DE CALOR Q (Btu/h)
	Computadores	3	150	1	1.535,9
	Otros	2	150	1	1.023,9
CARGA DE CALOR POR EQUIPO ELÉCTRICO					2.559,80

Fuente: elaboración propia

3.2.6 Carga de calor por personas: Esta carga de calor determina el flujo de calor sensible y latente de las personas que ocupan el espacio acondicionado dependiendo de la actividad. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{sensible} = q_s * NP * FCE$$

Q: total de Ganancia de calor sensible por personas.

qs o ql: ganancia de calor sensible o latente por persona.

NP: número de personas.

FCE: almacenamiento de parte de la ganancia de calor por personas, propósitos generales.

Tabla 3. 18: Carga de calor por personas sensible y latente

PERSONAS Actividad	Cantidad	qs (actividad)	ql (actividad)	FCE (factor de almacenamiento)	GANANCIA DE CALOR SENSIBLE	GANANCIA DE CALOR LATENTE Q
Sentados espectadores	0	210	140	1	0,0	0,0
Sentado oficina	3	230	190	1	690,0	570,0
Sentado comiendo	0	255	325	1	0,0	0,0
Trabajo liviano	2	255	255	1	510,0	510,0
CARGA DE CALOR POR PERSONAS					1.200,00	1.080,00

Fuente: elaboración propia

3.2.7 Carga de calor por infiltraciones: Esta carga de calor hace referencia al calor que entra a la oficina acondicionado por la infiltración de aire por ranuras o fisuras desde sitios no acondicionados.

Esta carga de calor determina la infiltración. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{infiltracion} = long(puertas , ventanas) * Ti * Q$$

Q_{inf}: total de Ganancia de calor por infiltraciones

Long: puertas o ventanas

T_i: tasa de infiltración

Q: caudal = long*t_i

Tabla 3. 19: Carga de calor por infiltración

CARGA DE CALOR POR INFILTRACIÓN	Longitud de la fisura (mts) (Ventana-Puerta)	tasa de infiltración (cfm/ft)	Caudal (cfm)	Total cfm	GANANCIA DE CALOR SENSIBLE Q (Btu/h)	GANANCIA DE CALOR LATENTE Q (Btu/h)
	12,58	0,5	20,63			
	6,26	0,7	14,37	35,00416	637,6	478,9
CARGA DE CALOR POR INFILTRACIÓN					637,60	478,90

Fuente: elaboración propia

Resumen carga de calor oficina No 01

Tabla 3. 20: Resumen carga de calor oficina No 01.

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA DE CALOR	CALOR SENSIBLE (Btu/h)	CALOR LATENTE (Btu/h)
Conducción por Barreras externas (Cubierta, paredes, puerta y ventanas)	6.208,5	
Radiación a travez de vidrios	7.473,0	
Conducción por Barreras internas (Cubierta, paredes, y entre-piso)	7.796,6	
Iluminación	639,9	
Equipo eléctrico	2.559,8	
Personas	1.200,0	1.080,00
TOTAL CARGA DE CALOR	25.877,8	1.080,0
FACTOR DE CALOR SENSIBLE	0,96	

Fuente: elaboración propia

3.2.8 Determinación de caudal de aire para ventilación: Para el cálculo del caudal de aire requerido para ventilación lo hacemos a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{aire renovacion}} = NP * CFM \text{ por persona}$$

El dato de CFM por persona se obtiene de la tabla requisitos de ventilación.

Tabla 3. 21: Caudal de aire para ventilación

Recinto	Numero de personas	CFM/ persona	CAUDAL DE AIRE EXTERIOR(CFM)
Oficina No 1	5	5,0	25

Fuente: elaboración propia

3.2.9 Determinación carga de calor por ventilación: El cálculo de la carga de calor por ventilación, se refiere al calor que aporta el aire de ventilación. Se usa la siguiente ecuación:

$$Mv = Qaire * V$$

$$Qsv = Mv * Cp * (Text - Tr)$$

$$Qlv = Mv * (We - Wr) - 1060btu/lb$$

Qsv: carga de calor sensible de ventilación.

Mv: masa de aire de ventilación.

V: volumen especifico del aire.

Cp: calor especifico del aire 0.24 Btu/hrft2F

Tr: temperatura de bulbo seco del recinto.

Te: temperatura de bulbo seco exterior

We: humedad absoluta exterior.

Wr: humedad absoluta del recinto.

Tabla 3. 22: Calculo carga de térmica del aire para ventilación

	Temp (T, F)	Humedad absoluta (W, Lb/lbas)	Volumen especifico (v, Ft3/Lb)	Caudal de aire (CFM)	Masa de aire (lb/h)	GANANCIA DE CALOR SENSIBLE Q (Btu/h)	GANANCIA DE CALOR LATENTE Q (Btu/h)
Condiciones internas	72	0,009246	13,6	25,00			
Condiciones externas	95	0,016912	13,6	25,00	110	608,8	896,2
CARGA DE CALOR POR VENTILACIÓN						608,80	896,20

Fuente: elaboración propia

3.2.10. Determinación calculo caudal de aire a suministrar: A partir del análisis de cargas térmicas se calculó el caudal de aire utilizando las siguientes ecuaciones:

$$V = Mi * V$$

$$Mi = \frac{Qts}{(Cp * (Tr - Ti))}$$

$$Ti = Tr - (Tr - Ts) * (1 - FB) + Ct ductos$$

V: caudal de aire

Mi: masa de impulsión de aire

V: volumen específico del aire 13.3 lb/ft³

Qts: carga de calor sensible total del recinto.

Cp: calor específico del aire 0.24 Btu/lbF

Tr: temperatura de bulbo seco del recinto.

Ti: temperatura de bulbo seco de impulsión de aire (Salida equipo de aire acondicionado)

Ts: temperatura de saturación para línea de proceso en este caso 50 F.

FB: factor de bypass típico 0.1

CT: ducto estimado en 0 F

Tabla 3. 23: Caudal de aire a suministrar

Recinto	Calor Sensible	Cp aire (Btu/lbF)	Tr (Temp del recinto)	Ti (Temp impulsión de aire)	Masa de aire (lb/h)	Caudal de aire (CFM)
OFICINA No 1	25.878	0,24	72	53,1	5.705,0	1.267,5
TOTAL CAUDAL DE AIRE						1.267,50

Fuente: elaboración propia

3.2.11 Determinación cálculo de la capacidad de enfriamiento del equipo de aire

acondicionado: el cálculo de la capacidad del equipo, involucra la carga térmica de la construcción y la carga de calor del aire exterior que se requiere introducir al local para cumplir el requerimiento de la ventilación. y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q \text{ maquina absorcion} = Q \text{ recinto} + Q \text{ ventilacion}$$

Tabla 3. 24: Caudales de aire a manipular por el equipo.

	Caudal CFM	Porcentaje
Caudal de aire impulsión	1.268	100,00
Caudal de aire retorno	1.243	0,98
Caudal aire toma de aire	25	0,02

Fuente: elaboración propia

Resumen carga de calor del equipo para el piso No 05

Tabla3. 25: Total carga de calor para oficina 1 del piso No 5.

	CALOR SENSIBLE (Btu/h)	CALOR LATENTE (Btu/h)
Carga de calor del recinto	25.878	1.080
Carga de calor por ventilación	609	896
Carga de calor por infiltración	638	479
TOTAL CARGA DE CALOR	27.124	2.455
CAPACIDAD DEL EQUIPO (TR) (Kw)	2,46	8,67

Fuente: elaboración propia

El resumen de los cálculos de la carga térmica para el piso quinto, se muestra en la tabla 3.26

Tabla 3. 26: Total carga de calor para piso No 5

CARGAS DE CALOR POR	GANANCIA DE CALOR SENSIBLE Q (Btu/h)	GANANCIA DE CALOR LATENTE Q (Btu/h)
Barreras externas	27.720,30	
Radiación vidrio	32.650,70	
Barreras internas	51.710,30	
Iluminación	3.839,40	
Equipo eléctrico	21.502,10	
Personas	9.960,00	8.760,00
Infiltración	3.987,90	3.163,90
Ventilación	3.896,60	5.735,80
CARGA # 5 (btu/h)	155.267	17660
TOTAL CARGA (Kw)	50,7	

Fuente: elaboración propia

El resumen de los cálculos de cada oficina y del edificio se muestra en la tabla 3.27.

Tabla 3. 27: Resumen de cargas térmicas por oficina y total del edificio.

	OFICINA 1		OFICINA 2		OFICINA 3	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO	27.124	2.455	30.523	3.632	30.619	3.632
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL Btu/hr	29.579		34.154		34.251	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL TR	2,46		2,85		2,85	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL kW	8,67		10,01		10,04	
CAUDAL DE AIRE (CFM)	1.268		1.420		1.424	
CAUDAL DE AIRE DE RENOVACIÓN (CFM)	25		35		35	
CAUDAL DE AIRE DE RECIRCULACIÓN (CFM)		1.243		1.385		1.389
CAUDAL DE AGUA PARA FANCOILS (l/s)	0,45	l/s	0,45	l/s	0,45	l/s
	OFICINA 4		OFICINA 5		OFICINA 6	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO	29.537	3.263	18.266	2.524	19.199	2.155
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL Btu/hr	32.799		20.790		21.354	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL TR	2,73		1,73		1,78	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL kW	9,61		6,09		6,26	
CAUDAL DE AIRE (CFM)	1.377		838		893	
CAUDAL DE AIRE DE RENOVACIÓN (CFM)	30		20		15	
CAUDAL DE AIRE DE RECIRCULACIÓN (CFM)		1.347		818		878
CAUDAL DE AGUA PARA FANCOILS (l/s)	0,45	l/s	0,29	l/s	0,29	l/s
	TOTAL PISO 5		TOTAL EDIFICIO (10) PISOS			
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO	155.267	17.660	1.552.673		176597	
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL Btu/hr	172.927		1.729.270			
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL TR	14,41		144,11			
CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TOTAL kW	50,69		506,88			
CAUDAL DE AIRE (CFM)	7.219		72.187			
CAUDAL DE AIRE DE RENOVACIÓN (CFM)	160		1.600			
CAUDAL DE AIRE DE RECIRCULACIÓN (CFM)		7.059	70.587			
CAUDAL DE AGUA PARA FANCOILS (l/s)	2,38	l/s	23,80		l/s	

Fuente: elaboración propia

Debido a que los cálculos fueron realizados para un día crítico (mayor temperatura) a una hora crítica, el resultado tuvo un factor de seguridad que asegura eficiencia en la operación; el resultado obtenido para todo el edificio es de 1.729.270 BTU/h, lo que equivale a 506.88 kW o 144.11 TR; además se calculó el caudal de agua que necesita el sistema fancoil para su funcionamiento.

3.3 Uso de software dinámico:

Mediante el software dinámico de la empresa americana Taco Hidronic systems & components, se calculó nuevamente la carga de refrigeración. Aunque el software está diseñado para ciudades americanas, se tomó una ciudad con características similares a Villavicencio. El procedimiento efectuado fue el siguiente:

- Se introdujeron los datos de posicionamiento geográfico, junto con características climáticas de la ciudad.
- Se ingresaron las características del edificio.
- Se ingresaron los valores U de los materiales en los que está construido el edificio (muros, piso, techo, particiones, ventanas y sombras).
- Se cargó cada piso con las dimensiones, la cantidad de personas, equipos, condiciones de ventilación, renovaciones aire hora, etc.
- Se cargaron los materiales, áreas y porcentaje de áreas de ventanas con respecto a la posición geográfica de muros y ventanas.

Una vez ingresado la anterior información se obtuvieron resultados para todos los meses del año y cada hora del día, sin embargo, se observó que existe una carga pico definida para un mes específico y una hora específica, y que la carga total para cada piso no varía; es decir, para determinar la carga total del edificio, es necesario sumar la carga de cada piso. Los resultados se muestran en las siguientes gráficas.

Figura 3. 1. Datos cálculo de carga térmica para refrigeración edificio (piso 1)

	Sensible BtuH	Latent BtuH	Losses BtuH	Int. Gain BtuH
Window Transmission	2181		0	
Window Solar	31228			
Wall Transmission	885		0	
Wall Solar	-38			
Roof Transmission	4573		0	
Roof Solar	-311			
Partition	0		0	
Floor	572		0	
Infiltration	0	0	0	
Lights	18121			18121
People	10000	8000		10000
Equipment	14509	0		14509
Sub Total	81719	8000	0	42629
Safety Factor	0	0	0	
Sub Total	81719	8000	0	42629
Ventilation	21966	47116	0	
Total	103684	55116	0	42629

Fuente: software Taco Hidronic systems & components.

Figura 3. 2. Resultado carga térmica para refrigeración edificio (piso 1)

General		Peak Loads		Peak Flows	
Area (ft²)	6351	Cooling	Heating	Cooling	Heating
Volume: (ft³)	60338	Total Hourly Load: (BtuH)	158801	Water Flow (gpm)	31,8
Sensible Heat Ratio w/o Vent:	,91	Total Load: (BtuH)	158801	Air Flow Room Peak (cfm)	6030
Sensible Heat Ratio With Vent:	,65	Total Load: (BtuH/ft²)	25,0	Air Flow Room Peak (cfm/ft2)	,9
		Total Load: (Ton)	13,2	Air Flow Room Peak (AC/hr)	6
		Total Load: (ft²/Ton)	480	Return Airflow (cfm)	6030
				Exhaust Airflow (cfm)	0
				Infiltration Airflow (cfm)	101
				Ventilation Airflow (cfm)	1270

Fuente: software Taco Hidronic systems & components.

Se observan los resultados para el piso No 1 de una carga total de **158.801 BTU/h.**

Figura 3. 3. Datos cálculo de carga térmica para refrigeración edificio (piso 10)

Taco Load Program: CALCULO DE CARGA TERMICA EDIFICIO ALCALDIA VILLAV

File Help

Project Weather Building Master Data Rooms Terminal System Results

Rooms Terminals Systems Building

Defined Rooms: Month << 7 >> Hour << 15 >> Peak Month 7 Peak Hour 15 Go To Peak

	Sensible BtuH	Latent BtuH	Losses BtuH	Int. Gain BtuH
Window Transmission	3420		0	
Window Solar	32961			
Wall Transmission	743		0	
Wall Solar	-8			
Roof Transmission	4573		0	
Roof Solar	-1829			
Partition	0		0	
Floor	572		0	
Infiltration	0	0	0	
Lights	32487			32487
People	10000	8000		10000
Equipment	26012	0		26012
Sub Total	108931	8000	0	68499
Safety Factor	0	0	0	0
Sub Total	108931	8000	0	68499
Ventilation	21968	47116	0	0
Total	130897	55116	0	68499

Fuente: software Taco Hidronic systems & components.

Figura 3. 4. Resultado carga térmica para refrigeración edificio (piso 10)

General		Peak Loads		Peak Flows	
Area (ft²)	6351	Cooling	Heating	Cooling	Heating
Volume: (ft³)	60338	Total Hourly Load: (BtuH)	186013	Water Flow (gpm)	37,2
Sensible Heat Ratio w/o Vent:	,93	Total Load: (BtuH)	186013	Air Flow Room Peak (cfm)	7490
Sensible Heat Ratio With Vent:	,70	Total Load: (BtuH/ft²)	29,3	Air Flow Room Peak (cfm/ft2)	1,2
		Total Load: (Ton)	15,5	Air Flow Room Peak (AC/hr)	7
		Total Load: (ft²/Ton)	410	Return Airflow (cfm)	7490
				Exhaust Airflow (cfm)	0
				Infiltration Airflow (cfm)	101
				Ventilation Airflow (cfm)	1270

Fuente: software Taco Hidronic systems & components.

Se observan los resultados para el piso No 10 de una carga total de **186.013 BTU/h**. En conclusión, La carga térmica obtenida mediante el software es de 1.615.222 BTU/h lo que equivale a 473 kW o 134,60 TR.

Con base en los datos obtenidos mediante los dos métodos se efectuó un análisis de sensibilidad, mostrado en la tabla 3.28

Tabla 3. 28: Análisis de sensibilidad de cargas térmicas

Resultado		Carga termica
Calculo cargas enero a las 15 horas (kW)		506,88
Uso software dinamico de la empresa americana Taco Hidronic systems & components (kW)		473,00
n	Numero de datos	2
media	Media aritmética (kW)	489,9
σ	Desviación típica poblacional	16,9
S	Desviación típica muestral	24,0
Σx	Suma de los "n" datos	979,9
ΣX^2	Suma de los cuadrados	480656,3
Min	Valor mínimo de datos	473,0
Q1	Cuartil 1	481,5
Mediana	Mediana o cuartil 2	489,9
Q3	Cuartil 3	498,4
Max	Valor máximo de los datos	506,9
Mediana	489,9	kW
	139,3	TR

Fuente: Elaboración propia datos estadísticos.

Se determinó que la carga térmica para refrigeración es de **490 kW**.

3.4 Diseño sistema enfriamiento por absorción asistido por energía solar y gas natural

3.4.1 Diseño sistema de colectores solares: Teniendo en cuenta el marco teórico, se definió que el captador solar a usar es un tubo de vacío de flujo directo, F DIRECTO 20; captador solar de alto rendimiento, con pérdidas técnicas bajas y aprovechamiento de la luz solar difusa. Ver anexo J, características técnicas de captador solar.

- **Calculo perdidas por orientación en captadores solares:** Debido al cambio de posición del sol durante el año, la inclinación ideal de los colectores varía en función de la latitud del lugar. Los captadores se situaron de tal forma que a lo largo del periodo anual de utilización aprovecharan al máximo la radiación solar disponible. En general se procura que la radiación

solar incida perpendicularmente sobre la superficie del captador al medio día solar del día medio de la época de utilización del equipo. Como los captadores se usarán durante todo el año se orientaron a 10 ° (CENSOLAR 1993a, Borja 2003 y Borja, González y Quintero 2004, 2006). Para la latitud de Villavicencio de 4° y con el incremento recomendado de 10°, teniendo en cuenta que el proyecto opera durante todo el año, la inclinación solar para los captadores se recomendó de 15°

Mediante la tabla 3.29, se determinó el factor de corrección *k* por inclinación de 15 ° para una latitud de 4°, para todos los meses del año.

Tabla 3. 29: Factor de corrección *k* por inclinación de 15° para una latitud de 4°

Inclinación	MES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15°	1,05	1,02	0,98	0,94	0,9	0,88	0,9	0,93	0,98	1,03	1,06	1,07

Fuente: (rodríguez y Gonzales 1992, CENSOLAR y Gorya, Pincay y Roncacion 2004)

Como los captadores se encuentran ubicados hacia el sur, se tomó el factor de corrección por orientación *k'* igual a 1. Como alrededor del edificio no existen sombras, el factor de corrección por sombras *k''* es 1. Dadas las condiciones de operación y la ubicación geográfica de Colombia, los captadores solares deben tener una inclinación de 15° con respecto a la horizontal y orientados hacia el sur. La tabla 3.30 muestra el cálculo de la radiación solar efectiva por metro cuadrado día Villavicencio.

Tabla 3. 30: Radiación efectiva por m² día. Villavicencio

1	2	3	4	5	6	7
No días	MES	Radiación por m² de sup horizontal y día en Villavicencio.	Factor de corrección inclinación K (inclinación 15°)	Factor corrección orientación K''	Factor corrección sombras k''''	Radiación efectiva por m² y día
		(Mj/m²dia)				(MJ/m²dia)
31	Enero	17,64	1,05	1	1	18,52
28	febrero	18,36	1,02	1	1	18,73
31	Marzo	17,64	0,98	1	1	17,29
30	Abril	17,64	0,94	1	1	16,58
31	Mayo	16,20	0,9	1	1	14,58
30	Junio	16,20	0,88	1	1	14,26
31	Julio	17,64	0,9	1	1	15,88
31	Agosto	16,20	0,93	1	1	15,07
30	Septiembre	17,64	0,98	1	1	17,29
31	Octubre	16,20	1,03	1	1	16,69
30	Noviembre	14,40	1,06	1	1	15,26
31	Diciembre	14,40	1,07	1	1	15,41

Fuente: elaboración propia. Datos IDEAM

Una vez definida la inclinación del captador, se calculó la distancia mínima entre captadores, para que no se presenten sombras y trabajen de manera eficiente, se usaron las siguientes ecuaciones:

$$\alpha_{\min} = 90^\circ - \text{latitud de emplazamiento} - 23,5^\circ$$

$$d1 = \frac{z}{\text{tg}\alpha_{\min}} = \frac{L * \text{sen}\beta}{\text{tg}\alpha_{\min}}$$

$$\alpha_{\min}: 90^\circ - 4^\circ - 23,5^\circ = 62,5^\circ$$

$$z: L * \text{sen } 15^\circ = 2,021 * 2,588 = 5,23 \text{ m}$$

$d1 = 5,23 / 1,917 = 2,72 \text{ m} = 272 \text{ mm}$, como factor de seguridad se tomó 340 mm y así tener holgura en la configuración del trazado. Ver anexo B (planos).

- **Calculo de rendimiento de captador solar:** Se aplicó ecuación cuadrática del marco teórico según norma europea para el cálculo del rendimiento del captador así:

Se tomaron los datos del catálogo del captador escogido, ver anexo J

No: 76%

α_1 : 1,70 W/m² °C

α_2 : 0,0034 W/m² °C

t_m : 58°C (entrada 21°C y salida 95°C)

t_a : depende del mes en estudio se determinó, según datos instituto de hidrología y meteorología y estudios ambientales de Colombia.

Superficie del colector= 3,03 m²

Numero de colectores= 59 unidades, se determinaron según configuración y espacio de la cubierta, ver anexo B (planos)

Superficie de captador= 178,8 m²

Capacidad estanque de acumulación= 56 lt/m²

Volumen de acumulación= 10,011 m³

En la tabla 3.31 se presentan el resultado de los cálculos del rendimiento del captador solar.

Tabla 3. 31: Rendimiento de captador solar.

mes	días_mes	Temperatura			Rad total dia/mes	I_ns_hora [kW/m2]	Radiación Acumulada mensual kW h/m2 mes	$\frac{(t_f - t_a)}{I_{ns}}$	$\frac{(t_f - t_a)^2}{I_{ns}}$	Rendimiento captador %
		Entrada agua °C	Salida agua °C	exterior °C						
Enero	31	21,0	95,0	26,2	5,15	0,935	159,65	0,0340	1,0820	69,8%
Febrero	28	21,0	95,0	26,9	5,20	1,155	145,60	0,0269	0,8372	71,1%
Marzo	31	21,0	95,0	26,4	4,80	1,066	148,80	0,0296	0,9363	70,6%
Abril	30	21,0	95,0	25,4	4,61	1,023	138,30	0,0319	1,0392	70,2%
Mayo	31	21,0	95,0	24,9	4,05	0,899	125,55	0,0368	1,2183	69,3%
Junio	30	21,0	95,0	24,2	3,96	0,880	118,80	0,0384	1,2989	69,0%
Julio	31	21,0	95,0	23,9	4,41	0,979	136,71	0,0348	1,1872	69,7%
Agosto	31	21,0	95,0	24,5	4,19	0,930	129,89	0,0360	1,2073	69,5%
Septiembre	30	21,0	95,0	25,0	4,80	1,066	144,00	0,0309	1,0211	70,4%
Octubre	31	21,0	95,0	25,1	4,64	0,842	143,84	0,0391	1,2851	68,9%
Noviembre	30	21,0	95,0	25,1	4,24	0,941	127,20	0,0350	1,1500	69,7%
Diciembre	31	21,0	95,0	25,4	4,28	0,778	132,68	0,0419	1,3666	68,4%
TOTALES					4,53	0,96	1651,02			69,7%

Fuente: UBB

- Energía total mensual necesaria para la máquina de absorción:**

Se determinó la radiación útil mensual multiplicando el rendimiento del captador por la radiación acumulada mensual.

La energía que necesita la máquina de absorción se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Energia\ Maquina\ de\ absorcion = Consumo\ energetico\ refrigeracion / COP$$

Donde, COP= relación entre frío producido y energía consumida, para máquinas de absorción de simple efecto mezcla agua bromuro de litio el COP es 0,7. (Hernández D 2012).

El COP depende de la temperatura de producción de agua fría, de la temperatura de aporte de agua caliente, y de la temperatura de disipación disponible, (Rufes M 2010).

Para el cálculo de la energía necesaria para cubrir la demanda

$$Energia\ necesaria\ para\ cubrir\ demanda = energia\ maquina\ de\ absorcion / (n * m)$$

Donde, n= rendimiento de captador solar, calculado según fórmula cuadrática

El resultado de los cálculos se presenta en la tabla 3.32

Tabla 3. 32: Energía que necesita máquina de absorción.

mes	Consumo Total Energía Refrigeración	COP.(Maquina simple efecto)	Energía que necesita maquina de absorción	Rendimiento captador	Coefi perd (entre 0,9 y 0,85)	Energía necesaria cubrir demanda
	kW-h/mes		kW-h/mes	%	f	kW-h/mes
Enero	31.596,6	0,7	45.138,1	69,8%	0,85	76.027,4
Febrero	32.228,6	0,7	46.040,8	71,1%	0,85	76.140,7
Marzo	34.105,4	0,7	48.722,0	70,6%	0,85	81.138,8
Abril	22.117,7	0,7	31.596,6	70,2%	0,85	52.931,6
Mayo	20.891,7	0,7	29.845,3	69,3%	0,85	50.645,8
Junio	14.408,1	0,7	20.583,0	69,0%	0,85	35.081,5
Julio	16.206,4	0,7	23.152,0	69,7%	0,85	39.090,7
Agosto	20.531,5	0,7	29.330,7	69,5%	0,85	49.676,6
Septiembre	28.778,2	0,7	41.111,7	70,4%	0,85	68.710,2
Octubre	28.917,2	0,7	41.310,4	68,9%	0,85	70.514,4
Noviembre	21.372,0	0,7	30.531,4	69,7%	0,85	51.558,6
Diciembre	28.778,2	0,7	41.111,7	68,4%	0,85	70.702,3
TOTAL	299.931,6		428.473,7	69,7%		722.218,8

Fuente: elaboración Propia

- **Aplicación del método de la carta F, para calculo de cobertura solar:**

Se corrigió el volumen por acumulación y por temperatura, mediante las siguientes ecuaciones:

$$Cv = \left(\left(\frac{V/Sup\ captador}{75} \right) \right)^{-0,25}$$

$$Ct = (11,6 + 11,8 * Ts + 3,86 * Tagua - 2,32 * Text) / (100 - Text)$$

Se calculó D1 y D2 mediante las siguientes ecuaciones:

$$D1 = \frac{no * ,95 * ,96 * Radiacion\ mes\ acumulada * Sup\ captador}{energia\ maquina\ absorcion}$$

para el calculo de D1, se tomó el coeficiente de pérdidas no= 0,76, la superficie del captador solar = 178,8 m² y la energía mensual que necesita la máquina de absorción.

$$D2 = \frac{(\alpha1 * ,95 * (100 - Temp\ ext) * 24 * \#dias * Sup\ captador)}{energia\ maquina\ absorcion} * Cv * Ct$$

Para D2 se tomó $\alpha_1 = 1,70 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, la superficie del colector solar = $178,8 \text{ m}^2$, el número de días de cada mes, la temperatura exterior en $^\circ\text{C}$ y la energía mensual que necesita la máquina de absorción.

Una vez determinada la corrección por volumen y temperatura, se procedió al calculo de la de la carta F mediante la ecuación enunciada en el marco teórico, se calculó la cobertura solar mediante la multiplicación del % de la carta F por la energía que necesita la máquina de absorción, el resultado de los cálculos se presenta en la tabla 3.33

Tabla 3. 33: Aporte solar calculado mediante carta F

Mes	Coeficientes fórmula Carta F		Corrección por volumen acumulación y temp		Temp de agua en villavicencio	Carta- F	Aporte solar mensual
	D2	D1	Cv	Ct	$^\circ\text{C}$	f	kW-h/mes
Enero	0,767	0,438	1,076	2,029	22,50	35,69%	27.137,3
Febrero	0,693	0,392	1,076	2,090	23,70	32,27%	24.573,3
Marzo	0,737	0,378	1,076	2,112	24,10	30,85%	25.033,6
Abril	1,103	0,542	1,076	2,089	23,60	41,99%	22.227,7
Mayo	1,177	0,521	1,076	2,024	22,30	39,88%	20.199,3
Junio	1,615	0,715	1,076	1,961	21,00	51,82%	18.179,6
Julio	1,440	0,732	1,076	1,896	19,70	54,03%	21.119,7
Agosto	1,108	0,549	1,076	1,862	19,10	42,46%	21.094,5
Septiembre	0,754	0,434	1,076	1,849	18,90	35,42%	24.337,5
Octubre	0,781	0,431	1,076	1,864	19,20	35,04%	24.709,9
Noviembre	1,042	0,516	1,076	1,900	19,90	40,31%	20.782,5
Diciembre	0,820	0,400	1,076	1,955	21,00	32,16%	22.738,9
						39,3%	272.134,0

Fuente: UBB

El promedio por aporte solar es de 39.3%, es bajo, debido a que la máquina de absorción de simple efecto tiene un COP de 0,7 esto quiere decir que la operación de la máquina de absorción demanda mayor energía solar para su funcionamiento y por ende mayor aporte solar. El mes de junio presenta el menor aporte solar debido a menor demanda de refrigeración y baja radiación solar.

3.3.2 Diseño de sistema hidráulico

- **Sistema de tuberías y accesorios:** El trazado del sistema de distribución de agua fría y retorno de agua caliente se determinó con la técnica de equilibrado mediante el retorno invertido. Ver trazado en los planos anexo B.

Se definieron cuatro circuitos de distribución de agua, ver Anexo B

Para el cálculo de las pérdidas se siguió procedimiento descrito en el marco teórico del capítulo dos. A continuación, se describe el cálculo de las pérdidas para cada tramo así:

Tramo A.B

Se asumió el Q fabricante 70l/ (h.m²), pues debe estar entre el rango de (120l/h - 300 l/h).

Las medidas del captador son 150mm x 202 mm

El tramo O.A, alimenta 59 captadores.

Luego el Q = 59 x 70 x3.03 = 12513,09 l/h

Asumimos un diámetro interno según uso comercial, para este tramo fue 62,61 mm

Velocidad= 0.354x Q/ D²= 0.354 *12513,09/(62,61²) = 1.13 m/s

La pérdida de carga unitaria fue

H= 378x Q^{1.75}/D^{4.75}= 378x (12513,09) ^{1.75}/ (62,61) ^{4.75} = 16.36 mm ca

Como es un fluido con agua gliconada se corrigió la pérdida así:

HCorregida= 16.36 x 1.345 = 22,01 mm ca < a 40 mm ca

Hprimaria total = HCorregida x L = 21.60 x 4,53 = 99,69 mm ca

De la misma forma, se calculó cada tramo, se determinaron pérdidas de carga primarias y secundarias, cuyo resultado se presenta en las tablas del anexo K.

Se verificó que los cuatro circuitos estuvieran equilibrados; En la tabla 3.34 se muestran las rutas y las perdidas en cada circuito en mm ca

Tabla 3. 34: Rutas de pérdidas en circuitos

Circuito No 01				Circuito No 02				Circuito No 03				Circuito No 04			
Ruta	H total	Ruta	H total	Ruta	H total	Ruta	H total	Ruta	H total	Ruta	H total	Ruta	H total	Ruta	H total
A-B	462,76	A-B	462,76	A-D	85,49	A-D	85,49	A-D	85,49	A-D	85,49	A-D	85,49	A-D	85,49
B-C1	7,76	B-C2	30,92	D-E	172,38	D-E	172,38	D-E	172,38	D-E	172,38	D-R	405,07	D-R	405,07
1-3	24,87	2-3	5,25	E-F	533,78	E-F	533,78	E-M	318,17	E-M	318,17	R-T	54,52	R-S	14,00
				F-H	71,40	F-G	71,40	M-O	90,24	M-N	23,91	T-V	119,67	18-20	63,58
				H-J	67,03	4-7	45,41	O-Q	64,79	17-16	87,11	V-X	46,50	20-22	80,60
				J-L	85,28	7-9	87,63	13-14	10,67	16-14	54,54	23-24	4,73	22-24	68,37
				10-11	12,42	9-11	29,36								
				11-25	55,17	11-25	55,17								
	495,39		498,94		1082,96		1080,63		741,74		741,60		715,99		717,11

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.34, los circuitos están equilibrados, puesto que la pérdida de carga para cada ruta coincide y su diferencia es mínima; esto quiere decir que por cada captador circulará el mismo caudal, lo que indica que se tendrá un salto térmico similar en todos los circuitos. El circuito No 1, es el circuito crítico del sistema, por la ubicación de los captadores en la cubierta del cuarto de máquinas.

- Diseño sistema de bombeo:** El sistema de bombeo se dividió en tres esquemas: un primer equipo que correspondió al sistema de bombeo de suministro de agua, constituido por dos bombas. El sistema se diseñó para brindarle energía a un caudal de 12.513,9 l/h, desde el sótano hasta el piso diez. Un segundo equipo de bombeo para el circuito solar primario, ubicado en la cubierta; se diseñó para vencer las pérdidas de carga del circuito más crítico del sistema. Y un tercer equipo de bombeo para el circuito secundario, constituido por dos bombas en paralelo; el cual debe impulsar un caudal de 11262,5 l/h venciendo una pérdida de carga de .881 m.c.a. ya que todo el circuito secundario está al mismo nivel y no hay que vencer diferencia de cotas. Ver anexo L. Según calculo, se escogió para los tres esquemas lo siguiente: el uso de dos bombas marca Grundfos modelo CM 25-2 con las características técnicas y curva característica para el sistema de distribución de agua; una bomba marca Wilo Yonos Maxo modelo 40/0,5-12 para circuito primario y una bomba marca Wilo Yonos Maxo modelo 50/0,5-9 para el secundario. Ver anexo M.
- Diseño del volumen de expansión:** La tabla 3.35 muestra el cálculo del volumen del vaso de expansión

Tabla 3. 35: Calculo volumen de expansión

Numero de paneles	59,00	un
Volumen del fluido	3,90	lt
Volumen total en captadores	230,10	lt
Volumen en tubería circuito primario	138,20	lt
Volumen total tubería circuito primario	368,30	lt
Volumen de expansión circuito primario	36,83	lt
Volumen total tubería circuito secundario	46,18	lt
Volumen total de la instalación	414,49	lt
Volumen de precarga inicial	20,72	lt
Presión máxima captador	5,09	kg/cm ²
Altura manométrica sobre vaso expansión	5,85	m
Presion de precarga vaso expansión	2,50	kg/cm ²
N= coeficiente de presión	2,35	
Vn=	676,38	lt

Fuente: elaboración propia

El cálculo se efectuó teniendo en cuenta el volumen de agua fría y agua caliente que circula por cada malla, que es directamente proporcional al diámetro calculado. El volumen calculado es de 676 litros, comercialmente se determinó el uso de un vaso de 700 litros. Ver figura 3.5.

• Vasos expansión energía solar						
Código	Artículo	Capacidad l	Presión máx. bar	Dimensiones D x H	Conex. agua Ø	Precarga bar
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima: 130°C • Precarga: 2,5 bar • Apto para el uso hasta 50% anticongelante 					
	MEMBRANA FIJA					
SO 09 033	700 SMR	700	10	700x2145	1-1/2"	2,5

Figura 3. 5: Volumen total de expansión

3.3.3 Diseño de sistema de intercambio: La tabla 3.36 muestra el cálculo de la cantidad de intercambiadores para la instalación solar.

Tabla 3. 36 Cantidad de intercambiadores

superficie de captación	178,9	m ²
P. potencia >= 500*superficie captación	89429,3	W
Caudal específico	12513,9	l/hr
	12,5139	m ³ /hr
	0,00348	m ³ /s
según temperaturas recomendadas		
entrada para el circuito secundario Te2	75	°C
salida para el circuito secundario Te2	90	°C
temperatura media	82,5	°C
densidad agua a esta temperatura	970	kg/m ³
Calor específico de agua a esta temperatura. cp ₂	4,198	kg °C
Caudal másico en el circuito secundario. m ₂ = P/cp ₂ *ΔT	1,420	kg/s
Caudal volumetrico. Q ₂ =m ₂ /ρ ₂	0,0014641	m ³ /s
	5,271	m ³ /hr
Densidad de agua glicolada a 105 °C 35% de etilenglicol		
densidad de etilenglicol	1,112	kg/m ³
densidad agua a 105 °C	0,958	g/cm ³
volumen de agua al 65%	67,85	cm ³
volumen de etilenglicol al 35%	31,47	cm ³
	99,32	
Densidad de agua glicolada a 105 °C	1006,87	kg/m ³
Calor específico de agua glicolada a 105 °C 35% de etilenglicol		
Calor específico etilenglicol	2,409	kJ/(kg °C)
Calor específico agua a 105	4,216	kJ/(kg °C)
volumen de agua al 65%	15,42	
volumen de etilenglicol al 35%	14,53	
	29,95	
	3,34	kJ/(kg °C)
Caudal masico en el circuito secundario. m ₁	3,500	kg/s
ΔT ₁ =P/m ₁ *cp ₁	7,65	°C
T _{s1} =Te ₁ -ΔT ₁	97,35	
ΔT _{m1} =Δt _{min} -Δt _{max} /ln(Δt _{min} /Δt _{max})	7,348	
	1,490	
	0,399	
	18,430	°C
P/Δt _{m1} *scapt*N	27,1	W/m ² K
por tal razon se necesitan 2 intercambiadores		
	27,1	< 40

Fuente Elaboración propia

La transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debe ser menor de $40 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ (Rufes P 2010). Como se observa en la tabla 3.36, la transferencia de calor fue de $27,1 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ lo que determino el uso de otro intercambiador. Mediante software de cálculo se diseñaron los dos intercambiadores, ver anexo N.

3.3.4 Diseño de sistema de acumulación: Según apartado 3,3,3 de la HE4 del código técnico de España.

$$V/S = 10000 \text{ lt}/179\text{m}^2 = 56 > 50 \text{ por tal razón cumple}$$

Se determinó el uso de dos tanques de 5000 litros cada uno, conectados en serie; la instalación cuenta con 10000 litros de acumulación. Los tanques se ubicarán, en posición vertical, en la cubierta del edificio.

Los tanques escogidos corresponden a la marca Fagor y modelo ASF-5000, ver anexo Ñ características y especificaciones tanque de acumulación.

3.3.5 Determinación de Máquina de absorción: La máquina de absorción será ubicada en la cubierta del edificio, mediante el cálculo de la carga térmica la potencia es de 490kW, sin embargo, se escogió una máquina de 465KW, debido al factor de seguridad asumido en el cálculo; la maquina corresponde al MODELO LWM-W014. Ver anexo O.

3.3.6 Determinación sistema de disipación: Para determinar la potencia del sistema de disipación, se usó la siguiente ecuación:

El caudal que ingresa a la máquina de absorción es $37.4 \text{ m}^3/\text{h}/3600\text{s} = 0.01038 \text{ m}^3/\text{s}$

El calor específico fluido calotransportador agua gliconada al 35% = $3.34\text{j}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 3340 \text{ J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$

El salto térmico: Entrada: $35,0 \text{ }^\circ\text{C}$, T salida: $30,0 \text{ }^\circ\text{C}$, Twbulbo: $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P = 0.01038 \cdot 3340 \cdot 5 = 173.5 \text{ kW}$$

La torre de enfriamiento se calculó para una potencia térmica de 179 kW de circuito cerrado El modelo corresponde a una SERIE TVC 017. Ver anexo P.

3.3.7 Diseño de sistema auxiliar: El sistema auxiliar se dimensiono para la mitad de horas de uso, es decir 3.5 horas diarias. Para el cálculo de la potencia de la caldera, se asumió el caudal en función de las necesidades de la máquina de absorción (37,4 m³/h), se resta el caudal de diseño del sistema de captación (12,51 m³/h) y la diferencia debe ser asumida por el sistema auxiliar (24.89 m³/h).

Con base en fórmula de cálculo del marco teórico, a continuación, se presenta el cálculo del sistema auxiliar. Ver tabla 3.37.

Tabla 3. 37: Potencia de la caldera. sistema auxiliar

Edificios	Q	24866	l/h
	horas uso	3,5	h
	G	87031	l
	Qmp	6,91	l/s
Hp= 2hr	Hp	7200	s
H= 10 hr	H	36000	s
	Qmv	1,30	
	tu	95	°C
	te	19	°C
hv= 4hr	hv	14400	s
hp= 1hr	hp	3600	s
	P		
	tu-te	76	
	hv+hp	18000	
	hp*Qmp	24866	
	hv*Qmv	18649,5	
	P	768,000224	kW

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.37, la potencia requerida de la caldera de condensación para quemadores a gas natural fue de 768 kW. Comercialmente se escogió modelo LOGANO PLUS MODELO SK 755 de 730 kW. Ver anexo Q.

- **Diseño red en media presión para suministro de gas natural a la caldera:**

Se tiene una estación reguladora que reduce la presión de 60 psi a 20 psi; el gas es transportado a la caldera desde el sótano en tubería de acero soldada SCH 40; la acometida se conecta a la red principal en tubería de polietileno de 1”.

Con base en la ecuación de Müller, se determinó el diámetro de la tubería que transporta gas natural.

Para determinar el caudal de gas natural se usó:

El caudal de agua a calentar de 24866 l/h,

La temperatura inicial es de 19°C y la final de 95°C

El diferencial entalpico del agua a 19°C=75,544

El diferencial entalpico del agua a 95°C=398,09

Poder calorífico =37497BTU/ m³= 39561,58 kJ/m³

$$\text{Flujo de gas} = Q * \frac{(\text{diferencial entalpico})}{(\text{eficiencia} * \text{poder calorifico gas})}$$

Caudal de diseño= 202 m³/h

La tabla 3.38, muestra el diseño de la red de suministro de gas natural para la caldera.

Tabla 3. 38: Diseño de la red de suministro de gas natural para la caldera

TRAMO	CAUDAL	Ø Nominal	Ø Interior	LONG. TUBERÍA	ACCESORIOS			LONG. EQUIV.	LONG. TOTAL	P1	P2	PERD. TRAMO	PERD. ACUMUL	VEL. TRAMO
					T	C	V							
	m³/hr	Pul.	mm	m				m	m	mbar	mbar			m/s
A-B	202,00	1,5	49,89	6,0	0	1	1	10,4	16,4	1380,0	1365,8	1,03%	1,03%	13,75
B-C	202,00	1,5	49,89	35,0	0	1	0	2,6	37,6	1365,8	1332,5	2,43%	3,46%	13,97
C-D	202,00	1,5	49,89	6,0	1	3	1	20,8	26,8	1365,8	1342,2	1,73%	5,19%	13,91

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3.38 el diámetro calculado para la tubería que transporta el gas natural es de 1.5” y la perdida cumple lo estipulado en la norma NTC 2505. < 10%

3.3.8 Determinación sistema de regulación y control: Con base en marco teórico se escogió un regulador marca SAUTER flexotron 700 referencia RDT708F002, de dos salidas, una para medir temperaturas y otra para activar bombas del sistema solar, los parámetros pueden ser vistos y modificados en una pantalla LCD, ver anexo R.

3.3.9 Diseño sistema hidráulico para transporte de agua fría a fancoil: Se diseñó un circuito cerrado, el cual transporta agua a 7°C producida por la máquina de absorción. El agua se distribuye en forma descendente desde el último piso hasta el primer piso pasando por cada

unidad fancoil. El circuito contempla la recolección de agua usada por unidades fancoils desde el primer piso hasta la cubierta y el retorno a la máquina de absorción. Ver anexo B, planos hidráulicos.

A la salida de la máquina de absorción se diseñó un sistema de bombeo para el caudal de 23.80 l/s y una cabeza de 10 metros columna de agua; buscando aumentar la energía para que el agua usada por unidades fancoil, pueda retornar nuevamente al circuito solar. Ver anexo S.

El resultado del diseño definió, el uso de sesenta (60) unidades fan coils, es decir seis por cada piso; la capacidad de enfriamiento de cada unidad fancoil dependió de la carga térmica calculada; lo que determinó que se debían instalar cuarenta (40) unidades Fan coils tipo casete Serie MUCSW- 36HG (9500 W) con renovación de aire de dos tubos y veinte (20) unidades Fan coils tipo casete Serie MUCSW- 21H (6100 W) con renovación de aire de dos tubos.

Capítulo 4. Evaluación económica

La evaluación económica se realizó en pesos colombianos para el año 2015. Como resultado del diseño técnico elaborado durante el desarrollo de la investigación, se elaboró presupuesto económico de cada uno de los componentes del sistema por absorción y se determinó el costo de mantenimiento, de reemplazo y valor residual de los dos sistemas.

4.1 Presupuesto económico sistema de enfriamiento por absorción.

Una vez se diseñó el sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, se definió por cada componente las actividades y cantidades por unidad de medida. Se elaboró análisis de precios unitarios para cada actividad, se clasificó en costos directos como el análisis de los insumos, maquinaria, mano de obra y herramienta menor, dentro del marco de la ley 1715 de 2014, también se clasificó en costos indirectos, que corresponden a gastos administrativos, imprevistos, utilidades del proyecto.

4.1.1 Costos Directos: Costos invertidos en la compra de insumos o maquinaria, en el uso de la mano de obra directa y el en alquiler o compra de herramienta menor, necesarios para la instalación del sistema, es decir, el costo de todos aquellos recursos que hacen parte de las actividades y que tienen una relación directa con la elaboración del bien o prestación del servicio, razón de ser del proyecto (Anderson H 2015).

- **Análisis de insumos, maquinaria:** Los insumos o maquinaria, para la implementación del sistema de enfriamiento por absorción, fueron cotizados en empresas europeas y asiáticas, por tal razón deben ser importados. Al respecto a través de la ley 1715 de 2014, el estado colombiano reguló la importación de insumos y maquinaria que tenían que ver con la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía, los aspectos más relevantes de la ley, tenidos en cuenta en la investigación fueron:
 - Incentivos a la generación de energías no convencionales: Los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en fuentes de energía no convencionales, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años

siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el 50% del valor total de la inversión realizada. Ver tabla 4.1.

Tabla 4. 1: Renta anual.

INGRESOS	1.448.463.994
COSTOS	1.251.363.543
UTILIDAD BRUTA	197.100.451
GASTOS OPERACIONALES	30.000.000
UTILIDAD OPERACIONAL	167.100.451
OTROS INGRESOS	0
OTROS GASTOS	0
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	167.100.451
EXENCIONES	83.550.226
BASE IMPUESTOS	83.550.226
PROVISIONES IMPUESTO RENTA	20.887.556
PROVISIONES IMPUESTO RENTA CREE ANUAL	7.519.520
RENTA	28.407.077
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS	55.143.149
RESERVA LEGAL	5.514.315
UTILIDAD O PERDIDA DEL EJERCICIO	49.628.834

Fuente: elaboración propia.

- Incentivo tributario IVA: Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, estarán excluidos de IVA del 16%.
- Incentivo arancelario: Las personas naturales o jurídicas que inviertan en proyectos de fuentes de energía no convencionales, gozarán de exención del pago de los derechos arancelarios de Importación⁵ de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de reinversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes.
- Incentivo contable depreciación acelerada de activos: La actividad de generación a partir de fuentes de energía no convencionales, gozará del régimen de depreciación acelerada aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para

⁵ decreto mediante el cual se definen aranceles de importación de productos extranjeros.

generación de energía no convencional. La tasa anual de depreciación asumida fue del 15% como tasa global anual

- **Análisis de mano de obra y herramienta menor:** Colombia cuenta con empresas calificadas en la instalación de sistemas energías renovables, con base en investigación de mercados y análisis de la oferta hecha mediante consultas y cotizaciones, se determinó que el 15% del valor de los insumos o maquinaria, correspondió a costos de mano de obra directa y el 3% del valor de la mano de obra directa a la herramienta menor.

Con las consideraciones anteriores se elaboró el presupuesto de costos directos, del sistema de enfriamiento por absorción asistido por energía solar y gas natural. Ver anexo T.

4.1.2 Costos Indirectos: El costo indirecto proviene de los gastos técnicos y administrativos que son necesarios para desarrollar cualquier proyecto. (Polimeni R 2012).

- **Administración, imprevistos y utilidad:** Los proyectos de esta envergadura, deben ser abordados con buena planeación y programación, la experiencia en la administración de proyectos ha demostrado que los gastos administrativos imprevistos y utilidades del negocio van directamente ligados a los tiempos de ejecución del proyecto. Por ser proyecto oficial, la administración, imprevistos y utilidad, se asumen del 25% de los costos directos.
- **Tramites de importación:** Usualmente los tramites de importación en Colombia tiene un porcentaje del 5% con respecto al valor importado.
- **Costos de arranque y puesta en marcha del sistema:** Actividad de mayor importancia dentro del esquema de montaje, ajuste, calibración de cada uno de los equipos; es la etapa donde se debe capacitar personal operativo, dejar registros, evidencia del funcionamiento del sistema, implementación de manual de operación. Se cotizó la puesta en marcha y por ser una tarea bastante dispendiosa, que requiere de tiempo para la implementación de planes de capacitación, se asumió porcentaje del 10% de los costos directos.
- **Costos de ingeniería y legalización:** La ingeniería de detalle es el resultado del análisis del proyecto, podría describirse como la traducción de los planos tradicionales a planos al

detalle con programación y planeación a bordo. Su desarrollo da como resultado una serie de documentos técnicos necesarios para la planificación y ejecución del proyecto en cuestión de manera rápida y segura, optimizando recursos tanto insumos como de mano de obra. A razón de la experiencia de empresas del mercado en trámites de legalización, planeación y desarrollo de software de ingeniería de detalle, se asumió el porcentaje del 5% de los costos directos.

La tabla 4.2 muestra presupuesto del sistema de enfriamiento por absorción asistida con energía solar y gas natural.

Tabla 4. 2: Presupuesto sistema de enfriamiento por absorción

ITEM	DESCRIPCIÓN	V. MATERIALES	% DE ARANCEL DIAN	EXENCIÓN POR IMPORTACIÓN	V. MANO DE OBRA	V.EQUIPOS	V. TOTAL
1	Sistema de captación solar	\$ 289.206.908	5%	\$ 14.460.345	\$ 69.579.868	\$ 2.781.470	\$ 361.568.246
2	Sistema Hidráulico	\$ 40.505.793	15%	\$ 6.075.869	\$ 6.075.869	\$ 1.215.174	\$ 47.796.836
3	Sistema de intercambio	\$ 6.672.900	15%	\$ 1.000.935	\$ 1.000.935	\$ 30.028	\$ 7.703.863
4	Sistema de acumulación	\$ 53.725.400	5%	\$ 2.686.270	\$ 8.058.810	\$ 1.611.762	\$ 63.395.972
5	Maquina de absorción	\$ 334.907.718	5%	\$ 16.745.386	\$ 50.236.158	\$ 10.047.232	\$ 395.191.107
6	Sistema de disipación	\$ 16.648.030	15%	\$ 2.497.205	\$ 2.497.205	\$ 499.441	\$ 19.644.675
7	Sistema auxiliar	\$ 105.921.252	15%	\$ 15.888.188	\$ 15.888.188	\$ 3.177.638	\$ 124.987.078
8	Sistema de regulación y control	\$ 10.098.322	15%	\$ 1.514.748	\$ 1.514.748	\$ 302.950	\$ 11.916.020
9	Sistema de distrución de agua fría-fancoil	\$ 185.728.597	15%	\$ 27.859.290	\$ 27.859.290	\$ 5.571.858	\$ 219.159.745
SUB TOTAL COSTO DIRECTOS ANTES DE EXENCIONES		\$ 1.043.414.920		\$ 88.728.235	\$ 182.711.071	\$ 25.237.552	\$ 1.251.363.543
EXENCIONES		REDUCCION DE LA RENTA HASTA 50%					\$ 14.203.538,34
		IVA DEL 16%					\$ 143.919.299,31
		DECRETO 4589 DE 2006 ARANCELES DE IMPORTACIÓN					\$ 88.728.235,40
		DEPRECIACIÓN ACCELERADA DE ACTIVOS					\$ 7.160.150,13
		TOTAL EXENCIONES					\$ 254.011.223,19
		TOTAL COSTO DIRECTO MENOS EXENCIONES					\$ 997.352.319,70
COSTOS INDIRECTO		ADMINISTRACIÓN IMPREVISTOS UTILIDAD (25%)					\$ 249.338.079,93
		TRAMITES DE IMPORTACIÓN (5%)					\$ 52.170.746,00
		COSTOS DE ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA (10%)					\$ 99.735.231,97
		COSTOS DE INGENIERÍA Y LEGALIZACIÓN (5%)					\$ 49.867.615,99
		TOTAL COSTOS INDIRECTOS					\$ 451.111.673,88
		COSTOS TOTALES (DIRECTOS MAS INDIRECTOS)					\$ 1.448.463.993,58

Fuente: elaboración Propia

La tabla 4.2 muestra el resumen de costos directos e indirectos. Con respecto a los costos totales, se observó que el sistema de captación solar junto con la máquina de absorción son el 52.25%, que las exenciones dadas por el estado a través de la ley 1715 de 2014 son el 17.54 %, siendo más

representativo el descuento por IVA y que los costos indirectos son el 31,14%; de lo anterior se puede concluir que los sistemas de captación solar y la máquina de absorción representan los mayores costos en el proyecto y presentan los menores porcentajes por aranceles de importación. Es decir, las menores exenciones permitidas por la ley 1715 de 2014. En la gráfica 4.1 se observa el comportamiento de cada sistema dentro de los costos directos.

Grafica 4. 1: % de costos directos sistema de enfriamiento



Se evidencia que la máquina de absorción y el sistema de captación solar son el 61% del costo directo del proyecto, de lo anterior se puede decir que, a pesar de los esfuerzos hechos por el estado a través de la ley 1715 de 2014, la tecnología sigue siendo costosa y las exenciones siguen siendo bajas y generan poco impacto en el valor final del proyecto máxime cuando los incentivos están direccionados a sistemas de poco peso en el costo.

De la misma manera se observó que los costos indirectos dependen de la buena planeación y programación del proyecto, que podrían llegar a ser más bajos si se cuenta con personal técnico calificado que aumente los rendimientos de la instalación y se disminuyan los tiempos de ejecución que incidirían en la disminución de los costos administrativos.

4.2 Costos de mantenimiento, de reemplazo y valor residual para el sistema de enfriamiento por absorción para edificio.

Los costos de mantenimiento tienen fundamentalmente dos componentes; la mano de obra y los repuestos. El costo de mano de obra para mantenimiento, se calculó teniendo en cuenta la norma española UNE-EN-15459, según frecuencia del mantenimiento anual y uso de personal calificado. Para el cálculo de valor de los repuestos se tomó porcentaje del valor del montaje de cada componente, considerando la vida útil de los equipos asumida mediante la norma anterior. Ver anexo U.

Los costos de reemplazo, se basan en observar costos para reemplazar un medio dañado por su estado original como medida de beneficio para la restauración (Vargas N 2009). Para el cálculo se usó la norma española UNE-EN-15459, de donde se tomó la vida útil de cada uno de los equipos, y fueron llevados a valor futuro según años de uso.

El valor residual es el valor final de un activo después de su depreciación y amortización, es decir, al final de su vida útil. El valor residual será relativamente alto si el activo en cuestión puede ser vendido o reutilizado y será muy bajo o nulo si el activo no puede aprovecharse de ninguna manera. Para la definir el valor residual se partió de la suposición de que el sistema después de 25 años, es obsoleto y en el mercado pueden encontrarse nuevos modelos, por tal razón se asumió depreciación de 15%. Ley 1715 de 2014, exenciones.

4.3 Costo anual de energía eléctrica, para operación del sistema de enfriamiento por absorción.

Cada componente del sistema de enfriamiento, necesita para su funcionamiento energía eléctrica, el potencial eléctrico de cada equipo fue tomado de los catálogos del fabricante, la tabla 4.3 evidencia el cálculo de los consumos eléctricos, teniendo en cuenta horas de uso diarias y días en el mes en funcionamiento.

Tabla 4. 3: Consumo mensual de energía eléctrica sistema de enfriamiento por absorción.

COMPONENTES SISTEMA ABSORCIÓN	Vida útil	Potencia eléctrico	Cantidad	Horas uso	Días de uso	Consumo mensual
	Años	kWh				kWh
Sistema Hidráulico	40	1,5	3	8	20	720
Sistema de intercambio	15	0,05	2	8	20	16
Sistema de acumulación	30	0,1	1	8	20	16
Maquina de absorción	20	1,5	1	8	20	240
Sistema de disipación	10	1	1	8	20	160
Sistema auxiliar	20	1	1	8	20	160
Sistema de regulación y control	15	0,565	1	8	20	90,4
Sistema de distrución de agua fría- (fan coils)	10	0,1	60	8	20	960
						2362,4

Fuente: elaboración propia

El consumo de energía eléctrica por uso del sistema de refrigeración es de 2362.4 kWh. El 30.47 % de este consumo es usado para operación del sistema hidráulico. El 40.63 % para funcionamiento del sistema fancoil, los otros consumos no son significativos, pero representa ahorro en consumos de energía eléctrica.

Con base en las tarifas de energía eléctrica para el año 2015, y suponiendo consumo eléctrico constante eléctrico, se determinó el valor del costo anual por operación del sistema por absorción. Ver tabla 4.4

Tabla 4. 4: Costos anual de energía eléctrica para operación sistema de enfriamiento por absorción.

MES	VALOR Kwh	ENERGÍA CONSUMIDA Kwh	VALOR (PESOS) ABSORCIÓN
ENERO	\$ 414,04	2362,4	\$978.128,10
FEBRERO	\$ 398,21	2362,4	\$940.731,30
MARZO	\$ 393,44	2362,4	\$929.462,66
ABRIL	\$ 413,79	2362,4	\$977.537,50
MAYO	\$ 405,49	2362,4	\$957.929,58
JUNIO	\$ 410,37	2362,4	\$969.458,09
JULIO	\$ 402,50	2362,4	\$950.866,00
AGOSTO	\$ 408,89	2362,4	\$965.961,74
SEPTIEMBRE	\$ 420,56	2362,4	\$993.530,94
OCTUBRE	\$ 430,30	2362,4	\$1.016.540,72
NOVIEMBRE	\$ 441,39	2362,4	\$1.042.739,74
DICIEMBRE	\$ 429,61	2362,4	\$1.014.910,66
COSTO ANUAL POR OPERACIÓN			\$11.737.797,02

Fuente: elaboración propia

4.4 Costo anual de gas natural, para operación del sistema de enfriamiento por absorción.

En el sector oficial para el año 2015, el valor de un metro cubico promedio mensual de gas natural según la CREG⁶, fue de \$1161 /m³. La tabla 4.5 muestra el consumo y ahorro mensual por uso de gas natural para operación del sistema de enfriamiento por absorción.

Tabla 4. 5: Costo anual de gas natural para operación sistema de enfriamiento por absorción

mes	Aporte solar mensual	Aporte combustible mensual	Consumo de gas natural	Tarifa Gas Natural	Costo consumo gas natural	Consumo de energía para refrigeración	Costo total energía de refrigeración	Ahorro mensual
	kW-h/mes	kW h/mes	m ³ /mes	\$m ³ /mes	\$/mes	kW h/mes	\$/mes	\$/mes
ENE	27.137,3	48.890,0	4.125,0	1.161,0	4.789.177,87	31.596,64	13.082.274,2	8.293.096,3
FEB	24.573,3	51.567,3	4.350,9	1.161,0	5.051.440,72	32.228,58	12.833.741,3	7.782.300,6
MAR	25.033,6	56.105,3	4.733,8	1.161,0	5.495.967,16	34.105,42	13.418.435,1	7.922.468,0
ABR	22.227,7	30.703,9	2.590,6	1.161,0	3.007.693,41	22.117,65	9.152.062,5	6.144.369,1
MAY	20.199,3	30.446,5	2.568,9	1.161,0	2.982.486,27	20.891,70	8.471.375,6	5.488.889,4
JUN	18.179,6	16.902,0	1.426,1	1.161,0	1.655.687,28	14.408,07	5.912.639,4	4.256.952,1
JUL	21.119,7	17.971,0	1.516,3	1.161,0	1.760.410,76	16.206,37	6.523.063,8	4.762.653,0
AGOS	21.094,5	28.582,1	2.411,6	1.161,0	2.799.846,46	20.531,50	8.395.124,5	5.595.278,1
SEPT	24.337,5	44.372,7	3.743,9	1.161,0	4.346.664,89	28.778,22	12.102.969,3	7.756.304,4
OCT	24.709,9	45.804,4	3.864,7	1.161,0	4.486.918,69	28.917,25	12.443.091,8	7.956.173,1
NOV	20.782,5	30.776,1	2.596,7	1.161,0	3.014.774,28	21.371,97	9.433.373,6	6.418.599,3
DIC	22.738,9	47.963,4	4.046,9	1.161,0	4.698.406,34	28.778,22	12.363.412,2	7.665.005,9
TOTAL	272.134,0	450.084,8	37.975,4		44.089.474,2	299.931,6	124.131.563,4	80.042.089,2

Fuente: elaboración propia

La tabla anterior, se evidencia que el mes de mayor aporte solar es enero y el de menor aporte es junio debido a las condiciones climáticas favorables y la temporada de lluvias.

La tabla 4.6 muestra el resumen de los costos del sistema de enfriamiento por absorción.

⁶ Ente que regula los precios de los combustibles en Colombia

Tabla 4. 6: Resumen de costos sistema de enfriamiento por absorción

Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural	Inversión Inicial	Costos anual mantenimiento, replazo y valor residual	Costos anual de energía eléctrica
COSTOS INICIALES- INVERSION INICIAL			
Sistema de captación solar	\$ 435.934.170		
Sistema Hidráulico	\$ 51.491.799		
Sistema de intercambio	\$ 8.247.209		
Sistema de acumulación	\$ 75.761.980		
Maquina de absorción	\$ 472.277.021		
Sistema de disipación	\$ 21.163.319		
Sistema auxiliar	\$ 134.649.279		
Sistema de regulación y control	\$ 12.837.195		
Sistema de distrución de agua fría- aire acondicionado	\$ 236.102.021		
COSTOS DE REMPLAZO Y VIDA RESIDUAL			
Sistema de captación solar		\$ 4.538.651	
Sistema Hidráulico		\$ 991.293	
Sistema de intercambio		\$ 463.572	
Sistema de acumulación		\$ 1.233.995	
Maquina de absorción		\$ 5.199.145	
Sistema de disipación		\$ 688.008	
Sistema auxiliar		\$ 1.822.868	
Sistema de regulación y control		\$ 414.197	
Sistema de distrución de agua fría- aire acondicionado		\$ 2.554.073	
Reposición de tuberías y accesorios 1%		\$ 14.484.640	
Valor residual 15%		\$ 217.269.599	
COSTOS ENERGETICOS			
Costo eléctrico			\$ 11.737.797
Costo gas natural			\$ 44.089.474
TOTALES	\$ 1.448.463.994	\$ 249.660.041	\$ 55.827.271

Fuente: elaboración propia

4.5 Presupuesto sistema de enfriamiento convencional, actualmente en uso.

Se determinó el valor de las inversiones al año 2015, con el inventario se solicitaron cotizaciones comerciales y se elaboró el presupuesto económico. Ver tabla 4.7.

Tabla 4. 7: Costos totales inversión en valor presente de aires acondicionados actualmente en uso.

COSTOS DIRECTOS			
MATERIALES O MATERIA PRIMA (AIRES ACONDICIONADOS)			
Potencia de aires (BTU)	Valor comercial	# aires	Valor total
aires de 12000	\$ 930.000	27	\$ 25.110.000
aires de 18000	\$ 1.045.000	1	\$ 1.045.000
aires de 24000	\$ 2.060.000	56	\$ 115.360.000
aires de 34000	\$ 2.150.000	3	\$ 6.450.000
aires de 36000	\$ 2.315.000	6	\$ 13.890.000
aires de 57500	\$ 5.050.000	1	\$ 5.050.000
Accesorios para instalación en general 5%			\$ 8.345.250
Sub total materiales			\$ 175.250.250
MANO DE OBRA DIRECTA			
Mano de obra en instalación 15 % del valor de los materiales			\$ 26.287.538
EQUIPOS Y HERRAMIENTA MENOR			
herramienta menor 3% de la mano de obra.			\$ 788.626
TOTAL COSTOS DIRECTOS			\$ 202.326.414
COSTOS INDIRECTOS 25%			\$ 50.581.603
COSTOS TOTALES			\$ 252.908.017

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4.7 muestra valores del costo directo e indirecto, se usaron los mismos criterios para el cálculo de los costos directos e indirectos del numeral 4.2, excepto la no inclusión de costos por importación de equipo, legalizaciones, puesta en marcha e ingeniería de detalle.

4.6 Costos de mantenimiento, de remplazo y valor residual para el sistema de enfriamiento actualmente en uso.

Se usaron las mismas referencias del numeral 4.2. Para definir el valor residual se partió de la suposición de que el sistema después de 25 años, es obsoleto en el mercado, se asume un valor residual del 10%.

4.7 Costo anual de energía eléctrica, para operación del sistema de enfriamiento actualmente en uso.

En la tabla 3.1, mostró el consumo de energía sistema convencional. El consumo anual de energía eléctrica para refrigeración de oficinas en el año 2015, esto se ve reflejado en la tabla 4.8.

Tabla 4. 8: Costo anual energía eléctrica, por uso de aires acondicionados.

MES	VALOR Kwh 2015	ENERGÍA CONSUMIDA Kwh A.A	VALOR (PESOS)
ENERO	\$ 414,04	31597	\$13.082.274,16
FEBRERO	\$ 398,21	32229	\$12.833.741,28
MARZO	\$ 393,44	34105	\$13.418.435,14
ABRIL	\$ 413,79	22118	\$9.152.062,50
MAYO	\$ 405,49	20892	\$8.471.375,64
JUNIO	\$ 410,37	14408	\$5.912.639,40
JULIO	\$ 402,50	16206	\$6.523.063,80
AGOSTO	\$ 408,89	20531	\$8.395.124,53
SEPTIEMBRE	\$ 420,56	28778	\$12.102.969,32
OCTUBRE	\$ 430,30	28917	\$12.443.091,76
NOVIEMBRE	\$ 441,39	21372	\$9.433.373,61
DICIEMBRE	\$ 429,61	28778	\$12.363.412,23
		299932	\$124.131.563,37

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4.9 muestra el resumen de los costos por uso de aires acondicionados.

Tabla 4. 9: Resumen costos totales sistema de aires acondicionados

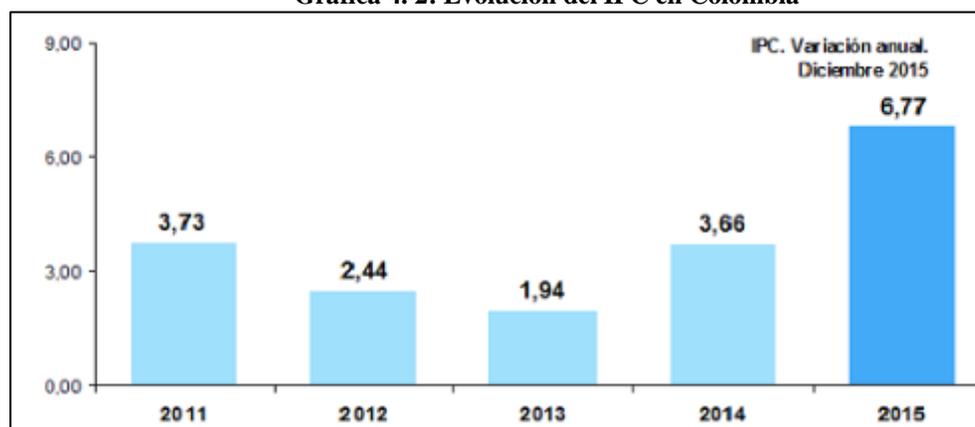
Sistema de enfriamiento de oficinas convencional	Inversión Inicial	Costos anual mantenimiento, replazo y valor residual	Costos anual de energía eléctrica
COSTOS INICIALES- INVERSION INICIAL			
Inversion en sistema convencional	\$ 252.908.017		
Transformador eléctrico	\$ 25.000.000		
COSTOS DE REPLAZO Y VIDA RESIDUAL			
Mantenimiento anual		\$ 3.111.830	
Reposición de tub y acce 1%		\$ 2.779.080	
Valor residual 10%		\$ 27.790.802	
COSTOS ENERGÉTICOS			
Costo eléctrico			\$ 124.131.563
TOTALES	\$ 277.908.017	\$ 33.681.712	\$ 124.131.563

Fuente: elaboración propia.

4.8 Variables económicas

4.8.1 Evolución del IPC general: La Inflación es un aumento sostenido en el nivel general de precios, frecuentemente medido por un índice de precios al consumidor. La tasa de inflación es el cambio porcentual en el nivel de precios en un periodo. El departamento nacional de estadística DANE, publicó la evolución del índice de precios de consumo en los últimos cinco años. Para el año 2015, se observa una inflación de 6.77%. ver grafica 4.2

Grafica 4. 2: Evolución del IPC en Colombia



Fuente: DANE.2016

La grafica 4.2, muestra aumento de la tasa de inflación a partir del año 2013, es la más alta de los últimos años en Colombia, si continua en aumento nos indica que se debe tener

cuidado a la hora de hacer inversiones a largo plazo, la decisión de implementar el sistema de absorción depende crucialmente del grado de incertidumbre económico por el aumento de la inflación.

4.8.2 Tasa de descuento: La tasa de descuento se establece como la tasa de retorno que se podría obtener de una oportunidad alternativa de inversión, que se deja en favor del proyecto analizado. Para llevar a cabo la evaluación económica se asumió una tasa de descuento de 12% (UPME 2014). El valor se escogió debido a que comúnmente es la tasa que se utiliza en los proyectos de fuentes no convencionales de energía, según el documento de integración de energías renovables no convencionales en Colombia 2014.

4.8.3 Tasa de escalonamiento: Es la tasa total de cambio de los precios en este caso la energía eléctrica o gas natural durante un periodo. Se asumió un cambio en los precios del 5%, teniendo en cuenta proyecciones de la tasa de inflación, (Banco de republica Colombia 2015).

4.9 Definición de escenarios

Los escenarios constituyen descripciones exploratorias y provisionales de un futuro probable. Un escenario es un conjunto de circunstancias que pueden producirse en un determinado ámbito, dentro del cual operan actores e intereses que se deben analizar con coherencia y unidad de criterio (Balbi E 2010). Para llevar a cabo la evaluación económica, se especificaron distintos escenarios, a modo de que se pueda evaluar el desenlace económico y la influencia que tienen distintas variables sobre la evolución del proyecto. Principalmente, se evaluó el proyecto cambiando dos variables que son vitales para el funcionamiento del sistema: La primera es el precio de la energía eléctrica y la segunda es el precio del gas natural.

- **Escenario normal:** Es el escenario que se espera que tenga lugar con mayor probabilidad. Las suposiciones para la estimación de las variables que intervienen en la determinación del flujo de caja, se hicieron ajustando a lo que se espera que acontezca a lo largo del horizonte de planificación del proyecto de inversión. Consistió en la simulación de condiciones normales en donde el precio de la electricidad sigue una evolución normal, al igual que el

precio del gas natural. En este escenario, se utilizaron datos de variación de costos y precios de componentes del sistema de enfriamiento por absorción y gas natural.

- **Escenario optimista:** Con respecto al escenario normal, se consideró disminución del 3% en costos de inversión, costos de reemplazo y vida residual. Un aumento en las tarifas de la energía eléctrica en un 0,5% en la tasa de escalonamiento y disminución en las tarifas de gas natural en un 0,5% en la tasa de escalonamiento. Se asumió de aumento en tarifa de energía eléctrica considerando acrecentamiento en intensidad y duración del fenómeno del niño.
- **Escenario pesimista:** Con respecto al escenario normal, se consideró aumento del 3% en costos de inversión, costos de reemplazo y vida residual. Se eligió representar casos de extrema incertidumbre, en los cuales se consideró, disminución en las tarifas de la energía eléctrica en un 0,5% en la tasa de escalonamiento y aumento en las tarifas de gas natural en un 0,5% en la tasa de escalonamiento, debido al crecimiento del precio del petróleo, el cual según analistas internacionales podría aumentar en el año 2017, ya que los consumidores están reaccionando a un período de combustible mucho más económico, es decir, el aumento de la demanda.

4.10 Análisis económico

Se visualizó en cada sistema el costo total, traído a valor presente para efecto de una correcta comparación. Considerando el valor del dinero y los antecedentes presentados para las distintas tasas supuestas.

4.10.1 Diagramas de flujo de caja: Para evaluar el proyecto y decidir cuán alta es su rentabilidad, se realizaron flujos de caja correspondientes a los dos sistemas de enfriamiento. Un flujo de caja representa las entradas y salidas de efectivo en un período dado, que en este caso es a 25 años. Los montos que se muestran en el flujo de caja corresponden a las anualidades y costos determinados en tablas anteriores. Ver anexo V.

4.10.2 Ciclo de costo de vida, evaluación económica: Se definió el uso del ciclo de costo de vida como herramienta de evaluación económica, la cual permitió analizar y definir rentabilidad a lo largo del tiempo sobre las inversiones y costos de los dos sistemas.

Para la comparación de las dos alternativas del sistema de refrigeración, se usó el valor presente, con un ciclo de vida de 25 años y un enfoque de recuperación simple a través de payback. Para el análisis de ciclo de vida se consideraron los costos inversión, los costos de mantenimiento, valor residual y los costos periódicos o de reemplazo. El costo de inversión y ahorro de energía del sistema de enfriamiento por absorción, se usó para estimar un periodo de recuperación simple. Como existe cierta incertidumbre en la predicción de estos costos, se realizó un análisis de sensibilidad para cuantificar el efecto de diversos elementos de costo en la recuperación simple. Las tablas de cálculo de evaluación económica se presentan en el anexo W, anexo X la tabla 4.10 muestra el resumen de la evaluación económica.

Tabla 4. 10: Resumen evaluación económica

Titulo del proyecto		Evaluacion tecnico financiera para proyecto de enfriamiento por absorción solar y gas natural		Alternativa convencional		Alternativa enfriamiento solar y gas natural	
Tasa de descuento		12%		Descripción:		Descripción:	
Ciclo de vida		25	Periodo	Sistema de enfriamiento A.A convencional		Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural	
Fecha		Junio de 2016		Costo estimado	Valor presente	Costo estimado	Valor presente
Costos Ciclos de Vida	Escenario Normal	Costos Ciclo de Vida (valor presente)			\$ 1.858.308.167,94		\$ 2.320.338.972,02
		DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE			\$ 0		\$ 462.030.804,08
		PAYBACK A 25 AÑOS	\$ 73.689.262	SE RECUPERA INVERSION A 15,01 AÑOS			
Costos Ciclos de Vida	Escenario optimista	Costos Ciclo de Vida (valor presente)			\$ 1.930.042.716,93		\$ 2.253.734.093,87
		DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE			\$ 0		\$ 323.691.376,93
		PAYBACK A 25 AÑOS	\$ 212.028.689	SE RECUPERA INVERSION A 8 AÑOS			
Costos Ciclos de Vida	Escenario Pesimista	Costos Ciclo de Vida (valor presente)			\$ 1.791.030.590,35		\$ 2.388.948.340,77
		DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE			\$ 0		\$ 597.917.750,41
		PAYBACK A 25 AÑOS	-\$ 62.197.685	NO SE RECUPERA INVERSION A 25 AÑOS			

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4.10 muestra para el sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, caso normal, la diferencia en costo inicial valor presente es de \$462.030.804 valor que se recupera en 15.01 años; y que al final del año 25 se presenta un ahorro de \$73.689.262. Para el caso optimista la diferencia en costo inicial valor presente

es de \$323.691.376 valor que se recupera en 8 años; y que al final del año 25 se presenta ahorro de \$212.028.689 y para el escenario pesimista la diferencia en costo inicial valor presente es de \$597.917.750; y que al final del año 25 no se presenta recuperación.

4.11 Análisis de los resultados

El análisis de la incertidumbre en las estimaciones de los costos del sistema de enfriamiento por absorción se realizó con ayuda de la aplicación Risk simulator de Excel. Se modelaron los tres escenarios posibles bajo una simulación de 1000 ensayos.

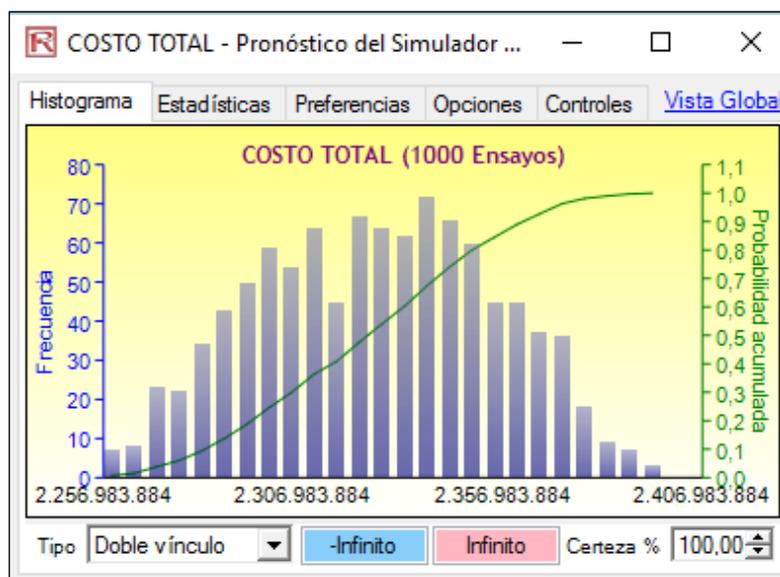
Ver tabla 4.11 resultados de la simulación de costos y ver gráfica 4.3 histograma de costos con variación de frecuencia vs probabilidades acumuladas.

Tabla 4. 11: Simulación de costos sistema de enfriamiento por absorción.

COSTOS	NORMAL	OPTIMISTA	PESIMISTA	
COSTOS DE INVERSIÓN	1.448.463.993,58	1.405.010.073,77	1.491.917.913,39	1472627842
COSTOS DE REMPLAZO	201.274.945,63	195.236.697,26	207.313.193,99	204500460,8
COSTOS ENERGÍA ELÉCTRICA	140.995.017,30	147.778.187,93	134.633.294,88	145804149,9
COSTOS GAS NATURAL	529.605.015,51	505.709.134,90	555.083.938,50	531428632
COSTO TOTAL	2.320.338.972,02	2.253.734.093,87	2.388.948.340,77	2.354.361.084,70

Fuente: elaboración propia mediante uso de simulador risk

Grafica 4. 3: Histograma de costos frecuencia vs probabilidades acumuladas



Fuente: Risk simulator

La anterior grafica muestra la ejecución de 1000 ensayos, con una certeza del 100%, con un costo total inferior de \$2.256.983.884 y costo superior de \$2.406.983.884; se evidencian escalas que representan costos más probables y menos probables. Ver estadísticas arrojadas por el simulador figura 4.1

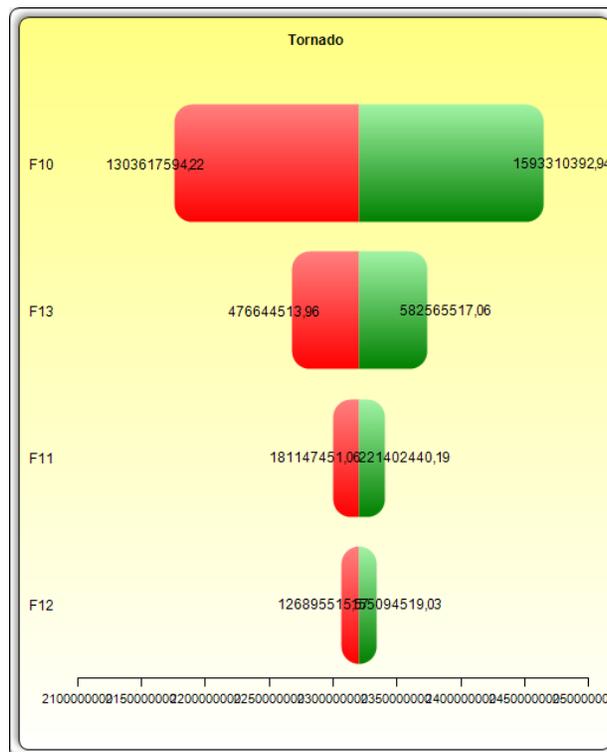
Estadísticas	Resultado
Número de simulaciones	1000
Media	2.322.244.887,0742
Mediana	2.323.440.068,7462
Desviación Estándar	29.611.503,8322
Variación	8,768412E+014
Coficiente de Variación	0,0128
Máximo	2.394.431.328,8580
Mínimo	2.253.314.855,4056
Rango	141.116.473,4524
Asimetría	-0,0304
Curtósis	-0,7631
25% Percentil	2.299.156.004,7915
75% Percentil	2.344.449.021,4158
Precisión de Error al 95% de Confianza	0,0790%

Figura 4. 1: Análisis de estadístico

La figura 4.1, muestra la media de \$2.322.244.887, el costo estimado es de \$2.354.361.084, es decir la media está muy cerca del costo normal, este estimado tiene un riesgo y se asoció a la magnitud de variación de todos los ensayos generados y se midió a través de la desviación estándar. Se enlazó el coeficiente de variación de 0,0128 con la media e indicó que la media se mantuvo, es decir, para el proyecto de \$ 2.320.338.972 el coeficiente de variación de 1,2%, es acertado por ser un proyecto de inversión relativamente bajo.

Mediante el análisis tornado de la aplicación, risk simulator, se determinó que la variable más impactante para el proyecto fueron los costos de inversión seguido por los costos del gas natural, costos de reemplazo mantenimiento y energía eléctrica, respectivamente. Ver grafica 4.4

Grafica 4. 4: Análisis tornado



Fuente: Risk simulator

La tabla 4.12 muestra el resultado de las variaciones en los costos mayores al 10% y menores al 10% sobre el caso base.

Tabla 4. 12: Resultado variaciones en costos caso normal.

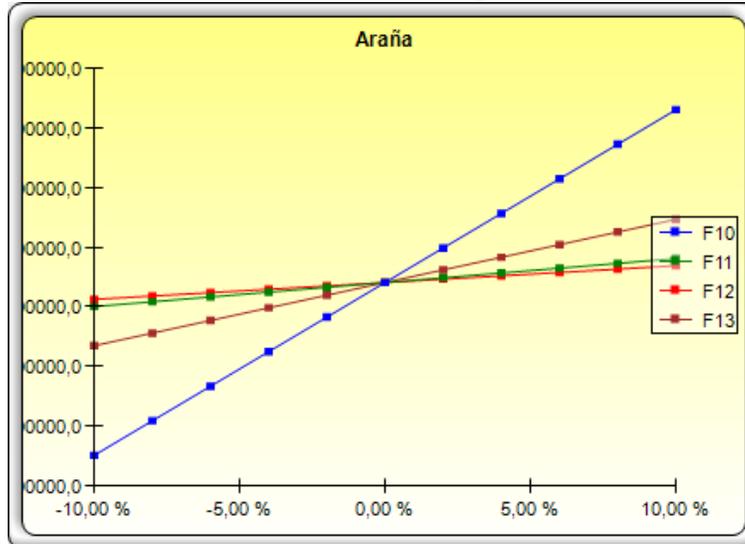
Celda Precedente	Valor Base: 2320338972,02206			Cambio de Ingreso		
	Resultado Inferior	Resultado Superior	Rango de Efectividad	Ingreso Inferior	Ingreso Superior	Valor Caso Base
F10: F10	2175492573	2465185371	289692798,72	1.303.617.594,22	1.593.310.392,94	1.448.463.993,58
F13: F13	2267378470	2373299474	105921003,10	476.644.513,96	582.565.517,06	529.605.015,51
F11: F11	2300211477	2340466467	40254989,13	181.147.451,06	221.402.440,19	201.274.945,63
F12: F12	2306239470	2334438474	28199003,46	126.895.515,57	155.094.519,03	140.995.017,30

Fuente: Risk simulator

Se observó, la variación del 10% por encima y por debajo de los costos del caso base, con los valores asociados por el resultado inferior y resultado superior respectivamente. Que el mayor rango de efectividad determino en forma descendente la variable más impactante.

La gráfica 4.5 muestra la misma interpretación del análisis tornado, con la diferencia que se presenta diez puntos de testeo, todos coinciden en un valor base del proyecto, la variable que tuvo mayor pendiente fueron los costos de inversión y la variable con menor pendiente fueron los costos de energía.

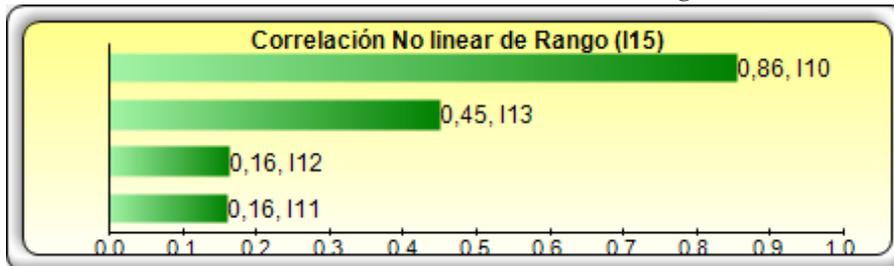
Gráfica 4. 5: Gráfica tipo araña.



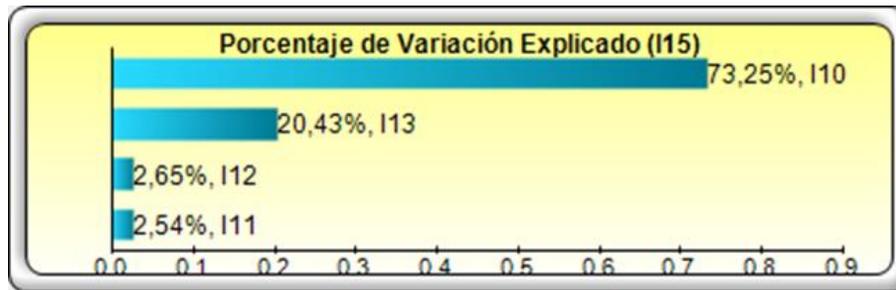
Fuente: Risk Simulator

Se efectuó un análisis después de la simulación, el cual incluyó la dinámica que tuvieron todos los costos cambiando en el tiempo, es decir el análisis de toda la vida del proyecto, las gráficas 4.6 y 4.7 muestran los coeficientes de correlación y de variación, determinados mediante el análisis de sensibilidad de la aplicación risk simulator.

Gráfica 4. 6: Correlación no lineal de rango



Fuente: risk simulator

Grafica 4. 7: Porcentaje de variación explicado.

Fuente: risk simulator

La gráfica 4.6 evidenció la relación del coeficiente de correlación entre los datos generados para los 1000 ensayos de los cuatro costos analizados, donde nuevamente el costo de inversión fue el de mayor impacto. Se encontró que el coeficiente de correlación entre los 1000 ensayos de costos de inversión y los 1000 resultados del costo total del proyecto tiene un coeficiente de correlación del 0,86, para el gas natural 0,41, para los costos de reemplazo 0,16 y 0,16 para energía eléctrica.

La grafica 4.7 determino la ponderación del coeficiente de correlación de cada una de las variables ponderadas. El coeficiente de correlación del costo de inversión del 0.86 influye en un 73.25% sobre el costo total del proyecto, el coeficiente de correlación del costo del gas natural de 0.41 influye en un 20.43% sobre el costo total del proyecto, el coeficiente de correlación del costo de reemplazo y mantenimiento de 0.16 influye en un 2,65% sobre el costo total del proyecto y el coeficiente de correlación del costo de energía eléctrica de 0.16 influye en un 2.54% sobre el costo total del proyecto.

Para sumar a la investigación, se realizó un análisis de sensibilidad para cuantificar el efecto de la variación de los costos de inversión, de gas natural, de reemplazo y mantenimiento y de energía eléctrica, basados en la base de la recuperación simple para el escenario normal.

Se asumieron porcentajes de variación en los costos entre -9%, -6%, -3%, +3%, +6%, +9%, Se usó interpolación de Lagrange y se obtuvieron los siguientes resultados, ver tabla 4.13.

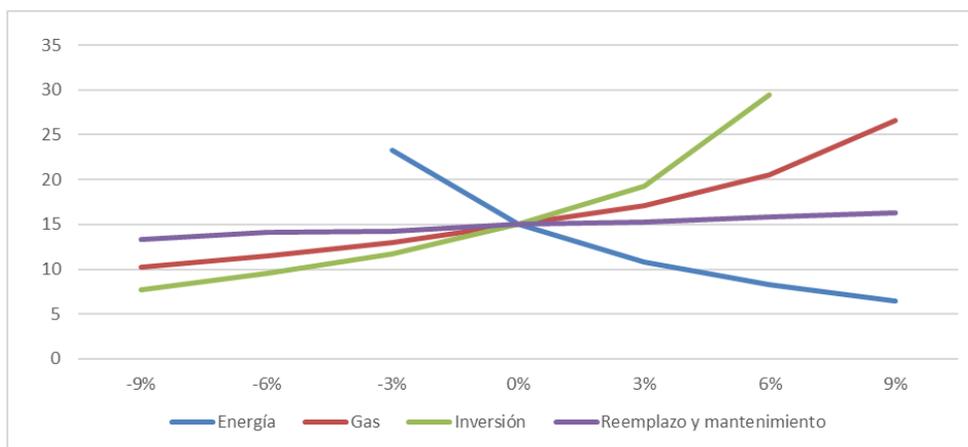
Tabla 4. 13: Recuperación simple (años) de los costos del sistema de enfriamiento por absorción

%	Energía	Gas	Inversión	Reemplazo y mantenimiento
-9%		10,28	7,72	13,36
-6%		11,49	9,5	14,09
-3%	23,31	12,93	11,74	14,26
0%	15,01	15,01	15,01	15,01
3%	10,8	17,11	19,33	15,25
6%	8,3	20,55	29,45	15,79
9%	6,51	26,56		16,31

Fuente: Elaboración propia

Se graficaron los porcentajes de variación de cada costo con el número de años de recuperación simple de cada uno de ellos, ver grafica

Grafica 4. 8: Incidencia de variación de costos Vs recuperación simple en años.



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 4.8 muestra la incidencia de cada costo frente al periodo de recuperación simple así: se evidenció que las líneas con mayor pendiente representan mayores impactos en el sistema, en este caso costos de energía eléctrica e inversión inicial. Que variaciones en porcentajes negativos en costo de energía eléctrica, causaron que la diferencia costo inicial valor presente, no se recupere en el tiempo. Mientras que variaciones en porcentajes positivos en los costos de energía eléctrica, causó recuperaciones en corto tiempo. Que la variación en porcentajes negativos en la inversión inicial represento menores tiempos de recuperación y por el contrario variaciones positivas superiores al 3% causó no recuperación en el tiempo. Que la variación en porcentajes negativos en los costos del gas natural generó menores tiempos de recuperación, mientras que variaciones en porcentajes positivos superiores al 9% causó no recuperación en el tiempo. Que la recta que

representa los costos de reemplazo y mantenimiento, obtuvo una pendiente muy pequeña que represento menos sensibilidad en el sistema de enfriamiento por absorción.

4.12 Inversionistas

Los primeros inversionistas en el medio colombiano para implementación del sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural en edificio público, son el banco de desarrollo empresarial de Colombia Bancoldex y Colciencias, la primera institución dedicada a financiar proyectos de exportación y la segunda a promover la investigación y el desarrollo tecnológico en Colombia, ellos han establecido alianzas con el fin de financiar proyectos de generación de energía a través de recursos renovables, estableciendo líneas de crédito para estos fines.

Sin embargo, cada entidad según ley 1715 de 2014, debe destinar recursos del presupuesto para el desarrollo e implementación de medidas de gestión eficiente de la energía; adoptando planes de gestión eficiente de la energía, que tengan por objeto la consecución del ahorro de energía, la inclusión de acciones en eficiencia energética y mecanismos de respuesta de la demanda, así como uso de fuentes no convencionales de energía para los edificios públicos.

Conclusiones

Al término de este trabajo de investigación, puede señalarse que la hipótesis planteada, se validó parcialmente, ya que los ahorros de energía no alcanzaron hasta el 50%, (caso de estudio); pudiéndose concluir que el uso de energía solar y gas natural mediante un sistema de enfriamiento por absorción para refrigeración de edificios públicos, es una alternativa viable que contribuye en la aplicación del programa nacional de uso racional y en la aplicación de la ley 1715 de 2014 permitiendo incentivar al ahorro de energía que se consume hasta un 39.3 %; debido a limitante de área para instalación de mayor número de captadores solares. A partir de los resultados logrados y en forma concluyente, puede señalarse:

- Se identificaron y determinaron consumos de energía eléctrica para refrigeración de oficinas. El mayor consumo de energía eléctrica para uso de aires acondicionados se presentó en el mes de marzo y el menor consumo de energía en el mes de junio; el porcentaje de consumo eléctrico anual, por uso de aire acondicionado fue del orden del 52.98 % del 100% de consumo total.
- La demanda de refrigeración para edificios, es mayor a medida que aumenta la radiación solar, es decir, la refrigeración es directamente proporcional a la radiación solar, lo que es beneficioso para el sistema. Dicho de otra forma, en verano es necesario refrigerar más y es precisamente cuando hay más radiación solar disponible
- Para el alcance de esta investigación es claro que el edificio usa los sistemas de aires acondicionado por siete horas diarias por cinco días a la semana. Se observó que las temperaturas medias horarias inician a descender desde las siete de la noche hasta las nueve de la mañana del otro día, es decir el edificio durante la noche no demanda energía. Sin embargo, los equipos deben funcionar durante un horario determinado, marcado por las condiciones operacionales; a si las cosas, cuando el sistema de aire acondicionado se pone en marcha a las nueve de la mañana, sólo tiene que vencer la carga térmica de esa hora, pues no debe extraer calor acumulado así el sistema haya permanecido apagado, de manera que la demanda térmica a esa hora es sustancialmente menor que la carga térmica, por tal razón se puede asumir que la demanda de energía es de 135.08 kwh/ m². año. Ya

que el consumo de energía eléctrica por uso de aires acondicionados es de 299.932 kWh/año. Y el área a refrigerar del edificio es de 2220,28 m².

- En promedio a mayor número de captadores, mayor aporte solar mensual por radiación efectiva y por ende mayor cobertura solar en %. Para nuestro caso el área efectiva de la cubierta es de 179 m² para una cobertura solar según la carta F de 39.3%. Es posible aumentar el área efectiva de los captadores colocando captadores en la fachada principal.
- El sistema auxiliar correspondió a una caldera de condensación para quemadores de gas natural, se observó que el cálculo de la potencia requerida está directamente asociado a las horas de uso y a la necesidad de agua caliente de la máquina de absorción, así las cosas, se dimensiono una caldera de una potencia 730 kW, suficiente para abastecer las necesidades de agua caliente en bajas radiaciones solares.
- Respecto al presupuesto del sistema de enfriamiento por absorción, en el costo totales se, se observó que el sistema de captación solar junto con la máquina de absorción son el 52.25%, que las exenciones dadas por el estado a través de la ley 1715 de 2014, son el 17.54 %, siendo más representativo el descuento por IVA y que los costos indirectos son el 31,14%; de lo anterior se puede concluir que los sistemas de captación solar y la máquina de absorción representan los mayores costos en el proyecto y presentan los menores porcentajes por aranceles de importación. Es decir, las menores exenciones permitidas por la ley 1715 de 2014.
- Los costos de mantenimiento, de reemplazo y valor residual, para el sistema de enfriamiento por absorción y convencional, fueron calculados con base en norma española UNE-EN-15459, ya que Colombia no cuenta con ninguna ley que evalué el desempeño energético de los edificios públicos, no existe ninguna norma que se refiera a construcciones verdes en Colombia, obligando a indagar normas internacionales, las cuales no están contextualizadas con el entorno, y su aplicación representa costos adicionales por su implementación.
- La evaluación económica para el sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural, caso normal, determinó que la diferencia en costo inicial valor presente

es de \$462.030.804 valor que se recupera en 15.01 años; y que al final del año 25 se presenta un ahorro de \$73.689.262. Para el caso optimista la diferencia en costo inicial valor presente es de \$323.691.376 valor que se recupera en 8 años; y que al final del año 25 se presenta ahorro de \$212.028.689 y para el escenario pesimista la diferencia en costo inicial valor presente es de \$597.917.750; y que al final del año 25 no se presenta recuperación.

- En Colombia, el sistema de enfriamiento por absorción asistido con energía solar y gas natural no es muy conocido y los costos tanto de instalación como de los equipos son muy altos. El estado debe permitir mayores incentivos y debe legislar más en el tema de energías renovables no convencionales implementando estrategias y planes de contingencia para lograr disminuir costos, entre ellas tenemos: mayor difusión de sistema de enfriamiento como alternativa de refrigeración de espacios, creación de empresas nacionales especializadas, creación de leyes gubernamentales con políticas más claras en elaboración de proyectos de eficiencia energética, mejoramiento de estándares de calidad, implementación de cursos de capacitación para instaladores y certificación de los mismos.
- La metodología propuesta permite, de una manera práctica y sencilla evaluar técnicamente y económicamente cualquier edificio o establecimiento, incluyendo su viabilidad. La metodología económica usada permite analizar económicamente los proyectos en tres escenarios distintos con diferentes variables que pueden cambiar en el tiempo respecto a situaciones económicas variables.
- Mientras más alta sea la tasa de descuento, menor será el valor presente de los pagos. La tasa de descuento alta hace este tipo de tecnologías con mayores costos de inversión y beneficios de largo plazo sean menos competitivas, ya que los costos iniciales se vuelven mucho mayores que los beneficios futuros; pues estos se calculan a partir del valor presente neto de todos los costos del proyecto y éstos son decrecientes en el tiempo, debido a que las inversiones de capital se realizan en los primeros años. Es decir, el sistema es sensible a variaciones económicas y depende en gran manera de las políticas implementados por el estado.
- Las disminuciones en las tarifas de energía eléctrica, causan que la diferencia costo inicial valor presente no se recupere en el tiempo. Mientras que aumento en tarifas de energía

eléctrica, causa recuperaciones en corto tiempo. Disminuciones en costos de inversión, bien sea por más exenciones, por disminución de gastos generales, por control de costos indirectos y directos, representan menores tiempos de recuperación y por el contrario incrementos en costos de inversión mayores al 3% causa no recuperación de inversiones.

- El sistema de enfriamiento por absorción asistido, satisface el consumo energético en refrigeración de oficinas, contribuye al programa de uso racional y eficiente de la energía y es un modelo para fomentar la consecución de ahorro energético en edificios públicos, dependiendo del valor de la tasa de descuento asumida para la evaluación económica, de las variaciones y comportamiento de los costos el proyecto es rentable en el tiempo.
- Se evidenció que las líneas con mayor pendiente en los gráficos, representan mayores impactos en el sistema, en este caso costos de energía eléctrica e inversión inicial. Las variaciones en porcentajes negativos en costo de energía eléctrica, causaron que la diferencia costo inicial valor presente no se recupere en el tiempo. Mientras que variaciones en porcentajes positivos en los costos de energía eléctrica, causó recuperaciones en corto tiempo. La variación en porcentajes negativos en la inversión inicial represento menores tiempos de recuperación y por el contrario variaciones positivas superiores al 3% causó no recuperación en el tiempo. La variación en porcentajes negativos en los costos del gas natural generó menores tiempos de recuperación, mientras que variaciones en porcentajes positivos superiores al 9% causó no recuperación en el tiempo. La recta que representa los costos de reemplazo y mantenimiento, obtuvo una pendiente muy pequeña que represento menos sensibilidad en el sistema de enfriamiento por absorción.
- Finalmente puede señalarse que este trabajo de tesis, entrega un importante aporte a la disciplina de la eficiencia energética, en términos de evaluar la implementación de sistemas de enfriamiento por absorción asistido por energía solar y gas natural para refrigeración de oficinas de un edificio público, divulgando este sistema que ha demostrado en investigaciones a nivel mundial, la obtención no solo de beneficios económicos sino ambientales entre los que se cuenta: contribución al ahorro energético, reducción de emisiones de CO₂; tema que no fue resuelto y puede ser presentado para trabajos futuros. Junto con la creación en Colombia de bases de datos para la modelación y elaboración de presupuestos de inversión que incluyan las leyes creadas.

Referencias bibliográficas

- BALBIS morejón Milen, TOVAR Ospino Iván R, BALAGUERA Mancilla Jorge E. Energía solar térmica. 1ª ed. Barranquilla Colombia, ediciones Educosta editorial universitaria dela costa, 2009. 89p.
- CASTELL Xavier Elías. Energías Renovables. 1ª ed. Madrid, España, ediciones Díaz de santos, 2012. 142p.
- CHARETTE Robert P. life cycle costing (LCC) for green building design, en seminario Based on ASTM and ISO Building Economics Standards. Concordia University.
- CHIDAMBARAM L.A., RAMANA A.S., KAMARAJ G. and VELRAJ R. Review of solar cooling methods and thermal storage options Revista scienceDirect,15 3220-3228 agosto 2011.
- Código técnico de la edificación (España). Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. HE4, Madrid, España.2013. 29p
- CREUS Solé Antonio. Energías Renovables.2ª ed. Bogotá Colombia, Ediciones de la U ,2014. 434p
- FAGAS, guía de diseño instalaciones interiores para gas natural y GLP. 5ª ed. Bogotá, Colombia. Ediciones fondo de empleados de gas natural FAGAS, 2005. 91p.
- FERNANDEZ Salgado José, GALLARDO Rodríguez Vicente. Energía solar térmica en la edificación. 1ª ed. Madrid, España, ediciones AMV ediciones, 2004. 327p.
- FLOREZ Muñoz Alejandro. Instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un hospital. Tesis. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería). Sevilla, España. Universidad de Sevilla, Depto de Ingeniería Energética,2014.68p
- HASSAN H.Z, MOHAMAD A.A. Un comentario para producción de frío solar a través de tecnología de absorción. Revista scienceDirect 16 :5331-5348. abril 2012.

- HELM, M., KEIL, C., HIEBLER, S., MEHLING, H., & SCHWEIGLER, C. Solar heating and cooling system with absorption chiller and low temperature latent heat storage: energetic performance and operational experience. Revista scienceDirect, 32 (4), 596-606. Julio 2009
- HERNANDEZ García David. Climatización solar Tecnología, componentes e instalación de sistemas de frío solar. 1ª ed. Madrid, España, edición promotora general de estudios S.A, 2012. 100p.
- IDEAM, UPME. Atlas de radiación solar. (1-22) 2014
- IDEAM. distribución espacial y temporal de la radiación solar en Colombia (en línea), Colombia. disponible <http://institucional.ideam.gov.co:8080/jsp/>. [consulta: abril 2009].
- IDEAM. Información Climatológica de la ciudad de Villavicencio, disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd> [consulta : 3 Agosto 2015].
- Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (Colombia). Código nacional de fontanería. NTC 1500, Bogotá, Colombia.2004. 101p.
- Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (Colombia). Código eléctrico colombiano. NTC 2050, Bogotá, Colombia.1998. 804p.
- Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (Colombia). Instalaciones para suministro de gas combustible destinada a uso residencial y comercial. NTC 2505, Bogotá, Colombia.2006. 41p
- Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación (Colombia). Tubos en acero soldado y sin costura negros y recubiertos en cinc por inmersión en caliente NTC 3470, Bogotá, Colombia.2013. 37p
- LEY No 1715. COLOMBIA integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá Colombia. Mayo de 2014. 25p

- MEKHILEFA S, A. SAFARI a, MUSTAFFAA W.E.S., R. SAIDURB, OMARA R., YOUNISC M.A.A. Solar energy in Malaysia: Current state and prospects Revista scienceDirect 16 :386-396. agosto 2011
- Ministerio de minas y energía de Colombia. declaración de la producción de gas natural para el periodo 2016 -2025 <https://www.minminas.gov.co/documents/10180//23517//36946-Resolucion-31132-30Mar2016.pdf>. [consulta: marzo 2016].
- MUÑOZ fierro J, SOTO Muñoz J. Evaluación de mejoramiento de muros mediante simulación energética y análisis de LCC para viviendas de construcción frecuente en Chile. Revista Hábitat Sustentable Vol. (5) 24-43,2014.
- Norma española (España). Eficiencia energética de los edificios Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios. UNE-EN 15459, Madrid, España.2008. 50p.
- PEREZ Carmona Rafael. Diseño de instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones. 6ª ed. Bogotá, Colombia, ediciones Ecoe ediciones, 2010. 540p.
- PITA Edward G. Acondicionamiento de aire principios y sistemas. 2ª ed. México, México, ediciones Cecsa, 2005. 548p.
- RADIACION Mapas de radiación solar en Colombia. Esc 1: 7.000.000. 2014
- Revista climatización solar progensa. España 2012
- Revista investigaciones energéticas empresa XM. Colombia 2014.
- ROSIEK Sabina, BATLLES Francisco Javier. Soluciones de energía renovable para la refrigeración del edificio, calefacción y sistema de potencia instalada en un edificio institucional: Estudio de caso en el sur de España. Revista scienceDirect 26 :147-168. Mayo 2013
- RUFES Martínez Pedro. Energía solar térmica técnicas para su aprovechamiento. Colección nuevas energías 4. ed. Barcelona, España, ediciones Marcombo S.A, 2010. 4055p

- SAEZ Rodena Elena. Análisis técnico económico de viabilidad de la aplicación de los sistemas de refrigeración solar, a un edificio de uso residencial y a un centro multiusos en Murcia. Tesis. Madrid, España. Universidad pontificia comillas, 2010. 156p.
- SARABIA ESCRIVA Emilio J., LAMAS SIVILA Edwin V., SOTO FRANCES Víctor M. la producción de aire acondicionado por un solo efecto de absorción máquina de refrigeración directamente acoplada a un campo de captadores solares. Aplicación a los climas españoles Revista scienceDirect 85 :2108-2121. Junio 2011
- TARQUIN Anthony J. BLANK Leland T. Ingeniería Económica. 6ª ed. Mcgraw Hill ediciones, 2006. 805p.
- URIARTE Antón. Historia del clima de la tierra. Biblioteca electrónica de géminis papeles de salud. Disponible <http://www.elkar.com> [consulta: 3 agosto 2014].
- WANG R.Z., ZHAI X.Q. Development of solar thermal technologies in China. Revista scienceDirect 35 :4407-4416. Abril 2009.
- XU HAN Planning, PEI Jingjing *, LIU Junjie, XU Luyi. Multi-objective building energy consumption prediction and optimization for eco-community planning Revista scienceDirect 66 :22-32. julio 2013.
- ZHAI XQ, QU M, Li Y, RZ Wang. A review for research and new desing options of solar absorpion cooling systems. Renew Sustanin Energy Revista scienceDirect,15 4416-4423 julio 2011.

http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1235465370192/_/_/

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000300006

<http://www.frioycalor.cl/99/tema2.htm>

<http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferecia/Transferencia44/eli-04.htm>

<http://es.scribd.com/doc/63206641/Tesis-Final-2>

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642004000600001&script=sci_arttext

<http://www.monografias.com/trabajos4/cargasterm/cargasterm.shtml>

Referencias Bibliográficas

<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>

<http://emsa-esp.com.co/new/fact/>

<http://www.slideshare.net/Arquitecturalve/aire-acondicionado-en-edificios>

http://www.elaireacondicionado.com/tipos_aire_acondicionado/

Anexo A

DESCRIPCIÓN DETALLADA EDIFICIO PÚBLICO DE LA ALCALDIA DE VILLAVICENCIO.

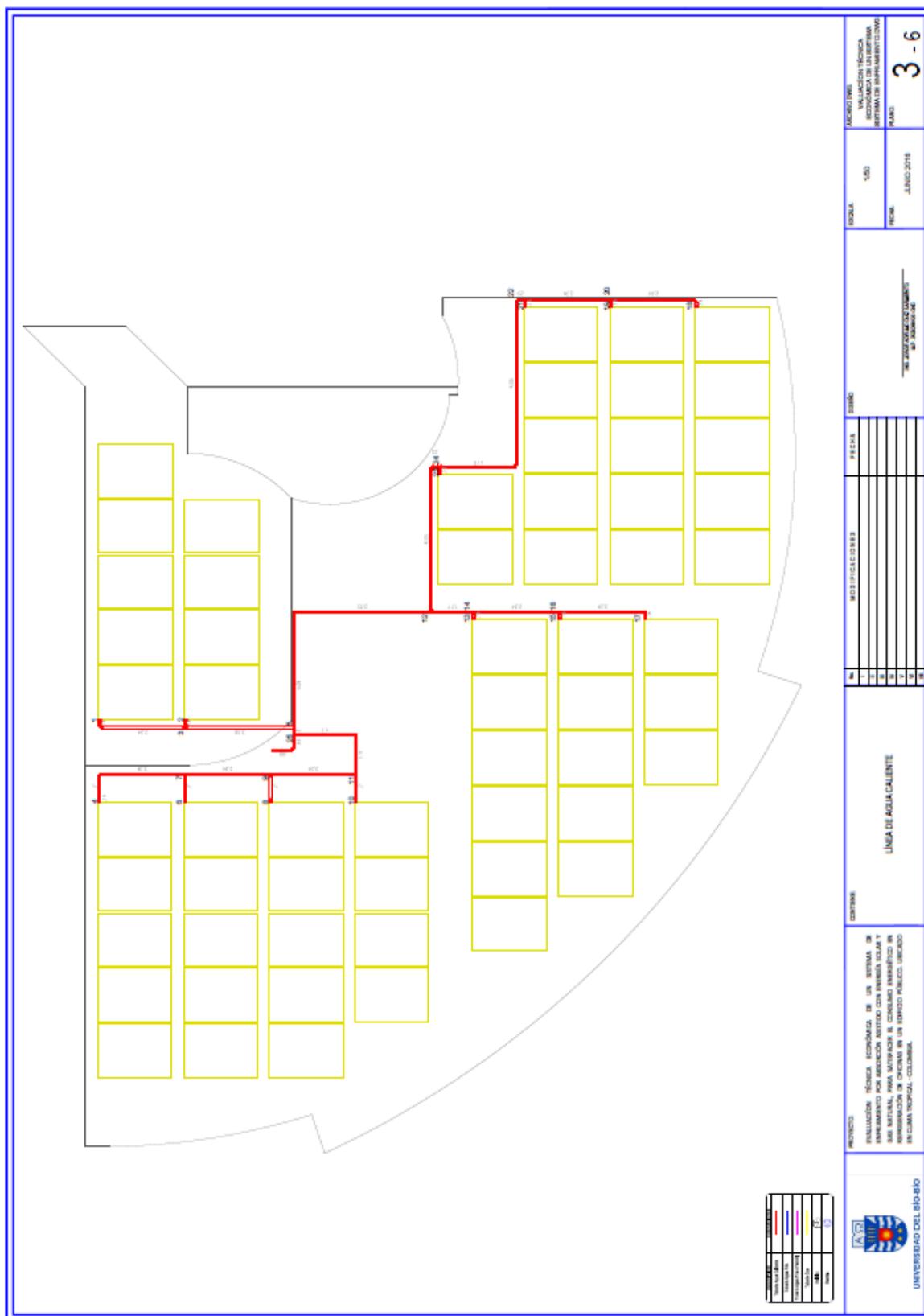
# PISOS	DESCRIPCIÓN	Área por piso (m²)	Altura piso (m)	Volumen de área (m³)	# Persona que permanecen en la oficina	# de artefactos eléctricos	# de ventanas y puertas
1	Dirección de impuestos y tesorería	146,57	2,25	329,7825	65	116	20
2	Oficina de contratación	212,21	2,6	551,746	25	54	12
3	Dirección de sistemas Secretaría de medio ambiente , oficina de control interno	216,72	2,6	563,472	29	88	16
4	Secretaría de educación , Dirección de calidad y pertinencia , dirección administrativa y financiera, dirección de cobertura y permanencia	254,51	2,6	661,726	28	56	9
5	Secretaría local de salud y Dirección de seguridad social, dirección de promoción y participación social	238,77	2,6	620,802	43	64	15
6	Dirección de departamento administrativo de planeación, dirección de desarrollo urbano y dirección económica social	238,77	2,6	620,802	47	76	13
7	Secretaría de gobierno y Dirección de inspecciones, secretaria de hacienda y dirección de presupuestos y gestión financiera	238,77	2,6	620,802	49	68	18
8	Secretaría de desarrollo institucional y Dirección de personal , dirección de desarrollo de organizaciones, dirección de apoyo a la gestión	208,86	2,6	543,036	51	61	16
9	Oficina de asesoría jurídica y Oficina de asesoría de comunicación y Prensa, oficina de control interno disciplinario	255,39	2,6	664,014	37	53	12
10	Despacho alcaldía y central de radio	209,71	2,6	545,246	20	14	6
TOTALES		2220,28	25,65	5721,429	394	650	137

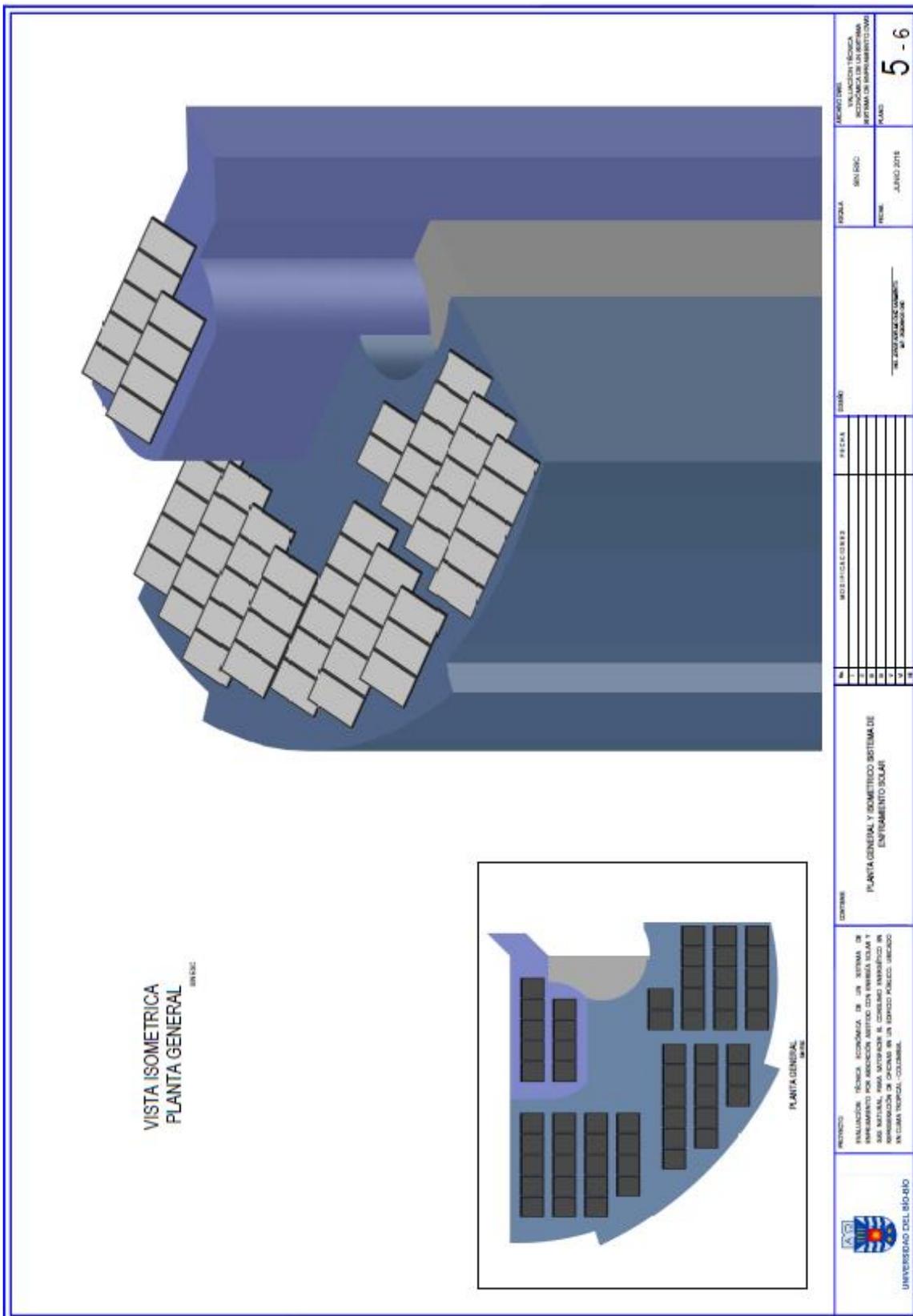
INVENTARIO DE AIRES ACONDICIONADOS POR PISO

	# aires	Marca	Tipo	Ubicación	Antigüedad	Capacidad	Corriente	Voltaje	Mantenimiento			
									B	R	M	Cuenta con ON-OFF
P I S O 1	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			NO
	1	YORK	SPLIT	VENTANA	1	34000 BTU	12,3 A	220 V	X			SI
1	YORK	SPLIT	VENTANA	3	34000 BTU	12,3 A	220 V	X			SI	
P I S O 2	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
P I S O 3	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	YORK	SPLIT	VENTANA	3	34000 BTU	12,3 A	220 V			X	NO
P I S O 4	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO

	# aires	Marca	Tipo	Ubicación	Antigüedad	Capacidad	Corriente	Voltaje	Mantenimiento			
									B	R	M	Cuenta con ON-OFF
P I S O 5	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
P I S O 6	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	YORK	SPLIT	VENTANA	3	36000 BTU	12,3 A	220 V			X	NO
	1	YORK	SPLIT	VENTANA	2	36000 BTU	12,3 A	220 V		X		SI
P I S O 7	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	12000 BTU	6,0 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	1	12000 BTU	6,0 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	18000 BTU	6,0 A	221 V		X		SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
P I S O 8	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO

	# aires	Marca	Tipo	Ubicación	Antigüedad	Capacidad	Corriente	Voltaje	Mantenimiento			
									B	R	M	Cuenta con ON-OFF
P I S O 9	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	12000 BTU	6,0 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	SAMSUNG	SPLIT	VENTANA	1	24000 BTU	11,6 A	220 V	X			SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V			X	NO
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
P I S O 10	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	2	24000 BTU	11,6 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	36000 BTU	12,3 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	36000 BTU	12,3 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	3	36000 BTU	12,3 A	220 V		X		SI
	1	LG	SPLIT	VENTANA	1	57500 BTU	24.6 A	440 V	X			SI





Anexo C

Se anexan tarifa de enero del año 2011, como modelo.

TARIFA DE ENERGIA ELECTRICA PARA LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO.

Enero 2011

 ELECTRIFICADORA DEL META S.A. E.S.P. <i>Trabajamos con energía</i>		Tarifas de energía, subsidios y contribuciones del mercado regulado del departamento del Meta y estructura del Costo Unitario del Servicio. Enero de 2011					
		Los presentes valores son calculados según las formulas generales establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG en las resoluciones 031 de 1997, 079 de 1997, 082 de 2002, 108 de 2003, 036 de 2006, 001 de 2007, 119 de 2007, 097 de 2008, 102 de 2009, 025 de 2010, 186 de 2010 y leyes 812 de 2003 y 1428 de 2010.					
Vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos Unico de Registro 2-50001000-1 IPC aplicado : 0,006487997							
Servicio Residencial (\$/kWh) Redes EMSA Propietaria de la Red y la Transformación							
		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Valor energía		350,5076	350,5076	350,5076	350,5076	350,5076	350,5076
Subsidio a los primeros 173 kwh		60,00%	50,00%	15,00%	0,0%	0,0%	0,0%
Contribución a fondos de solidaridad		0,00	0,00	0,00	0,00	20,00%	20,00%
Valor kWh		140,2031	175,2538	297,9315	350,5076	420,6092	420,6092
Servicio Residencial (\$/kWh) Redes Usuario Propietario de la Red y la Transformación							
		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
Valor energía		325,7374	325,7374	325,7374	325,7374	325,7374	325,7374
Subsidio a los primeros 173 kwh		60,00%	50,00%	15,00%	0,0%	0,0%	0,0%
Contribución a fondos de solidaridad		0,00	0,00	0,00	0,00	20,00%	20,00%
Valor kWh		130,2950	162,8687	276,8768	325,7374	390,8849	390,8849
Servicio No Residencial Todo Horario (\$/kWh) según nivel de tensión							
Sector	Concepto a facturar	Nivel 1 (a)	Nivel 1 (b)	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	
Industrial, Comercial	Energía	350,5076	325,7374	293,7698	239,0514	202,4482	
Provisional	Contribución	70,10	65,15	58,75	47,81	40,49	
Oficial, Especial, Bombeo	Energía	350,5076	325,7374	293,7698	239,0514	202,4482	
acueducto tarifa plena.	Contribución	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
(a) EMSA propietaria (b) Cliente propietario							
Costo Unitario de Prestación del Servicio EMSA (\$/kWh) según nivel de tensión (Res Creg 119-07)							
Concepto	Nivel 1 (a)	Nivel 1 (b)	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4		
Compra de Energía al Generador	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	108,38	
Transporte en el Sistema de Transmisión	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	21,02	
Transporte en el Sistema de Distribución Local	147,33	122,56	103,02	51,27	16,82		
Perdidas Reconocidas	21,89	21,89	9,47	6,49	4,35		
Otros Costos del Mdo Mayorista de Energía	11,93	11,93	11,93	11,93	11,93		
Costo de Comercialización	39,95	39,95	39,95	39,95	39,95		
Total Costo Unitario (Res Creg 168-08)	350,5076	325,7374	293,7698	239,0514	202,4482		
(a) EMSA propietaria (b) Cliente propietario							

Anexo D

**CERTIFICACIÓN DE CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL EDIFICIO PUBLICO DE LA ALCALDÍA
DE VILLAVICENCIO**



**ELECTRIFICADORA
DEL META S.A. E.S.P.**
Trabajamos con energía

GC-F 20143300186951
20143300186951

Villavicencio, 11-06-2014

Doctora:
MAGNOLIA CAGUEÑAS QUEVEDO
Directora de Apoyo a la Gestión
CL 40 33 64 P 8 BRR CENTRO
TEL: 6715835
Villavicencio

Asunto: Solicitud de Información rad 20145410086132.

Respetada Doctora Cagueñas:

De acuerdo al asunto me permito relacionar los consumos mensuales en KWh del código 214736109 durante los últimos tres años "2011, 2012 y 2013", la potencia en KWh se relaciona discriminada a continuación:

2011		2012		2013	
MES	KWh	MES	KWh	MES	KWh
ENERO	31590	ENERO	38220	ENERO	43290
FEBRERO	30810	FEBRERO	32760	FEBRERO	46800
MARZO	31980	MARZO	30420	MARZO	44850
ABRIL	34320	ABRIL	31980	ABRIL	41340
MAYO	26520	MAYO	27690	MAYO	40170
JUNIO	27690	JUNIO	30420	JUNIO	38220
JULIO	28080	JULIO	29250	JULIO	36270
AGOSTO	26520	AGOSTO	29250	AGOSTO	35100
SEPTIEMBRE	31980	SEPTIEMBRE	28470	SEPTIEMBRE	37440
OCTUBRE	31980	OCTUBRE	39780	OCTUBRE	44850
NOVIEMBRE	28860	NOVIEMBRE	43290	NOVIEMBRE	49140
DICIEMBRE	30420	DICIEMBRE	49140	DICIEMBRE	44070
TOTAL	360750	TOTAL	410670	TOTAL	501540

Barzal Alto Vía Azotea, PBX 6614000 Fax: 661 40 20, Línea Atención al Cliente 115
Línea Gratuita Nacional - 018000918615 Desde Celular (038-6610095)
e-mail: pqr@emsa-esp.com.co
Villavicencio - Meta - Colombia
Nit: 892.002.210-6



ISO 9001:2009
OHSAS 18001:2007
BUREAU VERITAS
Certification
Certificado N° 0003581 Mayo 11 de 2010



Trabajamos con energía

GC-F 20163300063991



Villavicencio, 24-02-2016

Doctora:
MAGNOLIA CAGUEÑAS QUEVEDO
Directora de Apoyo a la Gestión
 CL 40 33 64 P 8 BRR CENTRO
 TEL: 6715835
 Villavicencio

Asunto: Solicitud de Información Consumos

Respetada Doctora Cagueñas:

De acuerdo al asunto me permito relacionar los consumos mensuales en KWh del código 214736109 durante el último año "2015" la potencia en KWh se relaciona discriminada a continuación:

2014		2015	
MES	KWH	MES	KWH
ENERO	46410	ENERO	46800
FEBRERO	57720	FEBRERO	49530
MARZO	54600	MARZO	56784
ABRIL	54990	ABRIL	57190
MAYO	39000	MAYO	40560
JUNIO	48360	JUNIO	50778
JULIO	35880	JULIO	37853
AGOSTO	47580	AGOSTO	49483
SEPTIEMBRE	36660	SEPTIEMBRE	38126
OCTUBRE	43680	OCTUBRE	45427
NOVIEMBRE	55380	NOVIEMBRE	58149
DICIEMBRE	44460	DICIEMBRE	46238
TOTAL	564720	TOTAL	576916

Barzal Alto Via Azotea, PBX 6614000 Fax: 661 40 20, Línea Atención al Cliente 115
 Línea Gratuita Nacional - 018000918615 Desde Celular (038-6610095)
 e-mail: pqr@emsa-esp.com.co
 Villavicencio - Meta - Colombia
 NIT: 892 002 210-6



Anexo E

Tubería de cobre de temple rígido Tipo "L"

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo		Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
					Lb/pie	libras			
Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	kg/m	kilogramos	kg/cm ²	kg/cm ²	L. P. M.	
1/4"	0.375"	0.315"	0.030"	0.126	2.524	7,200	1,440		
6.35 mm	9.525	8.001	0.762	0.187	1.146	506.16	101.23		
3/8"	0.500"	0.430"	0.035"	0.198	3.965	6,300	1,260	1.873	
9.50 mm	12.700	10.922	0.889	0.295	1.800	442.89	88.57	7.089	
1/2"	0.625"	0.545"	0.040"	0.285	5.705	5,760	1,152	3.656	
12.7 mm	15.875	13.843	1.016	0.424	2.590	404.92	80.98	13.493	
3/4"	0.875"	0.785"	0.045"	0.455	9.110	4,632	926	9.600	
19 mm	22.225	19.939	1.143	0.678	4.136	325.62	65.09	36.336	
1"	1.125"	1.025"	0.050"	0.655	13.114	4,000	800	19.799	
25 mm	28.575	26.035	1.270	0.976	5.954	281.20	56.24	74.94	
1 1/4"	1.375"	1.265"	0.055"	0.885	17.700	3,600	720	35.048	
32 mm	34.925	32.131	1.397	1.317	8.036	253.08	50.61	132.660	
1 1/2"	1.625"	1.505"	0.060"	1.143	22.826	3,323	664	56.158	
38 mm	41.275	38.227	1.524	1.698	10.363	233.60	46.67	212.560	
2"	2.125"	1.985"	0.070"	1.752	35.042	2,965	593	119.099	
51 mm	53.975	50.419	1.778	2.608	15.909	208.43	41.68	450.790	
2 1/2"	2.625"	2.465"	0.080"	2.483	49.658	2,742	548	214.298	
64 mm	66.675	62.611	2.032	3.695	22.545	192.76	38.52	811.120	
3"	3.125"	2.945"	0.090"	3.332	66.645	2,592	518	347.397	
76 mm	79.375	74.803	2.286	4.962	30.257	182.21	36.41	1,314.90	
4"	4.125"	3.905"	0.110"	5.386	107.729	2,400	480	747.627	
102 mm	104.775	99.187	2.794	8.017	48.909	168.72	33.74	2,829.77	

Tabla de pérdidas en accesorios. Longitud equivalente en metros.

Diámetro nominal (mm)	Válvula de retención	Codo	T paso angular	Válvula de esfera
12	1,2	0,37	0,53	0,15
15	1,5	0,42	0,6	0,18
18	1,8	0,48	0,67	0,21
22	2,4	0,61	0,9	0,27
28	3,6	0,79	1,1	0,3
35	4,2	1	1,52	0,46
42	4,8	1,2	1,75	0,54
54	6,1	1,5	2,2	0,7
63	7,6	1,8	2,65	0,85
80	9,1	2,3	3,35	0,98
100	10,7	2,7	3,9	1,2

Anexo F

TABLAS DE CARACTERISTICAS FÍSICAS FLUIDOS DE REFRIGERACIÓN

LÍQUIDO	Conductividad térmica (k)	Calor específico (C _p)	Viscosidad dinámica (μ)	Densidad (ρ)	Numero de Prandtl (Pr)
Agua	0.61 W/mK	4072.71 J/kg K	0.000868 Pa s	996.58 kg/m ³	5.78
Agua-etilenglicol 30%	0.49 W/mK	3729.95 J/kg K	0.001864 Pa s	1035.02 kg/m ³	14.29
Agua-etilenglicol 50%	0.43 W/mK	3297.63 J/kg K	0.003367 Pa s	1053.25 kg/m ³	25.82
Etilenglicol	0.25 W/mK	2408.62 J/kg K	0.017195 Pa s	1112.13 kg/m ³	164.58

Densidad del agua líquida entre 0 °C y 100 °C www.vaxasoftware.com					
Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa					
Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Calor específico del agua entre 0 °C y 100 °C						www.vaxasoftware.com		
Temp.	Calor específico		Temp.	Calor específico		Temp.	Calor específico	
°C	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	°C	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	°C	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,198	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						

Calor específico del agua entre 0 °C y 100 °C						www.vaxasoftware.com		
Temp.	Calor específico		Temp.	Calor específico		Temp.	Calor específico	
°C	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	°C	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	°C	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						

Anexo G

TABLA G.1: DIÁMETRO INTERNO Y LONGITUDES EQUIVALENTES TUBERÍA DE ACERO.

DIÁMETRO INTERNO Y LONGITUDES EQUIVALENTES				
Tubería de ACERO SCH 40				
\emptyset Nominal	\emptyset Interior	TEE	CODOS	VALV.
pul.	mm	m	m	m
0,5	15,8	1,7	0,84	2,5
0,75	20,93	2,3	1,2	3,5
1	26,64	3,1	1,6	4,7
1,5	49,89	5,2	2,6	7,8
2	52,5	7,1	3,6	10,6
2,5	62,71	8,7	4,4	13,1
3	77,93	11,4	5,7	17,1

Anexo H

TABLAS SELECCIÓN DE CASO DE ESTUDIO

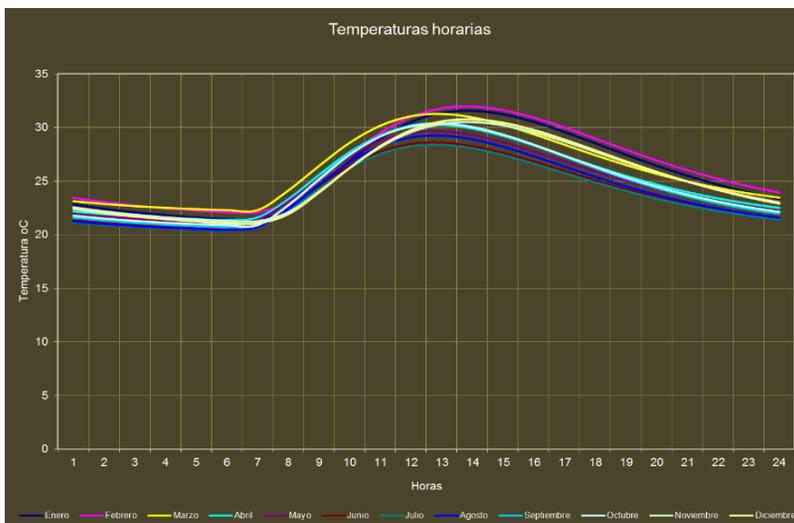
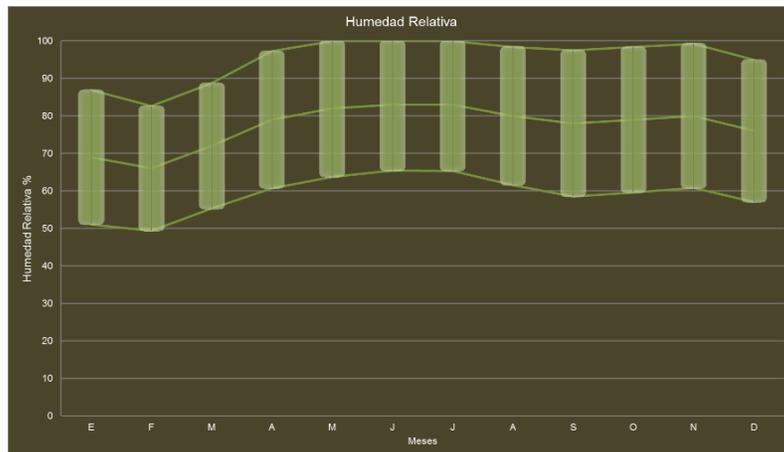
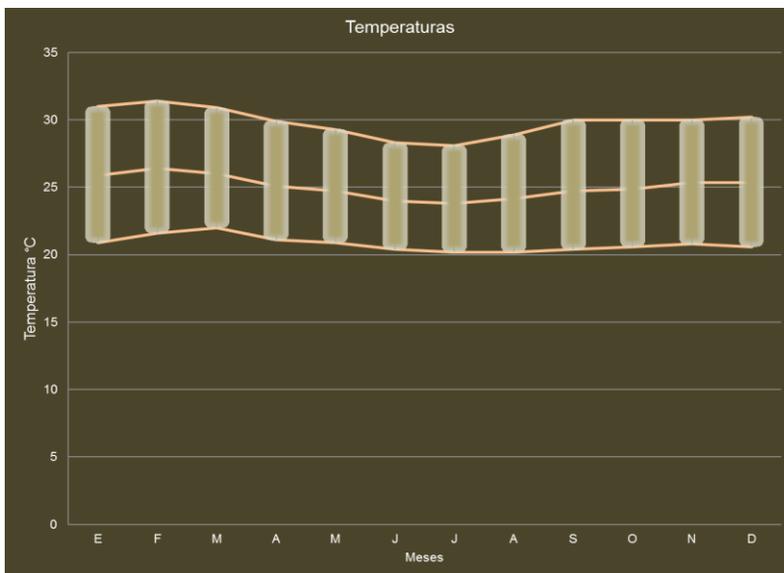
ITEM	PREGUNTA	EDIFICIO GOBERNACION DEL META	ESCALA DE IMPACTO			EDIFICIO ALCALDIA MUNICIPAL DE VILLAVICENCIO	ESCALA DE IMPACTO		
			BAJO	MEDIO	ALTO		BAJO	MEDIO	ALTO
1	¿Cuántos aires acondicionados tiene cada edificio?	45		X		94			X
2	¿Cual es la potencia total de los aires acondicionados?	1.530.000 BTU		X		2.061.500 BTU			X
3	¿Cual es el numero de pisos ?	5 Pisos		X		10 Pisos			X
4	¿Cuál es el numero de oficinas por piso de cada edificio?	30 Oficinas			X	6 Oficinas	X		
	¿Cuántas oficinas tiene el edificio?	150 oficinas			X	60 oficinas		X	
5	¿Todas las oficinas tienen y usan aire acondicionado?	NO	X			SI			X
6	¿Qué porcentaje del numero de oficinas usan aires acondicionado?	20% (unicamente oficinas principales)	X			100% todas			X
7	¿Cuales fueron los consumos anuales de energia electrica en kWh en el ultimo año (2011), para cada edificio?	476190		X		360.750		X	
8	¿Que tipo de construccion predomina en cada edificio?	Edificio antiguo, Sistema aporticado, gran espesor de muros perimetrales, altura de muros >3,5 metros, grandes espacios ventilados. ESTA	X			Edificio con sistema aporticado con grandes ventales a lo largo y ancho de la fachada, con altura de muros de 2,40			X
9	¿Qué tipo de ubicación con respecto al sol?	Por su configuracion, el sol unicamente pega en la cubierta pues a sus alrededores tiene estructuras que lo protegen de los rayos solares.	X			El sol pega todo el dia en las ventanas de la fachada, no tiene estructuras a su alrededor que lo protejan			X
TOTALES			4	4	2		1	2	7
<p>Con base en la escala se evidencia que el edificio de mayor impacto en escala de valores, corresponde al edificio de la alcaldia de villavicencio, pues obtuvo mayores parametros en niveles altos, que determinan mayor impacto en uso de la energia electrica para refrigeración.</p>									

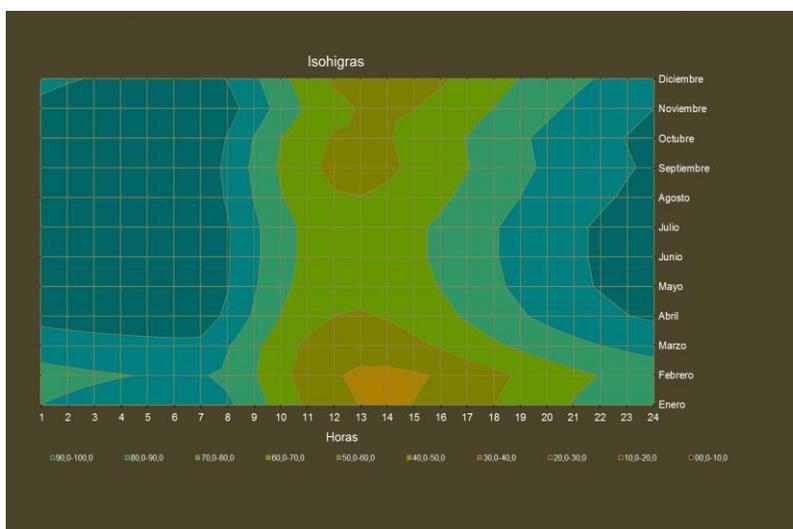
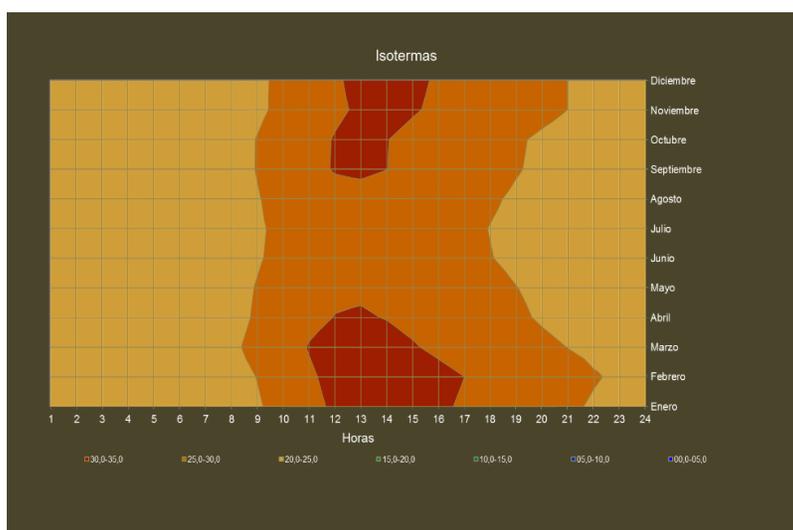
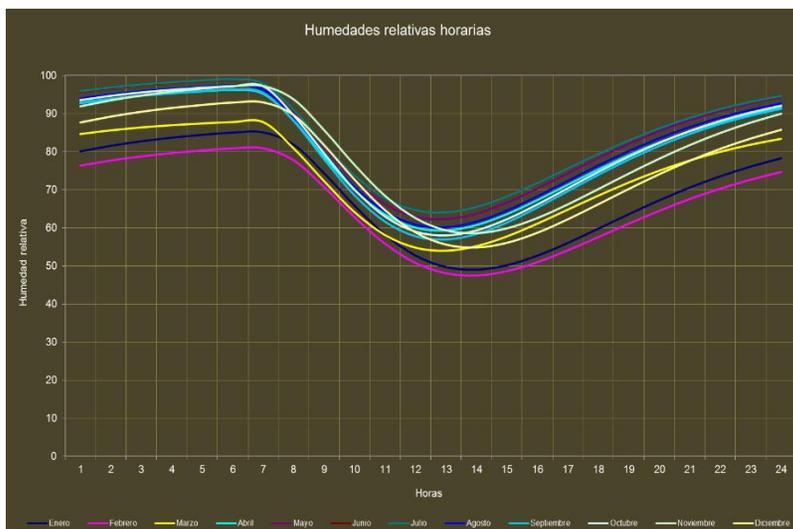
CRITERIO ESCALA DE IMPACTO				
	UNIDAD	BAJO	MEDIO	ALTO
1	unidad	0-25	25-50	>50
2	BTU	0-1.000.000	1.000.000 a 2.000.000	>2.000.000
3	piso	0-3	de 3 a 6	>6
4	oficinas	0-10	de 10 - 20	>20
5	oficinas	0 -30	de 30 - 60	>60
7	%	33%	66%	100%
8	%	33%	66%	100%
9	kWh	0 - 300.000	300.000 - 600.000	> 600.000

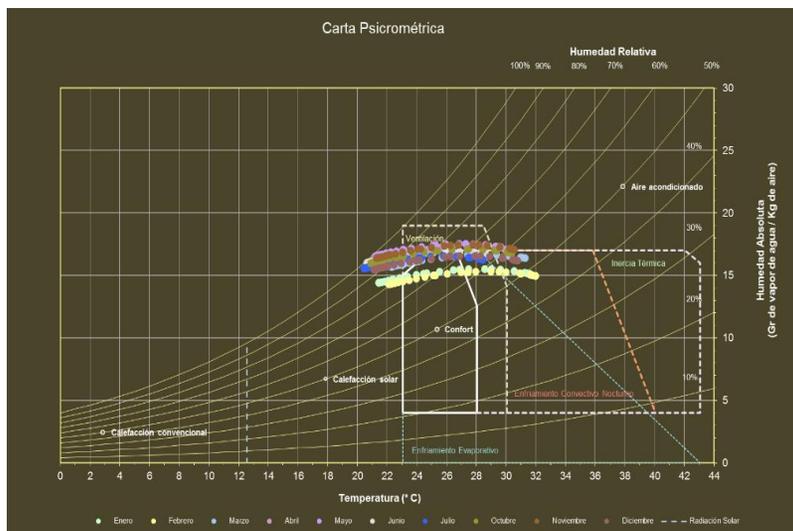
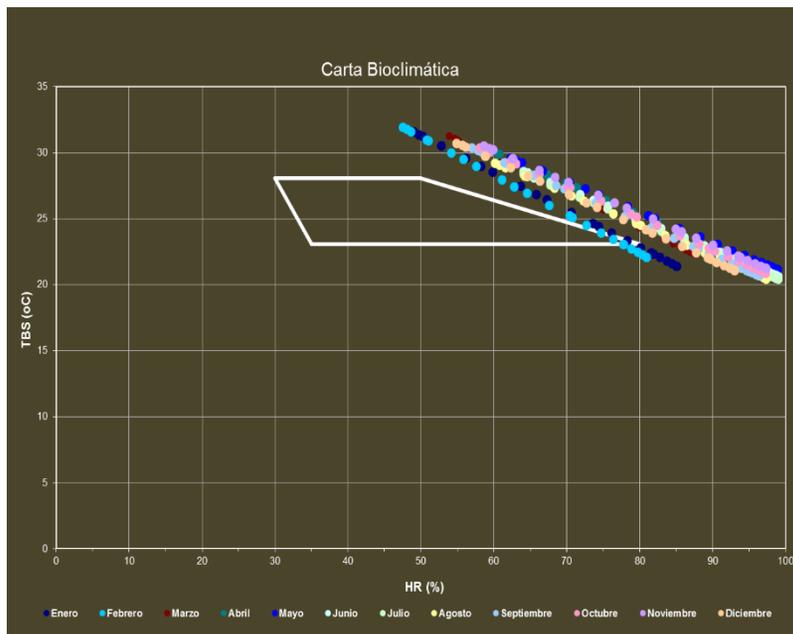
Anexo I

TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS																									
Regresar a Inicio																									
NOMBRE DEL SITIO Villavicencio													Procedimiento de cálculo de medias horarias desarrollado por Tejada, A. (1990)												
LATITUD 4,15 °													Temperatura de confort estimada con el modelo de ANSI-ASHRAE 55: 2010												
LONGITUD -74 °																									
HORAS	TEMPERATURA °C												HUMEDAD %												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1	22,8	23,5	23,1	22,2	21,9	21,4	21,2	21,3	21,6	21,8	22,6	22,4	80,1	76,3	84,6	92,8	95,6	95,8	95,8	93,9	92,6	93,5	91,9	87,7	
2	22,4	23,1	22,8	21,9	21,7	21,1	20,9	21,0	21,3	21,5	22,2	22,0	81,5	77,7	85,5	93,8	96,6	96,8	96,8	95,0	93,8	94,6	93,5	89,3	
3	22,1	22,7	22,6	21,7	21,5	21,0	20,8	20,8	21,1	21,3	21,9	21,7	82,7	78,8	86,3	94,7	97,4	97,6	97,6	95,8	94,7	95,5	94,7	90,5	
4	21,8	22,5	22,5	21,6	21,3	20,8	20,6	20,7	20,9	21,1	21,6	21,5	83,7	79,7	86,9	95,3	98,1	98,2	98,2	96,4	95,3	96,2	95,8	91,5	
5	21,6	22,3	22,4	21,5	21,2	20,7	20,5	20,6	20,8	21,0	21,4	21,3	84,4	80,3	87,3	95,8	98,5	98,6	98,6	96,9	95,9	96,7	96,6	92,3	
6	21,4	22,1	22,3	21,4	21,2	20,6	20,4	20,5	20,7	20,9	21,3	21,1	85,0	80,9	87,7	96,2	98,9	98,9	98,9	97,3	96,3	97,2	97,2	92,9	
7	21,4	22,1	22,3	21,6	21,4	20,9	20,7	20,7	20,9	20,9	21,3	21,1	85,0	80,9	87,7	95,2	97,7	97,8	97,8	96,2	95,4	97,2	97,2	93,0	
8	22,3	23,0	24,1	23,3	23,1	22,5	22,3	22,4	22,7	22,8	22,1	21,9	81,8	77,7	80,8	88,1	90,6	90,9	90,9	89,0	88,0	89,5	93,7	89,6	
9	24,4	25,1	26,4	25,6	25,3	24,5	24,3	24,7	25,2	25,2	24,0	24,0	74,3	70,7	72,2	78,6	81,2	81,9	81,9	79,5	78,0	79,5	85,7	81,7	
10	26,8	27,4	28,6	27,7	27,3	26,4	26,2	26,8	27,5	27,5	26,2	26,2	65,8	62,8	64,0	69,8	72,5	73,6	73,7	70,6	68,5	70,1	76,5	72,7	
11	29,0	29,5	30,2	29,2	28,7	27,8	27,6	28,3	29,2	29,2	28,2	28,3	58,2	55,8	58,0	63,4	66,2	67,7	67,7	64,2	61,6	63,0	68,4	64,7	
12	30,5	31,0	31,1	30,1	29,5	28,5	28,3	29,1	30,2	30,1	29,6	29,7	52,7	50,8	54,7	60,0	62,9	64,6	64,6	60,8	57,8	59,1	62,5	58,8	
13	31,4	31,8	31,3	30,3	29,6	28,6	28,4	29,2	30,4	30,4	30,4	30,6	49,7	48,0	53,9	59,3	62,3	64,0	64,0	60,1	56,9	58,0	59,3	55,6	
14	31,6	32,0	30,9	29,9	29,3	28,3	28,1	28,9	30,0	30,1	30,5	30,8	49,0	47,5	55,1	60,7	63,8	65,5	65,4	61,6	58,4	59,4	58,6	54,9	
15	31,2	31,6	30,3	29,2	28,6	27,7	27,5	28,2	29,3	29,4	30,2	30,4	50,2	48,6	57,7	63,5	66,7	68,2	68,2	64,5	61,4	62,3	59,8	56,1	
16	30,5	30,9	29,4	28,3	27,8	26,8	26,6	27,3	28,3	28,4	29,6	29,8	52,7	51,0	61,0	67,2	70,4	71,8	71,7	68,2	65,3	66,2	62,6	58,8	
17	29,6	30,0	28,4	27,4	26,8	26,0	25,8	26,4	27,3	27,4	28,7	28,9	56,1	54,1	64,7	71,3	74,4	75,6	75,6	72,3	69,6	70,4	66,1	62,3	
18	28,5	29,0	27,4	26,4	25,9	25,1	24,9	25,4	26,2	26,3	27,8	27,9	59,8	57,6	68,4	75,3	78,3	79,4	79,4	76,3	73,9	74,7	70,2	66,2	
19	27,5	27,9	26,5	25,5	25,1	24,3	24,1	24,5	25,2	25,4	26,8	26,9	63,6	61,1	71,8	79,0	82,0	82,9	82,9	80,1	77,9	78,7	74,2	70,3	
20	26,4	26,9	25,7	24,7	24,3	23,6	23,4	23,7	24,3	24,5	25,8	25,9	67,3	64,5	74,9	82,4	85,4	86,1	86,0	83,5	81,5	82,3	78,2	74,1	
21	25,5	26,0	25,0	24,0	23,6	23,0	22,8	23,0	23,6	23,7	25,0	25,0	70,6	67,6	77,6	85,3	88,2	88,8	88,8	86,4	84,6	85,4	81,7	77,7	
22	24,7	25,2	24,3	23,4	23,1	22,4	22,2	22,5	22,9	23,1	24,2	24,2	73,5	70,3	79,9	87,8	90,7	91,1	91,1	88,9	87,3	88,1	84,9	80,8	
23	23,9	24,5	23,8	22,9	22,6	22,0	21,8	22,0	22,4	22,6	23,6	23,5	76,1	72,7	81,8	89,8	92,7	93,0	93,0	90,9	89,4	90,3	87,7	83,5	
24	23,3	23,9	23,4	22,5	22,2	21,6	21,4	21,6	21,9	22,1	23,0	22,9	78,3	74,7	83,3	91,5	94,3	94,6	94,6	92,6	91,2	92,1	90,0	85,8	
Promedio	25,9	26,4	26,0	25,1	24,7	24,0	23,8	24,1	24,8	24,9	25,3	25,3	69,3	66,2	73,6	80,7	83,6	84,3	84,3	81,7	79,8	80,8	80,3	76,3	
Oscilación	10,2	9,9	9,0	8,9	8,5	8,0	8,0	8,8	9,7	9,5	9,3	9,7	36,0	33,5	33,8	36,9	36,6	34,9	34,9	37,2	39,3	39,1	38,7	38,1	
Confort	25,8	26,0	25,9	25,6	25,5	25,2	25,2	25,3	25,5	25,5	25,7	25,7	MIN	49,0	47,5	53,9	59,3	62,3	64,0	64,0	60,1	56,9	58,0	58,6	54,9
													MAX	85,0	80,9	87,7	96,2	98,9	98,9	98,9	97,3	96,3	97,2	97,2	93,0

Hoja de cálculo desarrollada por Dr. Gabriel Gómez Azpeitia
 Universidad de Colima, México







Anexo J

CARACTERÍSTICAS CAPTADOR SOLAR

■ Datos técnicos		
Modelo	FDIRECT020	
Dimensiones	(alto x ancho x profundo) (mm)	2.021x1.500x115
	Sup. de absorción (m ²)	2
Bastidor	Material	Acero Inoxidable
	Aislamiento	Poliuretano A.D.
Tubos	N° de Tubos	20
	Material	Vidrio bajo en Fe
	Díámetro (mm)	65
	Espesor (mm)	1,5
Absorbedor	Tipo de absorbedor	Cobre
	Recubrimiento	Altamente selectivo (TiNOX)
	Absortividad	95%
	Emisividad	5%
Fluido	Aislamiento	Vacío (10 ⁻⁵ mbar)
	Tipo de fluido	Agua+Glicol
	Volumen de fluido (litros)	3,90
	Caudal recomendado (l/h) Mín.	120 300
Parámetros ensayados (1)	Coefficiente óptico Máx.	0,814
	K1 (W/m ² K)	1,70
	K2 (W/m ² K)	0,0034
	Rendimiento óptico (%)	0,76
	Coefficiente de pérdidas (%) (W/m ² K)	2,00
Parámetros operativos	Temp. de estancamiento	245 (°C)
	Presión máxima (bar)	5
Tipo de cubierta	Conex. hidráulica bastidor	22 x 1,2 (mm)
	Tipo conex. bastidor-tubos	Directa
Pérdida de carga (mbar)	60 l/h	1
	70 l/h	
	300 l/h	
	350 l/h	
Máx. número de paneles en serie	3	
Peso (Kg)	57	
Código	5409090105	

Anexo K

CALCULO CIRCUITOS SOLARES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

DISEÑO CIRCUITO PRIMARIO. PERDIDA DE CARGA PRIMARIA												
Q fabr (120l/h - 300 l/h)		70	l/(h.m ²)									
Area del captador		3,03	m ²									
Tramo	No captadores	Q	longitud (m)			Diámetro nominal		D interno	Velocidad	H carga unitaria	H corregida f corrector agua < 40	H de carga primaria total
			v	h	total	in	mm					
0-A	59	12513,9		4,53	4,53	2,5	63,5	62,61	1,13	16,36	22,01	99,69
A-B	9	1908,9	5,85	12,1	17,9	1,25	31,8	32,13	0,65	14,49	19,48	348,97
B-C	5	1060,5	0	0,14	0,14	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	2,65
B-C1	4	848,4	0	3,89	3,89	1,25	31,8	32,13	0,29	3,50	4,71	18,34
1-3	5	1060,5	0	2,48	2,48	1,25	31,8	32,13	0,36	5,18	6,97	17,28
2-3	4	848,4	0	0,14	0,14	1	25,4	26,04	0,44	9,52	12,80	1,79
3-5	9	1908,9	5,85	2,96	8,81	1,25	31,8	32,13	0,65	14,49	19,48	171,66
A-D	50	10605	0	5,19	5,19	2,5	63,5	62,61	0,96	12,25	16,47	85,49
D-E	33	6999,3	0	5,54	5,54	2	50,8	50,42	0,97	16,56	22,27	123,38
E-F	19	4029,9	0	11,4	11,4	1,5	38,1	38,23	0,98	23,47	31,57	359,54
F-G	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
F-H	14	2969,4	0	2,34	2,34	1,5	38,1	38,23	0,72	13,75	18,50	43,29
H-I	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
H-J	9	1908,9	0	2,34	2,34	1,25	31,8	32,13	0,65	14,49	19,48	45,59
J-K	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
J-L	4	848,4	0	3,66	3,66	1	25,4	26,04	0,44	9,52	12,80	46,86
4-7	5	1060,5	0	0,91	0,91	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	17,22
6-7	5	1060,5	0	0,7	0,7	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	13,25
7-9	10	2121	0	2,34	2,34	1,25	31,8	32,13	0,73	17,42	23,43	54,83
8-9	5	1060,5	0	0,7	0,7	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	13,25
9-11	15	3181,5	0	2,34	2,34	2	50,8	50,42	0,44	4,17	5,60	13,11
10-11	4	848,4	0	0,7	0,7	1	25,4	26,04	0,44	9,52	12,80	8,96
11-25	19	4029,9	0	2,81	2,81	2	50,8	50,42	0,56	6,30	8,48	23,82
E-M	14	2969,4	0	12,2	12,2	1,5	38,1	38,23	0,72	13,75	18,50	225,68
M-N	3	636,3	0	0,2	0,2	0,75	19,1	19,94	0,57	20,43	27,48	5,50
M-O	11	2333,1	0	5,44	5,44	1,5	38,1	38,23	0,57	9,02	12,13	65,98
O-P	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
O-Q	6	1272,6	0	4,09	4,09	1,25	31,8	32,13	0,44	7,13	9,58	39,20
17-16	3	636,3	0	2,48	2,48	0,75	19,1	19,94	0,57	20,43	27,48	68,15
15-16	5	1060,5	0	0,14	0,14	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	2,65
16-14	8	1696,8	0	2,34	2,34	1,25	31,8	32,13	0,58	11,79	15,86	37,10
13-14	6	1272,6	0	0,14	0,14	1	25,4	26,04	0,66	19,36	26,03	3,64
14-12	14	2969,4	0	1,17	1,17	1,5	38,1	38,23	0,72	13,75	18,50	21,64
D-R	17	3605,7	0	13,6	13,6	1,5	38,1	38,23	0,87	19,32	25,98	353,11
R-S	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
R-T	12	2545,2	0	2,34	2,34	1,5	38,1	38,23	0,62	10,50	14,12	33,05
T-U	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
T-V	7	1484,7	0	2,34	2,34	1	25,4	26,04	0,78	25,35	34,09	79,78
V-W	5	1060,5	0	0,2	0,2	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	3,78
V-X	2	424,2	0	2,54	2,54	0,75	19,1	19,94	0,38	10,05	13,52	34,33
18-20	5	1060,5	0	2,48	2,48	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	46,93
19-20	5	1060,5	0	0,14	0,14	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	2,65
20-22	10	2121	0	2,34	2,34	1,25	31,8	32,13	0,73	17,42	23,43	54,83
21-22	5	1060,5	0	0,14	0,14	1	25,4	26,04	0,55	14,07	18,92	2,65
22-24	15	3181,5	0	7	7	2	50,8	50,42	0,44	4,17	5,60	39,23
23-24	2	424,2	0	0,14	0,14	0,75	19,1	19,94	0,38	10,05	13,52	1,89
24-12	17	3605,7	0	4,05	4,05	1,5	38,1	38,23	0,87	19,32	25,98	105,23
12-5	31	6575,1	0	7,84	7,84	2	50,8	50,42	0,92	14,84	19,96	156,51
5-25	40	8484	0	0,2	0,2	2	50,8	50,42	1,18	23,19	31,18	6,24
25-INT	59	12513,9	0	1,25	1,25	2,5	63,5	62,61	1,13	16,36	22,01	27,51

Diseño circuito primario - cálculo de pérdida de carga total

Tramo	No captadores	Q	Pérdida de carga unitaria	Diámetro interno	Válvula Retenc		Codo		T paso angular		Válvula esfera	Long Equiv	H de carga secundaria	H de carga primaria	H de carga total	
					#	long	#	long	#	long						#
	un	l/h	(mm ca/m)									m	(mm ca)	(mm ca)	(mm ca)	
0-A	59	12513,9	22,01	62,61	1	7,6		0		0	0	7,6	167,25	99,69	266,94	
A-B	9	1908,9	19,48	32,13			6	4,74	1	1,1		0	5,84	113,79	348,97	462,76
B-C	5	1060,5	18,92	26,04		0	0	0		0	1	0,27	0,27	5,11	2,65	7,76
B-C1	4	848,4	4,71	32,13		0	3	2,37	0	0	1	0,3	2,67	12,59	18,34	30,92
1--3	5	1060,5	6,97	32,13		0	1	0,79		0	1	0,3	1,09	7,59	17,28	24,87
2--3	4	848,4	12,80	26,04		0		0	0	0	1	0,27	0,27	3,46	1,79	5,25
3--5	9	1908,9	19,48	32,13		0	2	1,58	1	1,1		0	2,68	52,22	171,66	223,88
A-D	50	10605	16,47	62,61		0		0		0		0	0,00	85,49	85,49	
D-E	33	6999,3	22,27	50,42		0		0	1	2,2		0	2,2	49,00	123,38	172,38
E-F	19	4029,9	31,57	38,23		0	4	4	1	1,52		0	5,52	174,24	359,54	533,78
F-G	5	1060,5	18,92	26,04		0	0	0	1	0,9	1	0,27	1,17	22,14	3,78	25,92
F-H	14	2969,4	18,50	38,23		0	0	0	1	1,52		0	1,52	28,12	43,29	71,40
H-I	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	3,78	8,89
H-J	9	1908,9	19,48	32,13		0		0	1	1,1		0	1,1	21,43	45,59	67,03
J-K	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	3,78	8,89
J-L	4	848,4	12,80	26,04		0	3	1,83	1	0,9	1	0,27	3	38,41	46,86	85,28
4--7	5	1060,5	18,92	26,04		0	2	1,22	0	0	1	0,27	1,49	28,19	17,22	45,41
6--7	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	13,25	18,35
7--9	10	2121	23,43	32,13		0		0	1	1,1	1	0,3	1,4	32,80	54,83	87,63
8--9	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	13,25	18,35
9--11	15	3181,5	5,60	50,42		0		0	1	2,2	1	0,7	2,9	16,25	13,11	29,36
10--11	4	848,4	12,80	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	3,46	8,96	12,42
11--25	19	4029,9	8,48	50,42		0	1	1,5	1	2,2		0	3,7	31,36	23,82	55,17
E-M	14	2969,4	18,50	38,23		0	5	5		0		0	5	92,49	225,68	318,17
M-N	3	636,3	27,48	19,94		0		0	1	0,67		0	0,67	18,41	5,50	23,91
M-O	11	2333,1	12,13	38,23		0	2	2		0		0	2	24,26	65,98	90,24
O-P	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	3,78	8,89
O-Q	6	1272,6	9,58	32,13		0	3	2,37		0	1	0,3	2,67	25,59	39,20	64,79
17--16	3	636,3	27,48	19,94		0	1	0,48		0	1	0,21	0,69	18,96	68,15	87,11
15--16	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	2,65	7,76
16--14	8	1696,8	15,86	32,13		0		0	1	1,1		0	1,1	17,44	37,10	54,54
13--14	6	1272,6	26,03	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	7,03	3,64	10,67
14--12	14	2969,4	18,50	38,23		0		0	1	1,52		0	1,52	28,12	21,64	49,76
D-R	17	3605,7	25,98	38,23		0	2	2		0		0	2	51,97	353,11	405,07
R-S	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	2	0,54	0,54	10,22	3,78	14,00
R-T	12	2545,2	14,12	38,23		0		0	1	1,52		0	1,52	21,47	33,05	54,52
T-U	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	3,78	8,89
T-V	7	1484,7	34,09	26,04		0		0	1	0,9	1	0,27	1,17	39,89	79,78	119,67
V-W	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	3,78	8,89
V-X	2	424,2	13,52	19,94		0	1	0,48		0	2	0,42	0,9	12,17	34,33	46,50
18--20	5	1060,5	18,92	26,04		0	1	0,61		0	1	0,27	0,88	16,65	46,93	63,58
19--20	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	2,65	7,76
20--22	10	2121	23,43	32,13		0		0	1	1,1		0	1,1	25,77	54,83	80,60
21--22	5	1060,5	18,92	26,04		0		0		0	1	0,27	0,27	5,11	2,65	7,76
22--24	15	3181,5	5,60	50,42		0	2	3	1	2,2		0	5,2	29,14	39,23	68,37
23--24	2	424,2	13,52	19,94		0		0		0	1	0,21	0,21	2,84	1,89	4,73
24--12	17	3605,7	25,98	38,23		0	1	1		0		0	1	25,98	105,23	131,21
12--5	31	6575,1	19,96	50,42		0	1	1,5	1	2,2		0	3,7	73,86	156,51	230,37
5--25	40	8484	31,18	50,42		0		0	1	2,2		0	2,2	68,61	6,24	74,84
25-INT	59	12513,9	22,01	62,61		0	1	1,8		0		0	1,8	39,61	27,51	67,12

Diseño circuito secundario. Perdida de carga secundaria

DISEÑO CIRCUITO SECUNDARIO. PERDIDA DE CARGA SECUNDARIA

Q fabr (120l/h - 300 l/h)	63	l/(h.m ²)
Area del captador	3,03	m ²

Tramo	No captadores	Q	longitud (m)			Diámetro nominal		D interno	Velocidad	H carga unitaria < 40 mm ca	H corregida f corrector agua	H de carga primaria total
			v	h	total	in	mm					
Secundario	59	11262,5		15	15	2,5	63,5	62,61	1,02	13,61	18,30	274,52

Diseño circuito secundario-cálculo de perdida de carga total

Q fabr (120l/h - 300 l/h)	70	l/(h.m ²)
Area del captador	3,03	m ²

Tramo	No captadores	Q	Perdida de carga unitaria (mm ca/m)	Diámetro interno	Válvula Retenc		Codo		T paso angular		Válvula esfera	Long Equiv	H de carga secundaria (mm ca)	H de carga primaria (mm ca)	H de carga total (mm ca)	
					#	long	#	long	#	long						#
Secundario	59	11262,5	18,30	62,61	1	7,6	4	7,2	5	13,3	6	5,1	33,2	606,69	274,52	881,21

Anexo

L

DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO DE SUMINISTRO DE AGUA

Q fabr (120l/h - 300 l/h)	70	l/(h.m²)
Area del captador	3,03	m²

Tramo	No captadores	Q	longitud (m)			Diámetro nominal		D interno	Velocidad	H carga unitaria < 40 mm ca	H corregida f corrector agua	H de carga primaria total
			v	h	total	in	mm					
IMPULSIÓN 1-2	59	12513,9	3	4	7	2,5	63,5	62,61	1,13	16,36	22,01	154,05
IMPULSIÓN 2-3	59	12513,9	33,9	4	37,9	2,5	63,5	62,61	1,13	16,36	22,01	834,07
SUCCIÓN	59	12513,9	1,8	1	2,8	2,5	63,5	62,61	1,13	16,36	22,01	61,62

DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO DE SUMINISTRO DE AGUA

Q fabr (120l/h - 300 l/h)	70	l/(h.m²)
Area del captador	3,03	m²

Tramo	No captadores	Q	Perdida de carga unitaria	Diámetro interno	Válvula Retenc		Codo		T paso angular		Válvula esfera	Long Equiv	H de carga secundaria	H de carga primaria	H de carga total	
					#	long	#	long	#	long						#
IMPULSIÓN 1-2	58	12513,9	22,01	62,61	0	0	3	5,4	3	7,95	5	4,25	17,6	387,32	154,05	541,37
IMPULSIÓN 2-3	58	12513,9	22,01	62,61	0	0	1	1,8	0	0	1	0,85	2,65	58,32	834,07	892,38
SUCCIÓN	58	12513,9	22,01	62,61	1	7,6	2	3,6	0	0	2	1,7	12,9	283,89	61,62	345,51

A. calculo de la altura estatica de impulsión

altura tanque alto	1,4
10 entre pisos de 2,9 c/u	29
sotano	3,5
total altura estatica	33,9

B. calculo de la NPSH

NPSH= Presión barométrica en sitio - tensión de vapor del agua a temperatura ambiente - altura dinámica de succión.

presión barométrica villavicencio	9,46
tensión vapor agua 15C	0,17
Altura dinámica de succión	2,2107
NPSH	7,0793

C. Altura maxima de succion

A.M.S =(10.33-(a+b+c+d+e+f))

a= perdida sobre nivel del mar	0,87	m
b= perdida por temperatura	0,17	m
c=perdidas por depresiones barométricas	0,36	m
d=perdidas por vacío imperfecto	2,4	m
e=perdidas por fricción y acce	0,34551	m
f=perdida por cabeza de velocidad	0,06515	m
TOTAL	4,21	m

AMS= 6,12 m

D. calculo de la potencia

P = G*Ht*Q/(76n)

Ht= (Altura estica+perd impulsión+perdi succión+NPSH+AMS)
48,878

Potencia= 3,44 HP

se instalaran 2 bombas de 3.5 hp

Altura total 48,878 mca

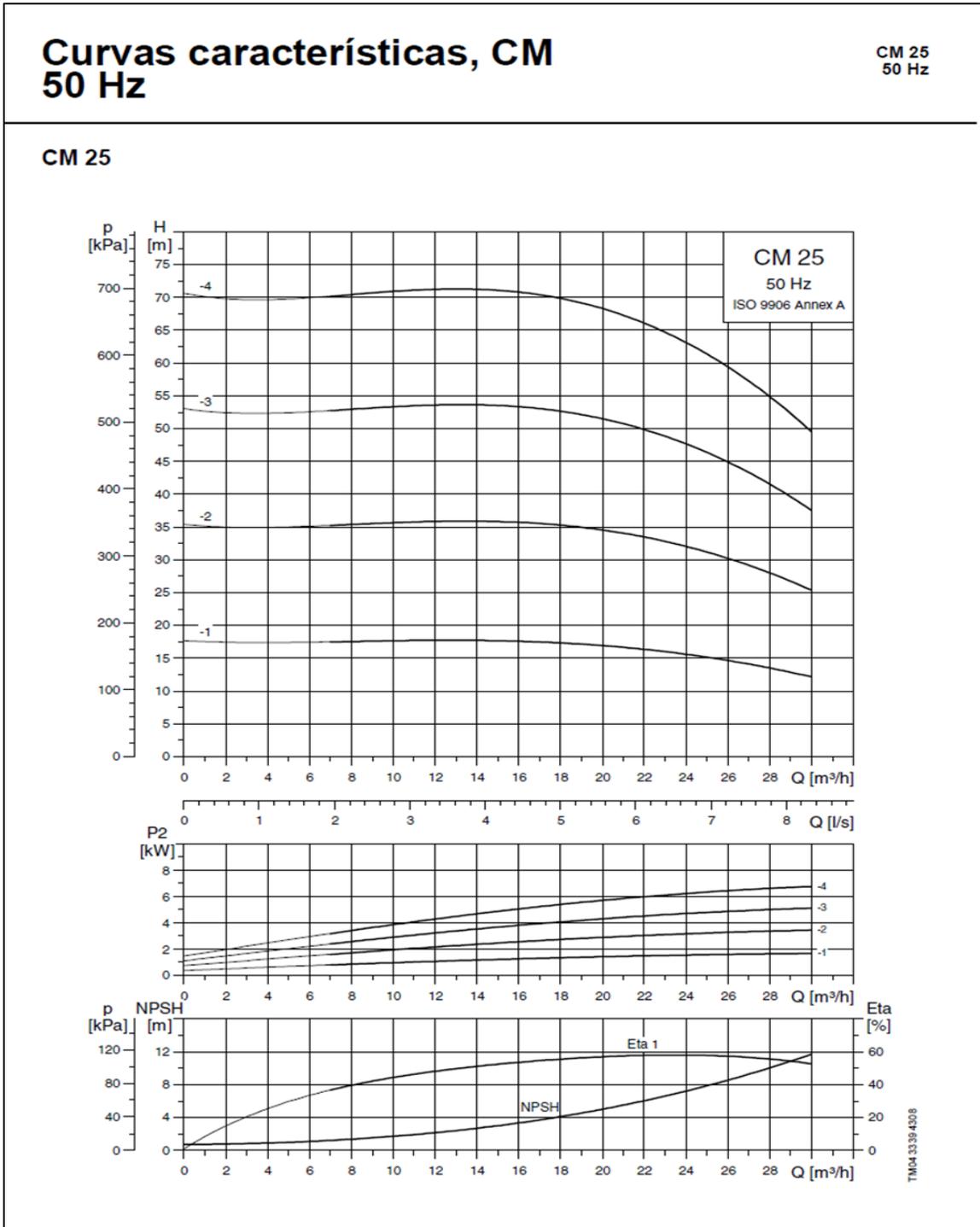
tipo centrifuga no autocebante

motor trifasico

caudal 3,48 l/s

NPSH 4,21 mca

Anexo M



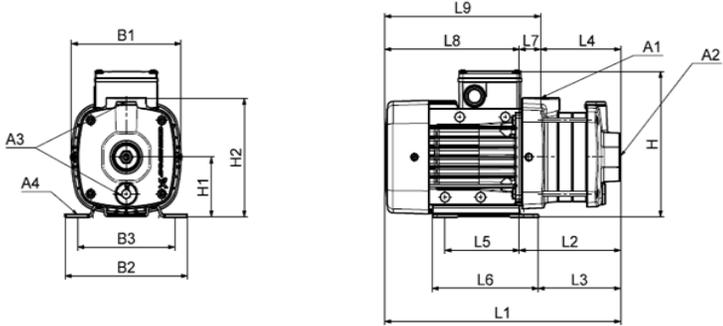
CURVA CARACTERISTICA BOMBA CIRCUITO SUMINISTRO DE AGUA.

- Potencia: 3.5 HP. o 2.6 kW
- Altura total: 50.5 metros
- Tipo de bomba centrífuga de 3500 rpm
- Caudal de diseño: 3.47 l/s
- Altura máxima de succión: 5.71 l/s
- Cabeza neta de succión positiva (NPSH): 7.069 m
- Material: Fundición, EN-GJL-200
- Tensión nominal: 3 x 220-240 V/380-415 V
- Potencia absorbida: 2,5 kW
- Peso neto: 39,5 kg
- Peso bruto: 42,0 kg

Dimensiones, CM 50 Hz

**CM 25-A
50 Hz**

CM 25-A
(A = Fundición EN-GJL-200)



TMO4 2248 2208

Dimensiones
3 x 220-240 V / 380-415 V, 50 Hz (tensión de alimentación F)

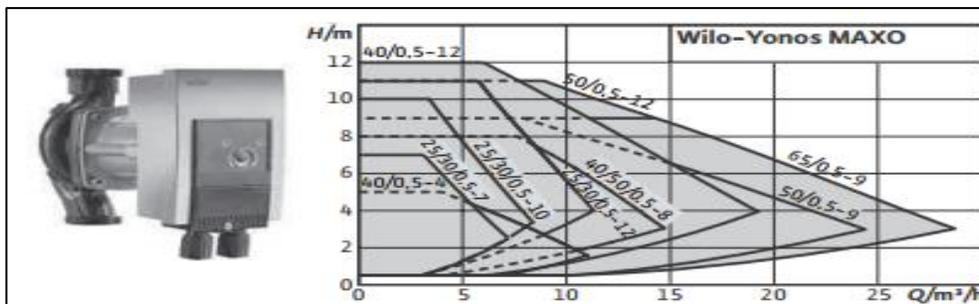
Tipo de bomba	Tamaño	P ₂ [kW]	Dimensiones [mm]																		
			A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	H	H1	H2	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
CM 25-1	90	2,20	2"	2"	3/8"	10	190	199	160	210	100	245	421	190	175	97	140	170	93	232	324
CM 25-2	100	4,00	2"	2"	3/8"	10	198	199	160	220	100	245	477	205	190	97	140	170	108	272	380
CM 25-3	112	5,80	2"	2"	3/8"	12	220	228	190	246	112	257	560	258	242	127	140	172	131	302	433

Para un caudal de 12513,09 l/h y pérdida de 8 mca.

Se escogió bomba marca Wilo Yonos Maxo modelo 40/0,5-12 para circuito primario

Se escogió bomba marca Wilo Yonos Maxo modelo 50/0,5-9 para circuito secundario

CURVA DE BOMBA, CIRCUITO SOLAR PRIMARIO Y SECUNDA



Anexo N

CALCULO DE INTERCAMBIADOR MEDIANTE SORFWARE SWEP.

Selección de intercambiadores

Heat Exchanger : B28x40

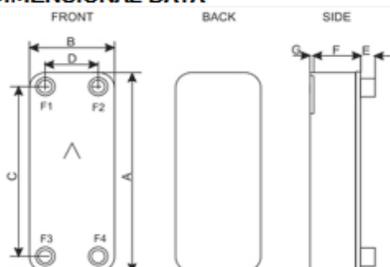
DUTY REQUIREMENTS	Unit	Side 1	Side 2
Heat load	kW		87,91
Inlet temperature	°C	105,00	75,00
Outlet temperature	°C	97,35	90,00
Flow rate	kg/s	2,725	1,523
Max. pressure drop	kPa	50,0	50,0
Thermal length		0,415	0,814

PLATE HEAT EXCHANGER	Unit	Side 1	Side 2
Total heat transfer area	m ²		2,28
Heat flux	kW/m ²		38,6
Mean temperature difference	K		18,43
O.H.T.C. (available/required)	W/m ² , °C		7920/2090
Pressure drop -total*	kPa	124	34,0
- in ports	kPa	5,02	1,50
Port diameter	mm	33,0/33,0 (up/down)	33,0/33,0 (up/down)
Number of channels		19	20
Number of plates			40
Oversurfacing	%		279
Fouling factor	m ² , °C/kW		0,344
Reynolds number		9109	1821
Port velocity	m/s	3,33	1,77

PHYSICAL PROPERTIES	Unit	Side 1	Side 2
Reference temperature	°C	101,18	82,50
Dynamic viscosity	cP	0,279	0,740
Dynamic viscosity - wall	cP	0,292	0,725
Density	kg/m ³	957,5	1005
Heat capacity	kJ/kg, °C	4,217	3,847
Thermal conductivity	W/m, °C	0,6794	0,4750
Largest Wall Temperature Difference	K		3,25
Min. fluid temperature at wall	°C	92,08	88,82
Max. fluid temperature at wall	°C	101,46	99,28
Film coefficient	W/m ² , °C	33600	12800
Average wall temperature	°C	96,69	94,34
Channel velocity	m/s	0,663	0,335
Shear stress	Pa	253	69,2

Heat Exchanger : B28x40

DIMENSIONAL DATA



	Unit	Value	Tolerance
A*	mm	526 to 562	+/-2
B*	mm	119 to 155	+/-1
C	mm	470	+/-1
D	mm	63	+/-1
E*	mm	27 to 45 (opt. 45)	+/-1
F*	mm	93,60 to 108,40	+/-2%
G	mm	6	+/-1
P	mm	15	
R*	mm	15 to 23	

This is a schematic sketch. For correct drawings please use the order drawing function or contact your SWEP representative.

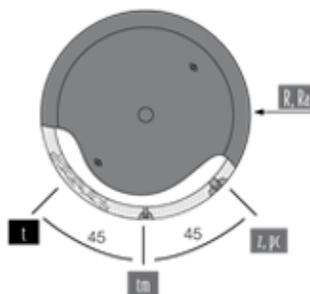
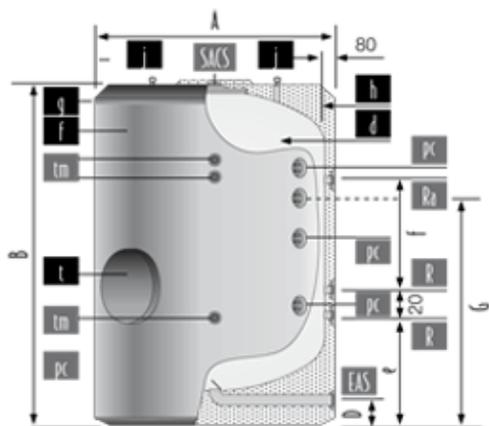
* Dimensions depends on the selected product.

Anexo Ñ

CATALOGO TANQUE DE ACUMULACION

ASF-1500, ASF-2000, ASF-3000, ASF-4000, ASF-5000

- _ Capacidades: 1500, 2000, 3000, 4000 y 5000 litros.
- _ Depósitos para acumulación de A.C.S. en acero con revestimiento epoxídico de calidad alimentaria.
- _ Aislamiento térmico con espuma rígida de poliuretano inyectado en molde libre de CFC.
- _ Protección catódica permanente de serie (se suministra de serie en caja adjunta).
- _ Disponen de las conexiones necesarias para la producción de A.C.S. a través de un intercambiador de placas y/o resistencias eléctricas de calentamiento.



Para una correcta regulación al sistema de captación solar, se ha de colocar la sonda en la conexión del retorno solar (RS) del primario del intercambiador..

		ASF-5000
CARACTERÍSTICAS		
Capacidad ACS	l.	5.000
Temperatura máx. en continuo ACS	°C	90
Presión máx. depósito ACS	bar	8
Peso en vacío (aprox.)	kg.	1040
CONEXIONES		
EAS: entrada agua fría/desagüe	GAS/M	3"
SACS: Salida agua caliente	GAS/M	3"
z: recirculación	GAS/M	1-1/2"
R: Conexión (resistencia eléctrica)	GAS/M	2"
tm: Conexión sensores laterales	GAS/M	3/4"
pc: Conexión protección catódica	GAS/M	1- 1/2"
nº de conexiones de protección catódica	und.	3
DIMENSIONES		
Radio de vuelco mínimo	mm.	3350
Cota A: Diámetro exterior	mm.	1910
Cota B: Longitud total	mm.	2710
Cota d:	mm.	200
Cota e:	mm.	875
Cota f:	mm.	870
Cota g:	mm.	1805
Longitud de la diagonal del acumulador		3320
CÓDIGO		942010537
EAN-13		8413880160115
OPCIONAL		
Resistencia Eléctrica ASF (6000 W)	CÓDIGO	979011324
	EAN	8413880177229
Resistencia Eléctrica ASF (9000 W)	CÓDIGO	979011333
	EAN	8413880177236
Ánodo Magnesio ASF	CÓDIGO	979011351
	EAN	8413880177250

Anexo O

CARACTERISTICAS MAQUINA DE ABSORCION.

MODELO		Unidad	LWM- W003	LWM- W004	LWM- W005	LWM- W007	LWM- W008	LWM- W010	LWM- W012	LWM- W014	LWM- W016	LWM- W019	LWM- W021	LWM- W024	LWM- W027	
Temperatura agua enfriada		Cº							12 ? 7							
Temperatura nominal enfriamiento		KW	99	134	165	215	264	331	398	465	532	630	697	796	894	
Circuito agua enfriada	Caudal		17,1	22,8	28,5	37,0	45,6	57,0	68,3	79,7	91,1	108,2	119,6	136,7	153,8	
	Pérdida de carga	mAq	2,2	2,9	5,3	6,5	6,7	5,8	5,8	6,0	6,4	5,9	5,8	5,9	5,7	
	Diámetro conexión	DN	65		80			100			150		150			
Temperatura		Cº							31 ? 36,5							
Circuito agua enfriamiento	Caudal		37,4	49,8	62,3	81,0	99,7	124,6	149,5	174,4	199,4	236,8	261,7	299,1	336,4	
	Pérdida de carga	mAq	2,5	3,6	6,3	2,3	2,8	4,3	5,1	3,6	4,1	7,3	7,8	5,7	6,3	
	Diámetro conexión	DN	80			125			150			200				
Temperatura		Cº							95 ? 80							
Circuito agua caliente	Caudal		8,0	10,7	13,4	17,4	21,4	26,7	32	37,4	42,7	50,7	56,1	64,1	72,1	
	Perdida de carga	mAq	1,1	1,2	2,6	0,8	0,9	2,1	2,2	2,2	2,4	4,4	4,3	4,4	4,4	
	Diámetro conexión	DN	40		65			80			100					
	Dia. Válvula de control	DN	40		50			65			80					
Características eléctricas	Fase, voltage, frecuencia	V							3 Ph 220/ 380 / 440							
	Corriente total	A	5,6			7,8			8,1			14,4				
	Dimensión cable								3,5							
	Circuito de control	kVA	3,7			5,1			5,3			9,5				
	Bomba absorbedor 1	kW[A]	1.2 (3.0)			2.0 (5.2)			3.0 (11.5)							
	Bomba refrigerante	kW[A]	0.2 (1.1)			0.4 (1.4)										
	Bomba de purga	kW[A]							0.4 (1.0)							
Dimensiones	Largo	mm	2020		2520		2547		3567		3627		4630		4784	
	Ancho	mm	1344		1346			1305			1476			1539		
	Alto	mm	1952		1965			2150			2330			2630		
Peso	Operativo	ton	2,1	2,3	2,7	4,1	4,3	5,3	5,7	6,9	7,2	8,4	8,9	10,8	11,3	
	Con embalaje	ton	1,8	1,9	2,3	3,5	3,7	4,6	4,9	5,8	6,1	7,1	7,5	9,1	9,5	

Anexo P

CATALOGO TORRE DE REFRIGERACION

TORRES DE REFRIGERACIÓN SERIE TVC



Características técnicas:

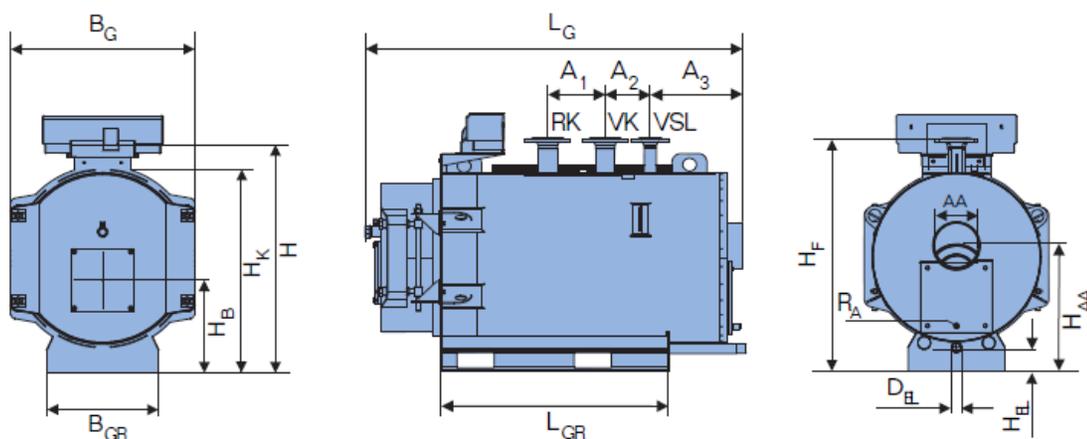
Modelo	Potencia térmica	Caudal de aire	Número ventiladores y motores	Potencia motores eléctricos			Pesos			
				Versión standard	Con silenciadores	Con presión 100 Pa	Versión standard		Silenciadores	
							vacío	carga	Aspiración	Descarga
	kW (t)	m ³ /h	Nº	kW	kW	kW	Kg	Kg	Kg	Kg
012	122	2,87	1x1	1,1	1,1	1,5	350	760	125	120
014	139	3,32	1x1	1,5	1,5	2,2	354	780	125	120
015	153	3,21	1x1	1,1	1,5	2,2	360	790	125	120
016	165	3,15	1x1	1,1	1,5	2,2	365	795	125	120
017	179	3,21	1x1	1,5	2,2	2,2	380	800	125	120
019	194	3,32	1x1	1,5	2,2	2,2	385	820	125	120
121	210	4,43	1x1	2,2	3	3	425	1.015	170	140
123	230	4,43	1x1	2,2	3	3	435	1.025	170	140
125	254	4,59	1x1	3	4	4	445	1.035	170	140
128	285	4,91	1x1	4	4	5,5	460	1.050	170	140
232	319	6,11	1x1	2,2	3	3	730	1.610	170	195
235	350	6,75	1x1	3	4	4	750	1.630	200	195
239	386	6,97	1x1	4	4	5,5	760	1.640	200	195
241	414	7,13	1x1	4	5,5	5,5	770	1.650	200	195
345	453	8,71	1x1	4	4	5,5	845	2.030	200	220
349	487	9,45	1x1	5,5	5,5	5,5	860	2.050	200	220
352	522	9,45	1x1	5,5	5,5	7,5	890	2.080	200	220
356	565	9,75	1x1	5,5	7,5	7,5	910	2.100	200	220

Anexo Q

CATALOGO DE CALDERA

Caldera	Potencias [kW]	Tipos	Peso [kg]	Largo [mm]	Ancho [mm]	Alto [mm]	Referencias
	420		900	2142	955	1320	7717500721
	500		1040	2075	1040	1430	7717500722
	600		1150	2320	1040	1430	7717500723
	730		1360	2270	1040	1430	7717500724
Logano SK755	820	Caldera con cuadro simple 4212	1460	2469	1040	1430	7717500725
	1040		1790	2600	1470	1475	7717500726

■ Datos técnicos SK755 (420-820 kW)

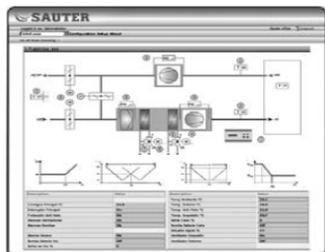


Anexo R

CATALOGO SISTEMA DE REGULACION Y CONTROL



RDT708F002



Comunicación vía internet
WEBMASTER MODBUS



Sonda ambiente



Sonda exterior



Sonda inmersión



Sonda humedad



Sonda condensación



Sonda contacto tubería

Código	Modelo	Entradas	Salidas	Comunicación
		<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones: sistemas de ventilación, calefacción y climatización • Caja en material termoplástico • Display retroiluminado, texto explícito y teclas • Sencillo panel de manejo • Software PC para parametrización • Montaje carril DIN según EN60715 • Alimentación: 24V/50Hz • Salida digital: salida de relé 4A 230V • Salida analógica: 0...10 Vcc 		
CO 06 335	RDT708F002	4 analógicas/ Ni100	1 digital/ 3 analógicas	RS232 => PC
CO 06 336	RDT711F002	4 analógicas/ Ni100 + 2 dígitos	2 digitales/ 3 analógicas	RS232 => PC
CO 06 337	RDT724F002	4 digitales/ Ni100 + 8 analógicas	6 digitales/ 6 analógicas	RS232 => PC
CO 06 340	RDT724F022	4 digitales/ Ni100 + 8 analógicas	6 digitales/ 6 analógicas	Modbus RTV slave
Nota: Rogamos envíen esquema de principio de su instalación para ajustar modelo de regulador * Puesta en marcha y cableado, no incluidos				

Ver Catálogo de Soluciones en nuestra Web

Accesorios:

Código	Artículo
CO 06 338	Volcado de datos vía PC RS232 (0313991001)
CO 06 339	Módulo de comunicación Webmaster Modbus, sólo para RDT724F022 (ERW100F001)

Elementos de campo:

Código	Artículo	Rango
TEMPERATURA		
CO 06 341	Sonda temperatura ambiente EGT330F101	-20/+60°C
CO 06 205	Sonda temperatura exterior EGT301F101	-50/+80°C
CO 06 262	Sonda temperatura impulsión tipo píldora EGT354F101, long. cable 1m bulbo Ø x mm	-20/+100°C
CO 06 263	Kit universal para tipo píldora diversos montajes (contacto exterior)	
CO 06 342	Sonda temperatura conducto EGT347F101 (368839) longitud 225 mm	
CO 06 284	Sonda temperatura inmersión EGT346F101	-30/+130°C
CO 06 283	Vaina latón (0364439120) long. 120mm	
CO 06 348	Sonda temperatura temperatura contacto tubería EGT311F101	-30/+130°C
HUMEDAD RELATIVA		
CO 06 343	Sonda humedad ambiente EGH120F001 señal 0..10V=	10..95%HR
CO 06 344	Sonda humedad conducto EGH110F002 señal salida 0..10V=	0..100%HR
COMBINADAS TEMPERATURA/HUMEDAD		
CO 06 346	Sonda combinada ambiente EGH130F001 salida 0..10V=	10..95%HR 0/50°C
CO 06 347	Sonda combinada conducto EGH112F002 salida 0..10V=	10..95%HR -20/+70°C
SONDAS CONDENSACIÓN		
CO 06 345	Sonda de condensación EGH102F001 salida 0..10V punto conmutación 95% HR ±4	70..85%HR

Anexo S

TABLA DE DISEÑO RED HIDRÁULICA FAN COIL

TRAMO	Q	D	D	C	j perdida carga m/m	V	hv	Longitudes (m)			total	J	PRESIÓN
	l/s	pulg	m	fricción		m/s	mca	H	V	acce	m	mca	mca
													10
MAQ- 1	23,80	4	0,1016	150	0,067	2,93	0,44	2,80	0,37	0,2	3,3285	0,223	9,710
1--2	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	6,521
1--3	21,42	4	0,1016	150	0,055	2,64	0,35	0,00	3,28	0,0	3,28	0,181	12,455
3--4	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	9,266
3--5	19,04	4	0,1016	150	0,044	2,34	0,28	0,00	3,28	0,2	3,444	0,153	15,303
5--6	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	12,113
5--7	16,66	4	0,1016	150	0,035	2,05	0,21	0,00	3,28	0,2	3,444	0,119	18,249
7--8	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	15,060
7--9	14,28	4	0,1016	150	0,026	1,76	0,16	0,00	3,28	0,2	3,444	0,090	21,282
9--10	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	18,093
9--11	11,90	4	0,1016	150	0,019	1,46	0,11	0,00	3,28	0,2	3,444	0,064	24,388
11--12	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	21,199
11--13	9,52	4	0,1016	150	0,012	1,17	0,07	0,00	3,28	0,2	3,444	0,042	27,556
13--14	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	24,367
13--15	7,14	4	0,1016	150	0,007	0,88	0,04	0,00	3,28	0,2	3,444	0,025	30,772
15--16	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	27,582
15--17	4,76	4	0,1016	150	0,003	0,59	0,02	0,00	3,28	0,2	3,444	0,012	34,022
17--18	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	30,833
17--19	2,38	4	0,1016	150	0,001	0,29	0,00	0,00	3,28	0,2	3,444	0,003	37,295
19--20	2,38	2	0,0508	150	0,028	1,17	0,07	107,79	0,00	5,4	113,18	3,119	34,106
20--18	2,38	4	0,1016	150	0,001	0,29	0,00	0,00	3,28	0,2	3,444	0,003	30,818
18--16	4,76	4	0,1016	150	0,003	0,59	0,02	0,00	3,28	0,2	3,444	0,012	27,509
16--14	7,14	4	0,1016	150	0,007	0,88	0,04	0,00	3,28	0,2	3,444	0,025	24,164
14--12	9,52	4	0,1016	150	0,012	1,17	0,07	0,00	3,28	0,2	3,444	0,042	20,772
12--10	11,90	4	0,1016	150	0,019	1,46	0,11	0,00	3,28	0,2	3,444	0,064	17,319
10--8	14,28	4	0,1016	150	0,026	1,76	0,16	0,00	3,28	0,2	3,444	0,090	13,791
8--6	16,66	4	0,1016	150	0,035	2,05	0,21	0,00	3,28	0,2	3,444	0,119	10,178
6--4	19,04	4	0,1016	150	0,044	2,34	0,28	0,00	3,28	0,2	3,444	0,153	6,465
4--2	21,42	4	0,1016	150	0,055	2,64	0,35	0,00	3,28	0,2	3,444	0,190	2,641
2--MAQUI	23,80	4	0,1016	150	0,067	2,93	0,44	4,50	0,37	0,2	5,1135	0,342	1,492

Anexo T

PRESUPUESTO								
EDIFICIO PUBLICO ALCALDIA DE VILLAVICENCIO								
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR ABSORCIÓN ASISTIDO CON ENERGÍA SOLAR Y GAS NATURAL								
ITEM	DESCRIPCION	UN	CANT	V.MAT	V. MANO O	V. EQUIPOS	SUB TOTAL	V. TOTAL
1	Sistema de captación solar				\$ 0,14	\$ 0,01		
1.1	Captador solar tubo de vacio de flujo directo modelo FDIRECTO20, de las siguientes características: *Dimensiones: 2021*1500*115 *Material:acero inoxidable *Aislamiento: poliuretano de alta densidad *No tubos: 20 tubos *Material de los tubos: vidrio bajo en hierro *Diametro tubo: 65 mm *Espesor de tubo: 1,5 mm *Tipo de absorbedor: cobre *Absortividad:95% *Emisividad:5% *Tipo de fluido: agua gliconada *Volumen en litros: 3,90 lt *Caudal recomendado:120l/h *Coeficiente optico:,814 *Coeficiente de perdidas K1:1,70 *Coeficiente de perdidas K2:.,0034 *Rendimiento optico:,76	M2	58,00	\$ 4.517.040	\$ 1.129.260	\$ 33.878	\$ 5.680.178	\$ 329.450.312
1.2	Juego de acoplamiento para sistema FDIRECTO20	UN	10,00	\$ 328.512	\$ 49.277	\$ 9.855	\$ 387.644	\$ 3.876.442
1.3	Estructura metalica para soporte de captadores tubo de vacio en tuberia galvanizada incluye sistema de apoyo y sistema de sujecion	UN	58,00	\$ 249.806	\$ 37.471	\$ 7.494	\$ 294.771	\$ 17.096.723
1.4	Separadores de aire para sistemas solares tipo ventosa de 1/2"	UN	20,00	\$ 225.852	\$ 33.878	\$ 6.776	\$ 266.505	\$ 5.330.107
1.5	Fluido caloportador Kimex Solar Gel 30, propilenglicol al 30%, 25 litros	UN	36,00	\$ 136.880	\$ 20.532	\$ 4.106	\$ 161.518	\$ 5.814.662
Sistema de captacion solar								\$ 361.568.246,24
2	Sistema Hidraulico							
2.1	Tuberia linea de bombeo desde tanque inferior a cubierta 2"PVC	ML	42,00	\$ 16.955	\$ 2.543	\$ 509	\$ 20.007	\$ 840.306
2.2	Bomba centrifuga linea de bombeo circuito tanque inferior a cubierta marca Grundfos modelo CM 25-2 con las siguientes características técnicas : • Potencia: 3.5 HP. o 2.6 kW • Altura total: 50.5 metros • Tipo de bomba centrifuga de 3500 rpm • Caudal de diseño: 3.42 l/s	UN	2,00	\$ 2.500.000	\$ 375.000	\$ 75.000	\$ 2.950.000	\$ 5.900.000
2.3	Bomba centrifuga circuito primario marca Wilo Yonos Maxo modelo 40/05-12, con las siguientes características técnicas : Es una bomba alta eficiencia de rotor húmedo, de conexión roscada, apta para sistemas de refrigeración, rango de temperatura desde 10 °C hasta 110 °C, 40 mm diámetro de conexión, 0,5-8 rango de presión diferencial en metros, longitud 220 mm, caudal 12 m3/s	UN	1,00	\$ 5.150.110	\$ 772.517	\$ 154.503	\$ 6.077.130	\$ 6.077.130
2.4	Bomba centrifuga circuito primario marca Wilo Yonos Maxo modelo 50/0,5-9, con las siguientes características técnicas : Es una bomba alta eficiencia de rotor húmedo, de conexión roscada, apta para sistemas de refrigeración, rango de temperatura desde 10 °C hasta 110 °C, 40 mm diámetro de conexión, 0,5-8 rango de presión diferencial en metros, longitud 220 mm, caudal 10 m3/s	UN	1,00	\$ 6.183.554	\$ 927.533	\$ 185.507	\$ 7.296.594	\$ 7.296.594
2.5	Vaso de expansion temperatura maxima 130 °C ,presion de precarga 2.5 bar de membrana intercambiable. Volumen de 700 litros	UN	1,00	\$ 6.097.491	\$ 914.624	\$ 182.925	\$ 7.195.039	\$ 7.195.039
2.6	Tuberia de cobre tipo L 2,5"	ML	10,97	\$ 139.563	\$ 20.934	\$ 4.187	\$ 164.684	\$ 1.806.581
2.7	Tuberia de cobre tipo L 2"	ML	25,73	\$ 91.713	\$ 13.757	\$ 2.751	\$ 108.221	\$ 2.784.520
2.8	Tuberia de cobre tipo L 1,5"	ML	52,52	\$ 75.046	\$ 11.257	\$ 2.251	\$ 88.554	\$ 4.650.860
2.9	Tuberia de cobre tipo L 1,25"	ML	46,54	\$ 58.379	\$ 8.757	\$ 1.751	\$ 68.887	\$ 3.206.020
2.10	Tuberia de cobre tipo L 1"	ML	13,73	\$ 44.713	\$ 6.707	\$ 1.341	\$ 52.761	\$ 724.405
2.11	Tuberia de cobre tipo L 3/4"	ML	5,36	\$ 33.229	\$ 4.984	\$ 997	\$ 39.210	\$ 210.168
2.12	Uniones de cobre 2,5"	UN	2,00	\$ 25.506	\$ 3.826	\$ 765	\$ 30.097	\$ 60.194

2.13	Uniones de cobre 2"	UN	5,00	\$ 18.994	\$ 2.849	\$ 570	\$ 22.413	\$ 112.065
2.14	Uniones de cobre 1,5"	UN	9,00	\$ 12.994	\$ 1.949	\$ 390	\$ 15.333	\$ 137.996
2.15	Uniones de cobre 1,25"	UN	9,00	\$ 5.981	\$ 897	\$ 179	\$ 7.058	\$ 63.518
2.16	Uniones de cobre 1"	UN	3,00	\$ 7.906	\$ 1.186	\$ 237	\$ 9.329	\$ 27.987
2.17	Uniones de cobre 3/4"	UN	2,00	\$ 3.402	\$ 510	\$ 102	\$ 4.014	\$ 8.029
2.18	Codo de 90 ° de cobre 2,5"	UN	1,00	\$ 49.156	\$ 7.373	\$ 1.475	\$ 58.004	\$ 58.004
2.19	Codo de 90 ° de cobre 2"	UN	4,00	\$ 31.969	\$ 4.795	\$ 959	\$ 37.723	\$ 150.894
2.20	Codo de 90 ° de cobre 1,5"	UN	14,00	\$ 9.111	\$ 1.367	\$ 273	\$ 10.751	\$ 150.514
2.21	Codo de 90 ° de cobre 1,25"	UN	15,00	\$ 12.994	\$ 1.949	\$ 390	\$ 15.333	\$ 229.994
2.22	Codo de 90 ° de cobre 1"	UN	6,00	\$ 5.431	\$ 815	\$ 163	\$ 6.409	\$ 38.451
2.23	Codo de 90 ° de cobre 3/4"	UN	2,00	\$ 2.338	\$ 351	\$ 70	\$ 2.759	\$ 5.518
2.24	Tee de cobre 2"	UN	6,00	\$ 42.075	\$ 6.311	\$ 1.262	\$ 49.649	\$ 297.891
2.25	Tee de cobre 1,5"	UN	4,00	\$ 27.019	\$ 4.053	\$ 811	\$ 31.882	\$ 127.530
2.26	Tee de cobre 1,25"	UN	6,00	\$ 27.019	\$ 4.053	\$ 811	\$ 31.882	\$ 191.295
2.27	Tee de cobre 1"	UN	3,00	\$ 14.531	\$ 2.180	\$ 436	\$ 17.147	\$ 51.440
2.28	Tee de cobre 3/4"	UN	1,00	\$ 12.788	\$ 1.918	\$ 384	\$ 15.090	\$ 15.090
2.29	Valvulas esfera para instalaciones de energia solar termica PN 16 bar Temperatura maxima de 180 grados centigrados 2,5"	UN	1,00	\$ 198.476	\$ 29.771	\$ 5.954	\$ 234.202	\$ 234.202
2.30	Valvulas esfera para instalaciones de energia solar termica PN 16 bar Temperatura maxima de 180 grados centigrados 2"	UN	1,00	\$ 198.476	\$ 29.771	\$ 5.954	\$ 234.202	\$ 234.202
2.31	Valvulas esfera para instalaciones de energia solar termica PN 16 bar Temperatura maxima de 180 grados centigrados 1,5"	UN	1,00	\$ 139.960	\$ 20.994	\$ 4.199	\$ 165.153	\$ 165.153
2.32	Valvulas esfera para instalaciones de energia solar termica PN 16 bar Temperatura maxima de 180 grados centigrados 1,25"	UN	4,00	\$ 104.884	\$ 15.733	\$ 3.147	\$ 123.763	\$ 495.054
2.33	Valvulas esfera para instalaciones de energia solar termica PN 16 bar Temperatura maxima de 180 grados centigrados 1"	UN	23,00	\$ 102.523	\$ 15.378	\$ 3.076	\$ 120.977	\$ 2.782.477
2.34	Valvulas esfera para instalaciones de energia solar termica PN 16 bar Temperatura maxima de 180 grados centigrados 3/4"	UN	3,00	\$ 44.760	\$ 6.714	\$ 1.343	\$ 52.817	\$ 158.450
2.35	Valvula mezcladora termostatica VTA modelo solar con cabezal regulable con tapa de proteccion externa temperatura maxima 95 grados VTA macho	UN	2,00	\$ 229.274	\$ 34.391	\$ 6.878	\$ 270.543	\$ 541.087
2.36	Reguladores de caudal	UN	2,00	\$ 325.500	\$ 48.825	\$ 9.765	\$ 384.090	\$ 768.180
Sistema Hidraulico								\$ 47.796.835
3	Sistema de intercambio							
3.1	Intercambiador de calor con las siguientes características: *Número de placas: 40 *Potencia de intercambio: 100 kW *Salto térmico primario: 105- 75 °C *Salto térmico secundario: 90 - 75 °C *Pérdida de carga primario: 4,8 m.c.a. *Pérdida de carga secundario: 3,8m.c.a. *Caudal primario: 12301 l/h *Caudal secundario: 11071 l/h	UN	2	\$ 3.336.450	\$ 500.468	\$ 15.014	\$ 3.851.932	\$ 7.703.863
Sistema de intercambio								\$ 7.703.863,05
4	Sistema de acumulación							
4.1	Acumulador solar fagor modelo AF -5000 con las siguientes características: *fabricado en acero con revestimiento epoxico *capacidad de 5000 litros *Peso vacio: 10340 kg *Diámetro exterior: 1910 mm *Altura total: 2710 mm	UN	2,00	\$ 26.862.700	\$ 4.029.405	\$ 805.881	\$ 31.697.986	\$ 63.395.972
Sistema de acumulacion								\$ 63.395.972,00
5	Maquina de absorción							
5.1	Maquina de absorcion de simple efecto accionada por agua caliente MODELO LWM-W014, para una potencia de refrigeración de 465 kW	UN	1,00	\$ 334.907.718	\$ 50.236.158	\$ 10.047.232	\$ 395.191.107	\$ 395.191.107
Maquina de absorcion								\$ 395.191.107,24
6	Sistema de disipacion							
6.1	Torre de enfriamiento de circuito cerrado circuito cerrado SERIE TVC 017 una potencia térmica de 179 kW	UN	1,00	\$ 16.648.030	\$ 2.497.205	\$ 499.441	\$ 19.644.675	\$ 19.644.675
Sistema de disipacion								\$ 19.644.675,40
7	Sistema auxiliar							
7.1	Caldera compacta de condensación para quemadores presurizados a gas de una potencia de 730 kW LOGANO MODELO SK 755 incluye accesorios de instalacion, de las siguientes características: *fabricada en acero inoxidable *Contendio de agua : 1000 l *Temperatura maxima de salida : 110 °C *Presion maxima : 6 bares	UN	1,00	\$ 87.261.000	\$ 13.089.150	\$ 2.617.830	\$ 102.967.980	\$ 102.967.980

7.2	Equipo de neutralización N.E 01 de las siguientes características: *Cámara de llenado con granulado de neutralización. *Filtro de tubo de entrada. *Filtro de tubo de salida. *Casquillo de protección.	UN	1,00	\$ 1.882.100	\$ 282.315	\$ 56.463	\$ 2.220.878	\$ 2.220.878
7.3	Tubería de acero SCH 40 de 1,5" para suministro de gas natural a caldera	ML	47,00	\$ 23.093	\$ 3.464	\$ 693	\$ 27.250	\$ 1.280.729
7.4	Accesorios de conexión incluye valvulas filtros y tren de regulacion	UN	1,00	\$ 692.789	\$ 103.918	\$ 20.784	\$ 817.490	\$ 817.490
7.5	Conexión domiciliaria derechos de conexión	UN	1,00	\$ 15.000.000	\$2.250.000,00	\$450.000,00	\$17.700.000,00	\$ 17.700.000,00
				Sistema auxiliar				\$ 124.987.077,00
8	Sistema de regulacion y control							
8.1	Regulador marca SAUTER flexotron® 700 referencia RDT708F022 incluye accesorios, elementos de campo y modulo de comunicación *caja de material termoplastico *Software PC para parametrizacion *Alimentacion 24v/50HZ *salida digital 230V	UN	1	\$ 10.098.322	\$ 1.514.748	\$ 302.950	\$ 11.916.020	\$ 11.916.020
				Sistema de regulacion y control				\$ 11.916.019,96
9	Sistema de distrucion de agua fria- aire acondicionado							
9.1	Tubería PVC de 4"	ML	64,28	\$ 62.578	\$ 9.387	\$ 1.877	\$ 73.842	\$ 4.746.579
9.2	Tubería PVC 2"	ML	936,20	\$ 13.982	\$ 2.097	\$ 419	\$ 16.499	\$ 15.445.955
9.3	Accesorios PVC conexiones	GL	1,00	\$ 250.000	\$ 37.500	\$ 7.500	\$ 295.000	\$ 295.000
9.4	Bomba centrifuga de 3500 RPM motor trifasico de 5HP Caudal de 23,8 l/s y altura dinamica de 12 mca	UN	2	\$ 2.500.000	\$ 375.000	\$ 75.000	\$ 2.950.000	\$ 5.900.000
9.5	Fan coil tipo casete Serie MUCSW- 36HG con renovación de aire de dos tubos,	UN	40	\$ 2.864.214	\$ 429.632	\$ 85.926	\$ 3.379.773	\$ 135.190.901
9.6	Fan coil tipo casete Serie MUCSW- 21HG con renovación de aire de dos tubos,	UN	20	\$ 2.439.886	\$ 365.983	\$ 73.197	\$ 2.879.065	\$ 57.581.310
				Sistema de distrucion de agua fria- aire acondicionado				\$ 219.159.744,00
TOTAL COSTO DIRECTOS								\$ 1.251.363.539,89

Anexo U

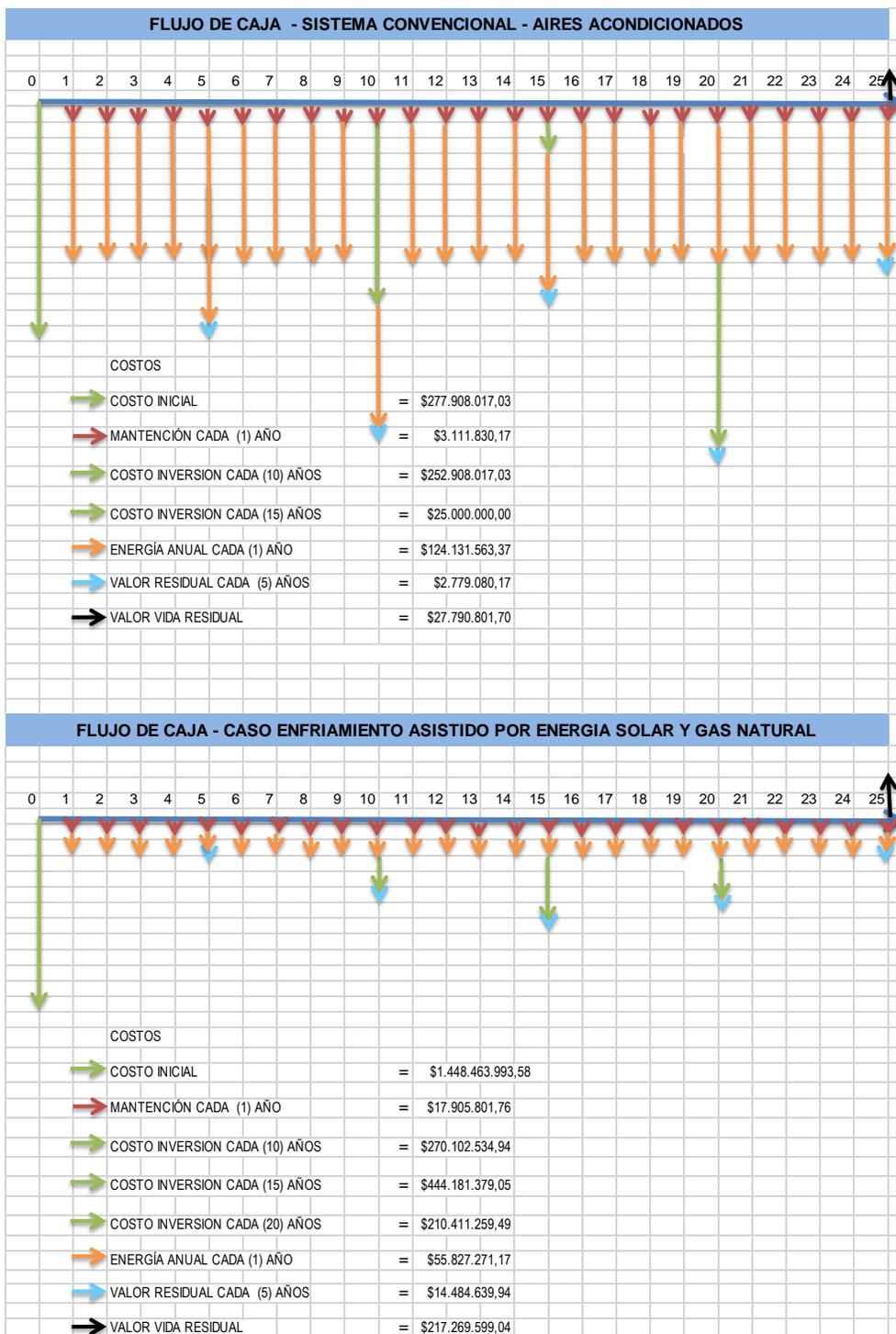
TABLAS COSTOS DE MANTENIMIENTO

COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR ABSORCIÓN						
CALDERA						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	1	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 92.500	
						\$ 462.500
REPUESTOS	\$ 1.346.493					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 13.875					
						\$ 1.822.868
			1 VISITA AÑO			\$ 1.822.868
EQUIPO DE CONTROL						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	\$ 1	150000	127500	277500	277500	
AYUDANTE		\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ -	
						\$ 277.500
MATERIALES	\$ 128.372					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 8.325					
						414197,0
			1 VISITA AÑO			\$ 414.197
SISTEMA HIDRÁULICO						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	1	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 92.500	
						\$ 462.500
MATERIALES	\$ 514.918					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 13.875					
						991293,0
			1 VISITA AÑO			\$ 991.293
SISTEMA CAPTACIÓN SOLAR						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	2	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 185.000	
						\$ 555.000
MATERIALES	\$ 3.967.001					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 16.650					
						4538650,9
			1 VISITA AÑO			\$ 4.538.651
SISTEMA ACUMULACIÓN						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	1	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 92.500	
						\$ 462.500
MATERIALES	\$ 757.620					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 13.875					
						1233994,8
			1 VISITA AÑO			\$ 1.233.995

SISTEMA FAN COIL						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	1	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 92.500	
						\$ 462.500
MATERIALES	\$ 2.077.698					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 13.875					
						2554072,8
			1 VISITA AÑO			\$ 2.554.073
SISTEMA INTERCAMBIO						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	0	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ -	
						\$ 370.000
MATERIALES	\$ 82.472					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 11.100					
						463572,1
			1 VISITA AÑO			\$ 463.572
SISTEMA ABSORCIÓN						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	1	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 92.500	
						\$ 462.500
MATERIALES	\$ 4.722.770					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 13.875					
						5199145,2
			1 VISITA AÑO			\$ 5.199.145
SISTEMA DISIPACIÓN						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	1	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 92.500	
						\$ 462.500
MATERIALES	\$ 211.633					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 13.875					
						688008,2
			1 VISITA AÑO			\$ 688.008
COSTOS DE MANTENIMIENTO AIRES ACONDICIONADOS						
REFRIGERACION CONVENCIONAL AIRE ACONDICIONADO						
MANO DE OBRA			FP			
TÉCNICO	1	\$ 200.000	170000	\$ 370.000	\$ 370.000	
AYUDANTE	2	\$ 50.000	42500	\$ 92.500	\$ 185.000	
						\$ 555.000
MATERIALES	\$ 2.529.080					
HERRAMIENTA Y EQUIPO	\$ 27.750					
						3111830,2
			1 VISITA AÑO			\$ 3.111.830

Anexo V

DIAGRAMAS FLUJO DE CAJA



Anexo W

TABLAS DE EVALUACION ECONOMICA

Tabla de evaluación económica ESCENARIO NORMAL								
Titulo del proyecto		Evaluación tecnico financiera para proyecto de enfriamiento por absorción solar y gas natural			Alternativa convencional		Alternativa enfriamiento solar y gas natural	
Tasa de descuento		12%			Descripción:		Descripción:	
Ciclo de vida		25	Periodo	Años	Sistema de enfriamiento A.A convencional		Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural	
Fecha		Junio de 2016			Costo estimado	Valor presente	Costo estimado	Valor presente
Costos Iniciales	Costos iniciales							
	Costo implementación Sistema de enfriamiento A.A convencional				\$ 277.908.017	\$ 277.908.017		
	Costo implementación Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural				\$		\$ 1.448.463.993,58	\$ 1.448.463.993,58
					\$			
	TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES					\$ 277.908.017		\$ 1.448.463.993,58
DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE							\$	
Reemplazo / Vida residual	Reemplazo / Vida residual							
		Año	Factor valor presente					
	Cambio sistema de enfriamiento A.A convencional				10	0,32	\$ 252.908.017,03	\$ 81.429.612,80
	Cambio sistema de transformador eléctrico				15	0,18	\$ 25.000.000,00	\$ 4.567.406,53
	Cambio sistema de captación solar				15	0,18		\$ 435.934.169,64
	Cambio sistema de intercambio				15	0,18		\$ 8.247.209,41
	Cambio sistema de acumulación				20	0,10		\$ 75.761.980,07
	Cambio sistema de disipación				10	0,32		\$ 21.163.318,85
	Cambio sistema auxiliar				20	0,10		\$ 134.649.279,42
	Cambio sistema regulación y control				10	0,32		\$ 12.837.195,05
	Cambio sistema fan coils				10	0,32		\$ 236.102.021,05
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				5	0,57	\$ 2.779.080,17	\$ 1.576.924,72
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				10	0,32	\$ 2.779.080,17	\$ 894.789,44
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				15	0,18	\$ 2.779.080,17	\$ 507.727,56
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				20	0,10	\$ 2.779.080,17	\$ 288.098,25
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				25	0,06	\$ 2.779.080,17	\$ 163.474,68
	Costo mantenimiento sistema de enfriamiento - A.A conv				1	0,89	\$ 3.111.830,17	\$ 2.778.419,79
	Costo mantenimiento sistema de captación solar				1	0,89		\$ 4.538.650,94
	Costo mantenimiento sistema de hidráulico				1	0,89		\$ 991.292,99
	Costo mantenimiento sistema de intercambio				1	0,89		\$ 463.572,09
	Costo mantenimiento sistema de acumulación				1	0,89		\$ 1.233.994,80
	Costo mantenimiento sistema maquina de absorción				1	0,89		\$ 5.199.145,21
Costo mantenimiento sistema de disipación				1	0,89		\$ 688.008,19	
Costo mantenimiento sistema de auxiliar				1	0,89		\$ 1.822.867,79	
Costo mantenimiento sistema de regulación y control				1	0,89		\$ 414.196,95	
Costo mantenimiento sistema de fan coils				1	0,89		\$ 2.554.072,79	
Valor residual								
Valor caso (alternativa convencional) depreciación 15%				20	0,10	\$ 27.790.801,70	\$ -2.880.982,51	
Valor alternativa (enfriamiento solar) depreciación 15%				20	0,10		\$ 217.269.599,037	
TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL						322.706.049,76	89.325.471,27	
						1.232.293.773,97	201.274.945,63	
Costos Anuales	Costos Anuales							
		Tasa Escalonamiento	Factor VP/escalonamiento					
	costo ENERGÍA eléctrica del edificio sistema de enfriamiento A.A convencional CON escalonamiento				5%	12,01	\$ 124.131.563,37	\$ 1.491.074.679,64
	costo ENERGÍA eléctrica del edificio sistema de enfriamiento solar CON escalonamiento				5%	12,01		\$ 11.737.797,02
costo ENERGÍA gas natural del edificio sistema de enfriamiento solar CON escalonamiento				5%	12,01		\$ 44.089.474,15	
TOTAL COSTOS ANUALES							\$ 1.491.074.679,64	
							\$ 670.600.032,81	
Costos Ciclos de Vida	Costos Ciclo de Vida (valor presente)						\$ 1.858.308.167,94	\$ 2.320.338.972,02
	DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE						\$ 0	\$ 462.030.804,08

Tabla de evaluación económica ESCENARIO OPTIMISTA								
Titulo del proyecto		Evaluación tecnico financiera para proyecto de enfriamiento por absorción solar y gas natural			Alternativa convencional		Alternativa enfriamiento solar y gas natural	
Tasa de descuento		12%			Descripción:		Descripción:	
Ciclo de vida		25			Sistema de enfriamiento A.A convencional		Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural	
Fecha		Junio de 2016			Costo estimado		Valor presente	
		Periodo			Años			
Costos Iniciales	Costos iniciales							
	Costo implementación Sistema de enfriamiento A.A convencional				\$ 277.908,017	\$ 277.908,017		
	Costo implementación Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural				\$		\$ 1.405.010.073,77	\$ 1.405.010.073,77
					\$			
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES					\$ 277.908,017		\$ 1.405.010.073,77	
DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE							\$ 1.127.102.056,74	
Reemplazo / Vida residual	Reemplazo / Vida residual				Año	Factor valor presente		
	Cambio sistema de enfriamiento A.A convencional				10	0,32	\$ 252.908.017,03	\$ 81.429.612,80
	Cambio sistema de transformador eléctrico				15	0,18	\$ 25.000.000,00	\$ 4.567.406,53
	Cambio sistema de captación solar				15	0,18		\$ 422.856.144,56
	Cambio sistema de intercambio				15	0,18		\$ 7.999.793,13
	Cambio sistema de acumulación				20	0,10		\$ 73.489.120,67
	Cambio sistema de disipación				10	0,32		\$ 20.528.419,28
	Cambio sistema auxiliar				20	0,10		\$ 130.609.801,04
	Cambio sistema regulación y control				10	0,32		\$ 12.452.079,20
	Cambio sistema fan coils				10	0,32		\$ 229.018.960,42
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				5	0,57	\$ 2.779.080,17	\$ 1.576.924,72
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				10	0,32	\$ 2.779.080,17	\$ 894.789,44
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				15	0,18	\$ 2.779.080,17	\$ 507.727,56
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				20	0,10	\$ 2.779.080,17	\$ 288.098,25
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				25	0,06	\$ 2.779.080,17	\$ 163.474,68
	Costo mantenimiento sistema de enfriamiento - A.A conv				1	0,89	\$ 3.111.830,17	\$ 2.778.419,79
	Costo mantenimiento sistema de captación solar				1	0,89		\$ 4.402.491,42
	Costo mantenimiento sistema de hidráulico				1	0,89		\$ 961.554,20
	Costo mantenimiento sistema de intercambio				1	0,89		\$ 449.664,93
	Costo mantenimiento sistema de acumulación				1	0,89		\$ 1.196.974,96
	Costo mantenimiento sistema maquina de absorción				1	0,89		\$ 5.043.170,85
	Costo mantenimiento sistema de disipación				1	0,89		\$ 667.367,94
	Costo mantenimiento sistema de auxiliar				1	0,89		\$ 1.768.181,76
Costo mantenimiento sistema de regulación y control				1	0,89		\$ 401.771,04	
Costo mantenimiento sistema de fan coils				1	0,89		\$ 2.477.450,60	
Valor residual							0,00	
Valor caso (alternativa convencional) depreciación 15%				20	0,10	\$ 27.790.801,70	\$ -2.880.982,51	
Valor alternativa (enfriamiento solar) depreciación 15%				20	0,10		\$ 210.751.511,066	
TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL						322.706.049,76	89.325.471,27	1.195.324.960,75
Costos Anuales	Costos Anuales				Tasa Escalonamiento	Factor VP/escalonamiento		
	costo ENERGÍA eléctrica del edificio sistema de enfriamiento A.A convencional CON escalonamiento				5,5%	12,59	\$ 124.131.563,37	\$ 1.562.809.228,63
	costo ENERGÍA eléctrica del edificio sistema de enfriamiento solar CON escalonamiento				5,5%	12,59		\$ 11.737.797,02
	costo ENERGÍA gas natural del edificio sistema de enfriamiento solar CON escalonamiento				4,5%	11,47		\$ 44.089.474,15
	TOTAL COSTOS ANUALES							\$ 1.562.809.228,63
Costos Ciclos de Vida	Costos Ciclo de Vida (valor presente)						\$ 1.930.042.716,93	\$ 2.253.734.093,87
	DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE						\$ 0	\$ 323.691.376,93

Tabla de evaluación económica ESCENARIO PESIMISTA								
Título del proyecto		Evaluación técnico financiera para proyecto de enfriamiento por absorción solar y gas natural			Alternativa convencional		Alternativa enfriamiento solar y gas natural	
Tasa de descuento		12%			Descripción:		Descripción:	
Ciclo de vida		25			Sistema de enfriamiento A.A convencional		Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural	
Fecha		Junio de 2016			Costo estimado		Valor presente	
		Período			Años			
Costos Iniciales	Costos iniciales							
	Costo implementación Sistema de enfriamiento A.A convencional				\$ 277.908.017	\$ 277.908.017		
	Costo implementación Sistema de enfriamiento por absorción solar y gas natural				\$		\$ 1.491.917.913,39	\$ 1.491.917.913,39
					\$			
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES					\$ 277.908.017		\$ 1.491.917.913,39	
DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE							\$ 1.214.009.896,36	
Reemplazo / Vida residual	Reemplazo / Vida residual				Año	Factor valor presente		
	Cambio sistema de enfriamiento A.A convencional				10	0,32	\$ 252.908.017,03	\$ 81.429.612,80
	Cambio sistema de transformador eléctrico				15	0,18	\$ 25.000.000,00	\$ 4.567.406,53
	Cambio sistema de captación solar				15	0,18		\$ 449.012.194,73
	Cambio sistema de intercambio				15	0,18		\$ 8.494.625,69
	Cambio sistema de acumulación				20	0,10		\$ 78.034.839,47
	Cambio sistema de disipación				10	0,32		\$ 21.798.218,41
	Cambio sistema auxiliar				20	0,10		\$ 138.688.757,81
	Cambio sistema regulación y control				10	0,32		\$ 13.222.310,90
	Cambio sistema fan coils				10	0,32		\$ 243.185.081,68
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				5	0,57	\$ 2.779.080,17	\$ 1.576.924,72
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				10	0,32	\$ 2.779.080,17	\$ 894.789,44
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				15	0,18	\$ 2.779.080,17	\$ 507.727,56
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				20	0,10	\$ 2.779.080,17	\$ 288.098,25
	Reposición tuberías, válvulas, accesorios cada 5 años				25	0,06	\$ 2.779.080,17	\$ 163.474,68
	Costo mantenimiento sistema de enfriamiento - A.A conv				1	0,89	\$ 3.111.830,17	\$ 2.778.419,79
	Costo mantenimiento sistema de captación solar				1	0,89		\$ 4.674.810,47
	Costo mantenimiento sistema de hidráulico				1	0,89		\$ 1.021.031,78
	Costo mantenimiento sistema de intercambio				1	0,89		\$ 477.479,26
	Costo mantenimiento sistema de acumulación				1	0,89		\$ 1.271.014,64
	Costo mantenimiento sistema de absorción				1	0,89		\$ 5.355.119,56
	Costo mantenimiento sistema de disipación				1	0,89		\$ 708.648,43
	Costo mantenimiento sistema de auxiliar				1	0,89		\$ 1.877.553,83
	Costo mantenimiento sistema de regulación y control				1	0,89		\$ 426.622,86
	Costo mantenimiento sistema de fan coils				1	0,89		\$ 2.630.694,97
	Valor residual							0,00
Valor caso (alternativa convencional) depreciación 15%				20	0,10	\$ 27.790.801,70	\$ -2.880.982,51	
Valor alternativa (enfriamiento solar) depreciación 15%				20	0,10		\$ 223.787.687,008	
TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL						322.706.049,76	89.325.471,27	1.269.262.587,19
Costos Anuales	Costos Anuales				Tasa Escalonamiento	Factor VP/escalonomiento		
	costo ENERGÍA eléctrica del edificio sistema de enfriamiento A.A convencional CON escalonomiento				4,5%	11,47	\$ 124.131.563,37	\$ 1.423.797.102,05
	costo ENERGÍA eléctrica del edificio sistema de enfriamiento solar CON escalonomiento				4,5%	11,47		\$ 11.737.797,02
	costo ENERGÍA gas natural del edificio sistema de enfriamiento solar CON escalonomiento				5,5%	12,59		\$ 44.089.474,15
	TOTAL COSTOS ANUALES							\$ 1.423.797.102,05
Costos Ciclos de Vida	Costos Ciclo de Vida (valor presente)						\$ 1.791.030.590,35	\$ 2.388.948.340,77
	DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE						\$ 0	\$ 597.917.750,41

Anexo X

TABLAS PAYBACK

PAYBACK ESCENARIO NORMAL			
462.030.804	año	factor valor presente	
\$ 68.304.292	1	0,89	\$ 60.985.975,18
	2	0,80	\$ 54.451.763,56
	3	0,71	\$ 48.617.646,03
	4	0,64	\$ 43.408.612,53
	5	0,57	\$ 38.757.689,76
	6	0,51	\$ 34.605.080,14
	7	0,45	\$ 30.897.392,98
	8	0,40	\$ 27.586.958,02
	9	0,36	\$ 24.631.212,52
	10	0,32	\$ 21.992.154,03
	11	0,29	\$ 19.635.851,82
	12	0,26	\$ 17.532.010,55
	13	0,23	\$ 15.653.580,85
	14	0,20	\$ 13.976.411,47
	15	0,18	\$ 12.478.938,81
	16	0,16	\$ 11.141.909,66
	17	0,15	\$ 9.948.133,62
	18	0,13	\$ 8.882.262,16
	19	0,12	\$ 7.930.591,22
	20	0,10	\$ 7.080.885,01
	21	0,09	\$ 6.322.218,76
	22	0,08	\$ 5.644.838,18
	23	0,07	\$ 5.040.034,09
	24	0,07	\$ 4.500.030,44
	25	0,06	\$ 4.017.884,32
			\$ 535.720.065,71
		A los 25 AÑOS	73.689.262

PAYBACK ESCENARIO OPTIMISTA			
	año	factor valor presente	
323.691.377			
\$ 68.304.292	1	0,89	\$ 60.985.975,18
	2	0,80	\$ 54.451.763,56
	3	0,71	\$ 48.617.646,03
	4	0,64	\$ 43.408.612,53
	5	0,57	\$ 38.757.689,76
	6	0,51	\$ 34.605.080,14
	7	0,45	\$ 30.897.392,98
	8	0,40	\$ 27.586.958,02
	9	0,36	\$ 24.631.212,52
	10	0,32	\$ 21.992.154,03
	11	0,29	\$ 19.635.851,82
	12	0,26	\$ 17.532.010,55
	13	0,23	\$ 15.653.580,85
	14	0,20	\$ 13.976.411,47
	15	0,18	\$ 12.478.938,81
	16	0,16	\$ 11.141.909,66
	17	0,15	\$ 9.948.133,62
	18	0,13	\$ 8.882.262,16
	19	0,12	\$ 7.930.591,22
	20	0,10	\$ 7.080.885,01
	21	0,09	\$ 6.322.218,76
	22	0,08	\$ 5.644.838,18
	23	0,07	\$ 5.040.034,09
	24	0,07	\$ 4.500.030,44
	25	0,06	\$ 4.017.884,32
			\$ 535.720.065,71
		A los 25 AÑOS	212.028.689

PAYBACK ESCENARIO PESIMISTA			
	año	factor valor presente	
597.917.750			
\$ 68.304.292	1	0,89	\$ 60.985.975,18
	2	0,80	\$ 54.451.763,56
	3	0,71	\$ 48.617.646,03
	4	0,64	\$ 43.408.612,53
	5	0,57	\$ 38.757.689,76
	6	0,51	\$ 34.605.080,14
	7	0,45	\$ 30.897.392,98
	8	0,40	\$ 27.586.958,02
	9	0,36	\$ 24.631.212,52
	10	0,32	\$ 21.992.154,03
	11	0,29	\$ 19.635.851,82
	12	0,26	\$ 17.532.010,55
	13	0,23	\$ 15.653.580,85
	14	0,20	\$ 13.976.411,47
	15	0,18	\$ 12.478.938,81
	16	0,16	\$ 11.141.909,66
	17	0,15	\$ 9.948.133,62
	18	0,13	\$ 8.882.262,16
	19	0,12	\$ 7.930.591,22
	20	0,10	\$ 7.080.885,01
	21	0,09	\$ 6.322.218,76
	22	0,08	\$ 5.644.838,18
	23	0,07	\$ 5.040.034,09
	24	0,07	\$ 4.500.030,44
	25	0,06	\$ 4.017.884,32
			\$ 535.720.065,71
		A los 25 AÑOS	-62.197.685