

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Mecánica



### TESIS

## **Análisis de la viabilidad del biogás como fuente energética en sistemas de agua atmosférica para riego rural en Lima**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Kevin Alessandro Abanto Ramos

 [0009-0003-0674 -9928](https://orcid.org/0009-0003-0674-9928)

**Asesor**

**MSc. Roberto Antenor Baldeon Icochea**

 [0009-0006-7149-9031](https://orcid.org/0009-0006-7149-9031)

**LIMA – PERÚ**

**2025**

Citar/How to cite	(Abanto, 2024)
Referencia/Reference	Abanto, K. (2024). <i>Análisis de la viabilidad del biogás como fuente energética en sistemas de agua atmosférica para riego rural en Lima</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

## ***Dedicatoria***

*Dedico este trabajo a Dios para que él sea la guía en cada etapa de mi vida profesional, a mi madre y abuelos que siempre estuvieron conmigo en cada etapa de mi carrera porque sin ellos no sería lo que soy.*

*“Confía en el Señor con todo tu corazón, y no te apoyes en tu propio entendimiento. Reconócelo en todos tus caminos, y él aderezará tus sendas”. Proverbios 3:5-6*

*“Y todo lo que hagáis, hacedlo de corazón, como para el señor y no para los hombres; sabiendo que del Señor recibiereis la recompensa de la herencia, porque a Cristo el Señor servís”. Colosenses 3:23-24*

## **Agradecimientos**

En primer lugar, a Dios por guiar mi caminar y sea el lucero en mi vida profesional.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y sus docentes por brindarme los conocimientos que me permitieron mi formación como ingeniero.

A mi asesor de tesis el MSc. Roberto Antenor Baldeon Icochea por el esfuerzo de guiarme en este proyecto.

A mi familia que siempre me acompañó durante todo mi proceso de formación.

## **Resumen**

El presente estudio aborda el acceso limitado al agua para riego en zonas rurales de Lima, afectadas por escasez hídrica e infraestructura deficiente, lo que perjudica la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico. En estas áreas, la agricultura enfrenta baja productividad debido a fuentes de agua insuficientes, perpetuando la pobreza.

Se propone el uso de biogás, obtenido de residuos orgánicos mediante biodigestores, como energía renovable para alimentar sistemas generadores de agua atmosférica (AWG). Estos sistemas extraen y condensan vapor de agua del aire, ofreciendo una solución sostenible al problema hídrico. El estudio recomienda biodigestores tubulares por su bajo costo y fácil construcción.

El costo total de instalación del sistema, incluyendo biodigestor y AWG, asciende a S/.200,500 con un mantenimiento anual de S/.1500. Este sistema puede producir hasta 500 litros de agua diarios (15 m<sup>3</sup> mensuales), suficientes para el riego agrícola.

Además de garantizar el acceso al agua, esta iniciativa fomenta el uso de energías renovables, reduce la dependencia de fuentes hídricas tradicionales y promueve el desarrollo sostenible en comunidades rurales. El proyecto no solo mejora la disponibilidad de recursos hídricos, sino que también impulsa prácticas agrícolas más resilientes y sostenibles en zonas vulnerables de Lima.

Palabras Clave: Producción sostenible, agricultura resiliente, energía renovable, biogás y escasez hídrica.

## **Abstract**

This study addresses the limited access to irrigation water in rural areas of Lima, affected by water scarcity and deficient infrastructure, which harms food security and socioeconomic development. In these regions, agriculture suffers from low productivity due to insufficient water sources, perpetuating poverty.

The proposed solution involves using biogas, obtained from organic waste through biodigesters, as a renewable energy source to power atmospheric water generators (AWG). These systems extract and condense water vapor from the air, providing a sustainable solution to the water scarcity problem. The study recommends tubular biodigesters for their low cost and ease of construction.

The total installation cost of the system, including the biodigester and AWG, amounts to S/.200,500 with an annual maintenance cost of S/.1500. This system can produce up to 500 liters of water daily (15 m<sup>3</sup> per month), sufficient for agricultural irrigation.

In addition to ensuring water access, this initiative promotes the use of renewable energy, reduces reliance on traditional water sources, and fosters sustainable development in rural communities. The project not only improves resource availability but also encourages more resilient and sustainable agricultural practices in vulnerable areas of Lima.

Keywords: sustainable production, resilient agriculture, renewable energy, biogas and water scarcity.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Tabla de Contenido .....	vii
Introducción.....	xvii
Capítulo I.....	1
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes de la investigación .....	1
1.2 Identificación y Descripción del problema de Estudio .....	4
1.3 Formulación del problema.....	5
1.3.1 Problema principal.....	5
1.3.2 Problemas específicos .....	6
1.4 Justificación .....	6
1.5 Importancia.....	7
1.6 Objetivos .....	7
1.6.1 Objetivos generales.....	8
1.6.2 Objetivos específicos.....	8
1.7 Hipótesis.....	8
1.7.1 Hipótesis general.....	8
1.7.2 Hipótesis específica.....	8
1.8 Variables y operacionalización de variables .....	9
1.8.1 Variables Independientes .....	9
1.8.2 Variables dependientes .....	9
1.8.3 Indicadores.....	9
1.9 Metodología de la investigación .....	10
1.9.1 Unidad de análisis .....	10
1.9.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación. ....	11
1.9.3 Diseño de la Investigación.....	11
1.9.4 Fuentes de Información.....	11
1.9.5 Población y muestra.....	11

1.9.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
1.9.7	Análisis y procesamiento de datos.....	12
CAPITULO II .....		13
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....		13
2.1	Base teórica.....	13
2.1.1	Principios de Refrigeración.....	13
2.1.1.1	Psicrometría .....	13
2.1.1.2	Humedad Relativa .....	17
2.1.1.3	Humedad Absoluta .....	17
2.1.1.4	Carta Psicrométrica .....	18
2.1.1.5	Diagrama P-h .....	18
2.1.1.6	Transferencia de calor en intercambiadores.....	19
2.1.1.7	Intercambiadores de calor de carcasa y tubos .....	20
2.1.1.8	Intercambiadores de calor de placas.....	21
2.1.1.9	Intercambiadores de calor de tubos concéntricos.....	21
2.1.1.10	Intercambiadores de calor tubular .....	22
2.1.1.11	Intercambiadores de calor de doble tubo .....	23
2.1.1.12	Ciclo de Compresión Simple.....	23
2.1.2	Refrigerantes.....	25
2.1.2.1	Propiedades de los refrigerantes.....	25
2.1.2.2	Potencial agotador de ozono (PAO).....	25
2.1.2.3	Potencial de calentamiento global (PCG/GWP).....	26
2.1.2.4	Coeficiente de desempeño (COP).....	27
2.1.2.5	Presión de descarga.....	27
2.1.2.6	Temperatura de descarga.....	28
2.1.2.7	Temperatura de autoignición.....	28
2.1.2.8	Grupo de seguridad .....	28
2.1.2.9	Clasificación de los refrigerantes.....	29
2.1.2.10	Refrigerantes Halo carbonados.....	29
2.1.2.11	Refrigerantes Inorgánicos .....	29



2.1.2.12	Refrigerantes Orgánicos .....	29
2.1.3	Elementos mecánicos de un ciclo de compresión simple.....	30
2.1.3.1	Evaporador .....	30
2.1.3.2	Condensador .....	33
2.1.3.3	Compresor.....	34
2.1.4	Sistemas AWG.....	<b>34</b>
2.1.5	Sistema de biomosas .....	<b>35</b>
2.1.5.1	Definición de biomasa.....	35
2.1.5.2	Biogás .....	36
2.1.5.3	El biogás y su tratamiento.....	37
2.1.5.4	Digestión Anaeróbica y su aplicación .....	37
2.1.5.5	Almacenamiento y filtración del biogás .....	38
2.1.5.6	Generación de energía .....	39
2.1.5.7	Tipos de biodigestores .....	41
2.1.5.8	Biodigestores de flujo continuo .....	41
2.1.5.9	Biodigestores de lote o por lotes .....	42
2.1.5.10	Biodigestores de flujo ascendente (UASB).....	42
2.1.5.11	Biodigestores de membrana o tipo globo .....	43
2.1.5.12	Biodigestores de lecho fijo .....	43
2.2	Marco conceptual: Definición de términos y conceptos .....	43
CAPITULO III .....		46
DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....		46
3.1	Estado del Arte .....	46
3.1.1	Contexto.....	<b>46</b>
3.1.2	Tecnologías existentes.....	<b>46</b>
3.1.2.1	Compañía Watergen.....	46
3.1.2.2	Compañía Skywater.....	47
3.1.2.3	Compañía EcoloBlue .....	48
3.1.2.4	Compañía Atlantis Solar .....	48
3.1.2.5	Compañía Air2Water .....	48

3.1.2.6	Compañía NEWECO .....	49
3.1.3	Brechas y áreas de oportunidad .....	50
3.2	Metodologías utilizadas en la investigación .....	51
3.2.1	Estudio de mercado .....	51
3.2.1.1	Resultados del estudio de mercado .....	51
3.2.1.2	Conclusiones del estudio de mercado.....	52
3.2.2	Estudio de impacto ambiental.....	<b>52</b>
3.2.3	Información del lugar de estudio.....	<b>54</b>
3.2.3.1	Valores promedios anuales de temperatura y humedad.....	55
3.2.4	Diseño conceptual del proyecto.....	55
3.2.4.1	Coolpack .....	56
3.2.4.2	MATLAB .....	57
3.2.4.3	Coolselector2 (software de selección de equipos de refrigeración) .....	58
3.2.4.4	Autodesk Inventor.....	59
3.2.5	Simulación y montaje del Sistema AWG.....	59
3.2.5.1	Selección del refrigerante .....	59
3.2.5.2	Consideraciones preliminares del Ciclo.....	60
3.2.5.3	Resultados del refrigerante .....	68
3.2.5.4	Optimización de temperaturas de evaporación y condensación ....	69
3.2.5.5	Selección de elementos para el sistema AWG.....	79
3.2.5.6	Análisis de propiedades eléctricas y gasto energético.....	87
3.2.6	Calculo energéticos y dimensiones del biodigestor.....	<b>88</b>
3.2.7	Costos y Presupuesto del diseño preliminar .....	<b>94</b>
3.2.7.1	Costos de instalación del sistema generador de agua.....	94
3.2.7.2	Costos de Instalación del biodigestor .....	95
3.2.7.3	Costo de producción de un litro de agua .....	97
3.2.7.4	Comparativo del resultado con diferentes opciones .....	98
3.2.7.5	Cálculo de IPC para las distintas opciones de obtener agua .....	99
3.2.7.6	Rentabilidad económica preliminar .....	101

3.2.8	Montaje preliminar del Proyecto .....	103
3.3	Estructura de desglose del trabajo .....	104
3.3.1	Plan de Trabajo.....	104
3.3.1.1	Objetivos de calidad .....	104
3.3.1.2	Alcance del proyecto .....	104
3.3.1.3	Limitaciones del trabajo de Tesis .....	104
3.3.2	Cronograma de trabajo.....	105
3.4	Estándares de calidad del proyecto .....	<b>107</b>
3.5	Base legal de protección ambiental .....	<b>108</b>
3.5.1	Base nacional.....	<b>108</b>
3.5.2	Base internacional .....	<b>110</b>
3.5.3	Integración de la base legal aplicable .....	<b>112</b>
3.6	Análisis cuantitativo de riesgos.....	112
3.6.1	Identificación de riesgos .....	<b>112</b>
3.6.2	Simulación MonteCarlo .....	<b>114</b>
3.6.3	Análisis de Viabilidad.....	<b>116</b>
3.7	Implementación del proyecto.....	116
3.7.1	Diseño del proyecto.....	<b>116</b>
3.7.2	Alternativas tecnológicas .....	<b>116</b>
3.8	Costos y presupuestos finales .....	118
CAPITULO IV.....		121
RESULTADOS, CONTRATACIÓN DE HIPÓTESIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO .....		121
Conclusiones.....		122
Recomendaciones.....		124
Bibliografía .....		125
Anexos .....		130

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Psicrometría con sistema de aspiración de aire-----	14
Figura 2 Gráfica psicrométrica para temperaturas normales-----	15
Figura 3 Línea de propiedades termodinámicas -----	15
Figura 4 Lista de procesos psicrométrico - - - - -	16
Figura 5 Confort térmico en un hogar - - - - -	17
Figura 6 Diagrama de Mollier - - - - -	19
Figura 7 Intercambiador de calor en un ciclo de refrigeración -----	20
Figura 8 Intercambiador de carcasa y tubos -----	20
Figura 9 Intercambiador de Calor de placas -----	21
Figura 10 Intercambiador de Calor de tubo concéntrico -----	22
Figura 11 Intercambiador de Calor tubular - - - - -	22
Figura 12 Intercambiador de calor de doble tubo-----	23
Figura 13 Ciclo de compresión simple - - - - -	24
Figura 14 Gráfica del ciclo de compresión simple -----	24
Figura 15 Reacción fotoquímica en cadena de CFC y el ozono -----	26
Figura 16 Ciclo térmico de Carnot - - - - -	27
Figura 17 Evaporador de aire Forzado de bajo perfil (CBP) -----	31
Figura 18 Evaporador inundado de carcasa -----	31
Figura 19 Evaporador de Placa - - - - -	32
Figura 20 Evaporador de carcasa y tubos - - - - -	33
Figura 21 Presentación esquemática del sistema AWG -----	35
Figura 22 Ciclo de biomasa - - - - -	36
Figura 23 Esquema de un sistema de biobolsa -----	39
Figura 24 Tratamiento y uso de biogás - - - - -	40
Figura 25 Motor reciprocante de combustión interna modelo GE Jenbacher Type 2 -----	41

Figura 26 Biodigestor de flujo continuo - - - - -	42
Figura 27 Reactor anaeróbico de flujo ascendente - - - - -	43
Figura 28 Generador de agua atmosférica de media escala - - - - -	47
Figura 29 Generador Modelo Skywater 300 - - - - -	47
Figura 30 Generador de agua modelo EB30 - - - - -	48
Figura 31 Generador de agua modelo A2W1000 - - - - -	49
Figura 32 Generador de agua modelo AQ250U NEWECO - - - - -	50
Figura 33 Temperatura media en Lima en los últimos 12 meses - - - - -	54
Figura 34 Precipitaciones mensuales - - - - -	55
Figura 35 Bosquejo del proyecto de Tesis - - - - -	56
Figura 36 Ventana interactiva del Software Coolpack - - - - -	57
Figura 37 Interfase interactiva del Software MATLAB R2023b - - - - -	58
Figura 38 Interfase del programa CoolSelector2 - - - - -	59
Figura 39 Deshumidificación por enfriamiento - - - - -	61
Figura 40 Ciclo de compresión para el R718.....	62
Figura 41 Resultados de la simulación para el R718 - - - - -	63
Figura 42 Resultados auxiliares para la simulación con R718 - - - - -	63
Figura 43 Ciclo de compresión para el R404A - - - - -	64
Figura 44 Resultados de la simulación para el R404A - - - - -	64
Figura 45 Resultados auxiliares para la simulación con R404A - - - - -	65
Figura 46 Ciclo de compresión del R407C - - - - -	65
Figura 47 Resultados de simulación para el R407C - - - - -	66
Figura 48 Resultados auxiliares para la simulación con R407C - - - - -	66
Figura 49 Ciclo de compresión para el R134a - - - - -	67
Figura 50 Resultados de la simulación para el R134a - - - - -	67
Figura 51 Resultados auxiliares para la simulación con el R134a - - - - -	68
Figura 52 Tendencia Polinómica Temperatura VS Potencia Compresor - - - - -	72

Figura 53	Tendencia polinómica Temperatura de evaporador VS Flujo Másico -----	73
Figura 54	Ciclo termodinámico con valores optimizados -----	74
Figura 55	Valores con temperaturas Óptimas-----	74
Figura 56	Valores auxiliares con temperaturas Óptimas -----	75
Figura 57	Caudal de aire en evaporador -----	76
Figura 58	Bosquejo del diagrama psicrométrico -----	77
Figura 59	Evaporador cúbico modelo LC210A-----	80
Figura 60	Ventilador helicoidal mural -----	81
Figura 61	Condensador axial Marca GC -1-----	82
Figura 62	Condensador axial Marca GC -----	82
Figura 63	Compresor Modelo SZ084 -----	83
Figura 64	Válvula de expansión electrónica modelo ETS 5M30 -----	84
Figura 65	Filtro secador modelo DLC 1654s -----	85
Figura 66	Tanque de almacenamiento -----	85
Figura 67	Válvula de extracción -----	86
Figura 68	Sensor de nivel de agua -----	86
Figura 69	Filtro de aire-----	87
Figura 70	Generador eléctrico modelo Caterpillar G3516C-----	89
Figura 71	Costo por litros de agua -----	98
Figura 72	Variaciones del porcentaje de IPC en los últimos años-----	100
Figura 73	Estimación de precios de los últimos 30 años -----	100
Figura 74	Evaluación económica del proceso-----	102
Figura 75	Vista isométrica del montaje final -----	103
Figura 76	Alcance de Proyecto EDT -----	105
Figura 77	Puesta en Marcha del proyecto -----	107
Figura 78	Diagrama de Red CPM -----	107
Figura 79	Resultados de simulación de análisis de riesgos -----	114

Figura 80 Grafica de riesgos -----	115
Figura 81 Datos técnicos del panel solar seleccionado -----	117
Figura 82 Costos finales del proyecto -----	118
Figura 83 Valores de rentabilidad para 13 años de inversión -----	120

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Lista de factores y acciones en la matriz de Leopold .....	53
Tabla 2 Plan de mitigación .....	53
Tabla 3 Consideraciones iniciales del proyecto.....	60
Tabla 4 Propiedades termodinámicas para un factor de Bypass de 0.25 .....	61
Tabla 5 Resumen de resultados por cada refrigerante.....	69
Tabla 6 Lista de valores que se usaran en la gráfica de tendencia .....	70
Tabla 7 Propiedades eléctricas de equipos seleccionados .....	87
Tabla 8 Consumo diario de energía por equipo .....	88
Tabla 9 Consumo energético de biogás.....	90
Tabla 10 Condiciones de operación del biodigestor .....	94
Tabla 11 Presupuesto para el sistema de generación de agua .....	95
Tabla 12 Presupuesto para la instalación del biodigestor.....	96
Tabla 13 Costos de montaje.....	97
Tabla 14 Comparativo de costos de agua frente a otras alternativas tradicionales.....	98
Tabla 15 Valores estadísticos.....	99
Tabla 16 Tabla de riesgos asociados al proyecto .....	112
Tabla 17 Tabla de actividades y riesgos asociados .....	113



## **Introducción**

El acceso al agua para el riego de cultivos en zonas rurales de Lima sigue siendo un desafío significativo, especialmente donde la infraestructura convencional de agua no está adecuadamente desarrollada. En respuesta a esta problemática, surge la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles que aprovechen fuentes de energía renovable para garantizar un suministro adecuado de agua para la agricultura.

Esta investigación se enfoca en explorar el uso del biogás como combustible para sistemas generadores de agua atmosférica (AWG) destinados al riego de cultivos en zonas rurales de Lima. El biogás, producto de la descomposición de materia orgánica, ofrece una fuente de energía limpia y renovable que puede alimentar estos sistemas de captación de agua del aire.

La implementación de sistemas AWG potenciados por biogás presenta numerosas ventajas para la agricultura en zonas rurales. En primer lugar, aprovecha una fuente de energía renovable disponible localmente, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Además, estos sistemas permiten obtener agua para riego incluso en áreas donde la disponibilidad de recursos hídricos es limitada, utilizando el vapor de agua presente en el aire ambiente.

En conclusión, esta investigación propone utilizar el biogás como una solución innovadora y sostenible para mejorar el acceso al agua para el riego de cultivos en zonas rurales de Lima a través de sistemas AWG. Se espera que esta iniciativa no solo mejore la productividad agrícola y la seguridad alimentaria en estas comunidades, sino que también promueva el desarrollo sostenible y fortalezca la resiliencia ante desafíos ambientales y socioeconómico.

## **Capítulo I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes de la investigación**

En los últimos años, se ha observado un creciente interés en la investigación sobre los sistemas de generación de agua atmosférica (AWG) y la utilización de fuentes de energía renovable para el suministro de agua. Se han llevado a cabo numerosos estudios que abordan diversos aspectos de estas tecnologías. A continuación, se mencionan algunos de los trabajos más significativos que han tratado temas relacionados con el diseño e implementación de sistemas similares.

(Galindo Torres, 2015)

Menciona un proyecto realizado donde se modificaron equipos de aire acondicionado de casa para obtener agua de la humedad del aire. Esto como respuesta a los escasos de agua de lugares desérticos o que no cuentan con agua potable por temporadas.

El autor hace mención que el costo energético será elevado en aquellos lugares donde la humedad relativa sea baja y la temperatura ambiente alta.

(Rodríguez Pajarón, 2016)

Plantea un diseño para aprovechar la humedad de las amazonas colombiano, una solución inmediata al problema de la mala calidad del agua superficial para consumo. Los factores claves de este estudio son la humedad relativa y la temperatura, el autor busca obtener la máxima cantidad de agua optimizando y rediseñando los equipos necesarios.

(Peraza, 2017)

Plantea un módulo de recolección de agua usando como fuentes la energía eólica y solar, para esto el autor se basó en los parámetros de humedad relativa y temperatura gracias a los sensores HIH- 4010(sensor de humedad), DS1620 (sensor de temperatura) y MPX4115 (sensor de presión).

Este sistema puede obtener hasta 12L de agua/día considerando una humedad relativa de 50%. Si bien el proyecto llegó a generar en promedio 850 ml/h con porcentajes de humedad de 80 a 90 %, esta tecnología todavía representa un reto en tema de costo-beneficio.

Este trabajo puede ser útil como respaldo técnico para montaje e implementación de energías renovables.

(Apaza, 2019)

Plantea un equipo de obtención de agua para consumo doméstico a partir de la humedad del aire, para esto toma en cuenta la humedad relativa y temperatura ambiente para la ciudad de La Paz Bolivia. De los resultados de este trabajo, se obtuvo 2216 ml de agua potable a 43.6 % de humedad relativa con un costo aproximado de 1.33 bs el litro y 2514 ml de agua potable a una humedad relativa de 65.1 %, ambos en un tiempo ponderado de 24 horas en operación.

(Cobo, 2020)

Realiza un estudio de la calidad del agua obtenida por condensación según la normativa ecuatoriana, para nuestro caso usaremos este estudio basándonos en los parámetros indicados por la norma peruana de calidad de agua NTP 214.003 – 1987.

(Choquenaira, 2020)

Plantea en su trabajo que el manejo adecuado de los residuos orgánicos, especialmente aquellos provenientes de las excretas de animales, es crucial para reducir los riesgos para la salud de la población. El autor toma como punto de partida la ciudad de Arequipa y su problemática a la salud pública; es decir el correcto tratamiento de los residuos orgánicos ofrece la oportunidad de aprovechar el biogás generado como combustible natural para cocinar y calentar viviendas.

Con esto presente, el autor propone el diseño de un biodigestor con un rendimiento de 0.4 m<sup>3</sup> de biogás por cada 1.0 kg de estiércol, lo que significa que para satisfacer la demanda diaria de un hogar se necesitarían aproximadamente 7.69 kg de estiércol, resultando en la producción de 3.22 m<sup>3</sup>/día de biogás.

(Pinto, 2020)

El estudio se lleva a cabo en el Centro Poblado Las Canteras, ubicado en el Distrito de Pátapo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque. En esta área, las viviendas se encuentran dispersas en las chacras, alejadas de las redes eléctricas convencionales, lo que impide a los habitantes acceder al servicio de energía eléctrica. Para abordar estos desafíos, se propone diseñar un sistema de producción de biogás para uso doméstico utilizando estiércol de ganado vacuno disponible en el Centro Poblado Las Canteras. Se estima una producción diaria de estiércol de 314,0 kg/día, con un potencial de biogás de 0,55 m<sup>3</sup>/día. Se ha determinado que el biodigestor a implementar será del tipo Tubular tipo Taiwán, debido a su sencillez constructiva y su costo económico. Para su construcción, se requiere una fosa de 4 m de largo, 1 m de profundidad y 1,2 m de ancho en superficie, junto con una Biobolsa de 1,25 m de diámetro por 4 m de longitud, con un volumen total de 4,90 m<sup>3</sup> y un volumen de almacenamiento de biogás de 1,60 m<sup>3</sup>.

El costo total estimado para la implementación del biodigestor es de S/. 3 909,20, con gastos adicionales de operación y mantenimiento de S/. 300 al año.

(Alvarez, 2021)

Este proyecto se enfoca en el diseño de una instalación de biogás que emplea cachaza como materia prima, evaluando su eficacia en la producción de electricidad mediante grupos electrógenos. Se propusieron seis biodigestores industriales y seis grupos electrógenos para generar un total de 24 MW de electricidad para su venta, lo que resultaría en un ingreso anual de \$1,756,093.11.

Se definieron las características constructivas de los biodigestores, así como la cantidad de biogás necesaria para satisfacer la demanda. Se compararon los costos de construcción de instalaciones similares a nivel internacional. Se analizó el potencial de producción de cachaza por parte de la fábrica de azúcar y la capacidad de generación de biogás. La instalación propuesta tiene la capacidad de generar 24 MWh/día de electricidad para la red.

(Bonilla, 2022)

Este estudio aborda el diseño de un dispositivo autosustentable, impulsado por energía renovable, destinado a extraer vapor de agua del aire y condensarlo para proporcionar agua a la población de la ranhería "Santa Rosa", en Manaure, La Guajira. Para lograr este objetivo, se realizó una estimación de las necesidades diarias de agua por persona y se recolectaron datos sobre las condiciones climáticas y los recursos eólicos y solares en la ranhería. Posteriormente, se determinaron las condiciones iniciales del ciclo de refrigeración y se seleccionaron los componentes adecuados para el dispositivo. Mediante un análisis del costo del equipo y del costo por litro de agua generado, se evaluó la viabilidad económica del dispositivo en comparación con otras alternativas de obtención de agua. Se concluyó que el dispositivo es capaz de producir más de 350 litros de agua al día bajo las condiciones ambientales de la ranhería, y se compararon los resultados con los esfuerzos gubernamentales actuales para proporcionar agua a la comunidad de Manaure.

## **1.2 Identificación y Descripción del problema de Estudio**

En las zonas rurales de Lima, el acceso al agua para el riego de cultivos es fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícolas. Sin embargo, muchas de estas áreas enfrentan desafíos significativos debido a la falta de infraestructura adecuada para el suministro de agua. Esta situación se agrava en regiones donde los recursos hídricos

son escasos o inaccesibles, limitando severamente las oportunidades de cultivo y afectando la sostenibilidad agrícola.

En respuesta a esta problemática, la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles se vuelve imperativa. El biogás, generado a partir de la descomposición de materia orgánica, emerge como una fuente de energía renovable prometedora para alimentar sistemas generadores de agua atmosférica (AWG). Estos sistemas tienen el potencial de captar y condensar el vapor de agua presente en el aire ambiente, proporcionando una fuente constante de agua para el riego de cultivos, incluso en áreas donde los recursos hídricos convencionales son limitados o inexistentes.

Sin embargo, a pesar del potencial beneficio del biogás como combustible para sistemas AWG en zonas rurales, persisten desafíos significativos que deben abordarse. Entre ellos se incluyen la viabilidad económica de la implementación de estas tecnologías, la adaptabilidad a las condiciones locales y la necesidad de políticas y marcos regulatorios que fomenten su adopción y uso efectivos.

Por lo tanto, la principal interrogante radica en cómo integrar de manera efectiva el uso del biogás en sistemas AWG para mejorar el acceso al agua para el riego de cultivos en zonas rurales de Lima, asegurando no solo la disponibilidad de agua, sino también la sostenibilidad ambiental y económica de dichas soluciones (Ver **Anexo N°30**).

### **1.3 Formulación del problema**

#### **1.3.1 Problema principal**

Las limitaciones para el acceso al agua, debido a los escasos hídrica y la falta de infraestructura adecuada son un problema que afecta directamente a la sostenibilidad agrícola y su desarrollo socioeconómico. Este desafío crece por la ausencia de alternativas energéticas sostenibles para implementar tecnologías innovadoras que garanticen una solución eficiente y accesible.

### **1.3.2 Problemas específicos**

- Dependencia de fuentes hídricas tradicionales limita la productividad agrícola y aumenta la vulnerabilidad de las comunidades rurales frente a los cambios climáticos.
- La falta de acceso a energías asequibles y sostenibles que permitan la implementación de sistemas como los generadores de agua atmosférica (AWG).
- Aunque el biogás y los sistemas AWG son tecnologías prometedoras, los costos asociados a su instalación representan una barrera para su adopción masiva en las zonas rurales.
- El desconocimiento en los factores locales como la variabilidad en los potenciales caloríficos y la composición del material orgánico, contenido de azufre, puede afectar la eficiencia de los biodigestores y la durabilidad de los equipos.
- Aun considerando las ventajas económicas y ambientales del uso de biocombustible, es necesario evaluar detenidamente los costos operativos, el mantenimiento y el tiempo de recuperación para demostrar su viabilidad económica en escenarios rurales.

## **1.4 Justificación**

El acceso al agua para riego en zonas rurales de Lima representa un problema fundamental a causa de la escasez hídrica y una infraestructura deficiente. Esto afecta negativamente la seguridad alimentaria, su productividad agrícola y el desarrollo socioeconómico de estas comunidades. Frente a este desafío, la implementación de sistemas generadores de agua atmosférica (AWG) alimentados por biogás representa una solución innovadora y sostenible.

El biogás, obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos, no solo aprovecha recursos disponibles localmente, sino que también contribuye a la gestión de residuos y a la generación de energía renovable. Estos sistemas tienen el potencial de

proporcionar una fuente constante de agua para riego, mejorar la productividad agrícola y reducir la dependencia de fuentes hídricas convencionales.

Además, el proyecto aborda la necesidad de tecnologías accesibles y ecológicas que fomenten la sostenibilidad económica y ambiental en las zonas rurales. Si bien los costos iniciales de implementación son significativos, los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos operativos, la autosuficiencia energética y la mejora en las condiciones de vida de los agricultores, justifican ampliamente la inversión.

## **1.5 Importancia**

- Promover la sostenibilidad ambiental con el uso de energía renovables como el biogás para reducir la dependencia de combustibles fósiles y contribuir a la mitigación del cambio climático.
- Mejora la calidad de vida de las comunidades rurales al garantizar el acceso a agua para riego, incrementando la seguridad alimentaria y reduciendo la pobreza en estas zonas vulnerables.
- Facilita la reducción de costos de producción agrícola mediante la generación de agua y fertilizantes naturales a partir de residuos orgánicos, fomentando prácticas más resilientes y eficientes.
- Actúa como un referente para la creación de políticas que promuevan la implementación de tecnologías sostenibles en comunidades rurales, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

## **1.6 Objetivos**

En este apartado se establecerán con claridad los propósitos principales del proyecto.



### **1.6.1 Objetivos generales**

Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de biogás como combustible para sistemas generadores de agua atmosférica (AWG) destinados al riego de cultivos en zonas rurales de Lima.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Investigar y analizar las características del biogás como fuente de energía renovable para sistemas AWG, considerando su disponibilidad y potencial de aplicación en zonas rurales de Lima.
- Evaluar el rendimiento del sistema AWG utilizando biogás en términos de producción de agua potable y adecuación para el riego de cultivos, mediante pruebas de campo en condiciones representativas de las zonas rurales de Lima.
- Investigar y proponer recomendaciones para la implementación efectiva y la escalabilidad de sistemas AWG alimentados por biogás en comunidades rurales de Lima, considerando aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales.
- Analizar el impacto económico del uso de biogás para sistemas AWG en comparación con métodos tradicionales de suministro de agua y riego en la agricultura rural de Lima.

## **1.7 Hipótesis**

### **1.7.1 Hipótesis general**

- El uso de biogás como fuente de energía para sistemas generadores de agua atmosférica (AWG) es una solución viable y sostenible para mejorar el acceso al agua para el riego de cultivos en zonas rurales de Lima, contribuyendo a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la mitigación del cambio climático.

### **1.7.2 Hipótesis específica**

- Los sistemas AWG potenciados por biogás pueden proporcionar una cantidad de agua adecuada para el riego de cultivos en zonas rurales de Lima, incluso en condiciones de disponibilidad limitada de recursos hídricos.

- La adopción de sistemas AWG potenciados por biogás en zonas rurales de Lima contribuye a la resiliencia de las comunidades frente a desafíos ambientales y socioeconómicos.
- La utilización de biogás como fuente de energía para sistemas AWG puede ser implementada de manera sostenible y replicable en otras regiones rurales con condiciones similares a las de Lima.

## **1.8 Variables y operacionalización de variables**

Las variables de estudio del proyecto pueden dividirse en variables independientes, dependientes e indicadores, de acuerdo a los factores que influyen en los resultados.

### **1.8.1 Variables Independientes**

- a) Materia orgánica procesada por el biodigestor
- b) Condiciones climáticas como humedad relativa y temperatura ambiental
- c) Composición del material orgánico (tipo de residuo utilizado, contenido calorífico, porcentaje de azufre, etc.)

### **1.8.2 Variables dependientes**

- a) Cantidad de biogás generado
- b) Litros de agua generados por día
- c) Impacto ambiental

### **1.8.3 Indicadores**

- a) Eficiencia del sistema
- b) Costos por litro de agua
- c) Rentabilidad

## **1.9 Metodología de la investigación**

### **1.9.1 Unidad de análisis**

Nuestra investigación tendría como unidad de análisis el sistema de producción de biogás y generación de agua atmosférica diseñado para implementarse en Zonas rurales de Lima.

Este proyecto puede dividirse en los siguientes niveles de análisis:

- a) Selección e implementación del biodigestor: Como elemento generador de biocombustible, evaluando su capacidad de conversión de materia orgánica en energía renovable.
- b) Diseño del sistema AWG: Como dispositivo que utiliza la energía generada para producir agua atmosférica para la agricultura rural.
- c) Comunidad: Lugar elegido para el estudio e implementación del sistema, evaluando su impacto en las prácticas agrícolas, seguridad alimentaria y desarrollo socioeconómico.

### **1.9.2 Tipo, Enfoque y Nivel de Investigación**

La investigación es de tipo aplicada, pues busca resolver problemas reales en zonas rurales de Lima utilizando biogás y sistema AWG con un enfoque mixto basada en datos numéricos sobre la producción de biogás, la cantidad de agua generada, la viabilidad económica del sistema y una breve entrevista con los lugareños.

También tiene carácter de tipo exploratoria-descriptiva para detallar el sistema y sus condiciones de implementación, y explicativa para analizar como esta solución podría dar un alcance mas accesible al agua en zonas rurales al evaluar su viabilidad y efectos a largo plazo.

### **1.9.3 Diseño de la Investigación**

Se usará un diseño no experimental, pues se evaluará fenómenos en un contexto natural, siguiendo un diseño longitudinal que mide los impactos del sistema a lo largo del tiempo.

### **1.9.4 Fuentes de Información**

Utilizará métodos cuantitativos para la recolección de datos relacionados con la producción de biogás, la cantidad de agua generada, los costos operativos y los impactos socioeconómicos. Estos datos pueden incluir:

- ✓ Medición directa de la cantidad de agua producida y el biogás necesario para su generación.
- ✓ Encuestas y cuestionarios para recopilar datos sobre el impacto sobre las comunidades.
- ✓ Análisis documental para revisar estudios previos y comparar resultados
- ✓ Información climatológica del lugar de estudio para determinar los valores de las variables a las cuales estará sometida en diseño del sistema AWG.

### **1.9.5 Población y muestra**

- ✓ La población objeto de estudio está compuesta por las zonas rurales de Lima, y la muestra se elegirá según criterios específicos, como áreas con escasez de agua o abundancia de residuos orgánicos.

### **1.9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Análisis documental con el objetivo de comparar los resultados de investigaciones previas y ajustar el diseño del proyecto en función de las lecciones aprendidas.

Se usarán software especializados en el análisis de datos como Excel, Coolpack y Matlab con el objetivo de facilitar el análisis estadístico de datos y el cálculo de los indicadores.

### **1.9.7 Análisis y procesamiento de datos**

Se empleará un análisis estadístico para evaluar la efectividad del sistema que incluyen pruebas de hipótesis y cálculo de índices de eficiencia económica (como el Valor Actual Neto, VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1 Base teórica**

En este capítulo se proporcionará un contexto amplio y fundamental para abordar la investigación, tocando aspectos clave relacionados con los conceptos teóricos y su aplicabilidad tecnológica para este proyecto.

##### **2.1.1 Principios de Refrigeración**

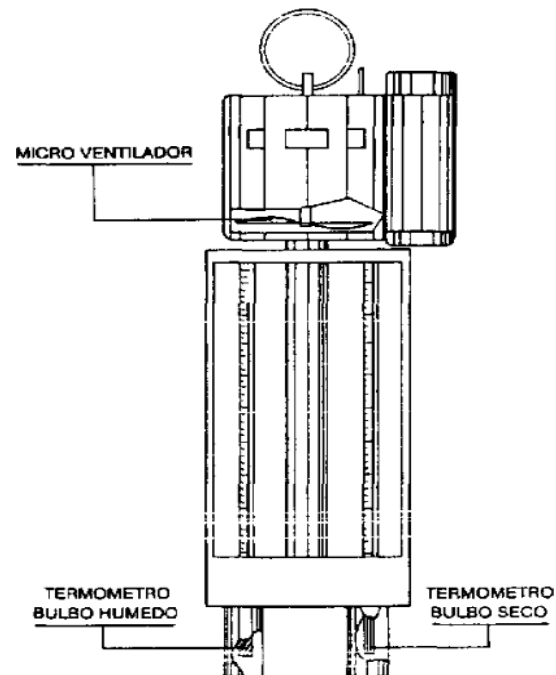
La refrigeración es un proceso que se sustenta en la transferencia de calor y los principios de la termodinámica, el proceso de mover calor desde un lugar o material hacia otro más frío para disminuir la temperatura del primero. A continuación, se mostrará los conceptos claves para entender este proceso.

###### **2.1.1.1 Psicrometría**

Esta rama de la ciencia se encarga de estudiar las propiedades termodinámicas y de transporte de vapor de agua en el aire. Se utiliza principalmente en aplicaciones de climatización, refrigeración y ventilación, así como en el diseño de sistemas de aire acondicionado y calefacción. Su estudio incluye conceptos fundamentales como la temperatura del aire seco, la humedad relativa, la humedad específica, la presión del vapor de agua y el punto de rocío. Estas variables están interrelacionadas y se utilizan para caracterizar el estado del aire húmedo.

## Figura 1

### *Psicrometría con sistema de aspiración de aire*

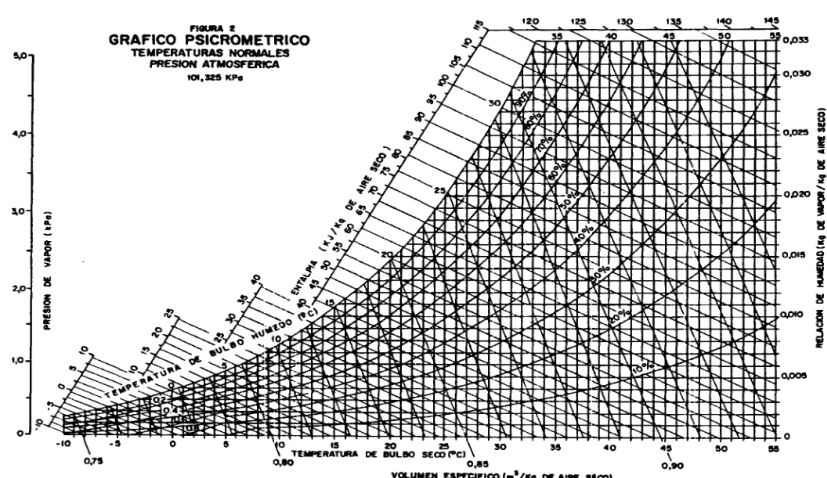


Nota. La figura muestra el esquema de un psicrómetro con sistema de aspiración de aire. (Oficina regional de la FAO para America Latina y El Caribe, 1991), <https://www.fao.org/4/x5057s/x5057S01.htm#2.%20Psicrometr%C3%ADa>.

Además, se suele usar el diagrama psicrométrico que es una representación gráfica de las propiedades del aire húmedo que permiten visualizar y analizar el comportamiento del aire en términos de temperatura, humedad y otras variables psicrométricas.

**Figura 2**

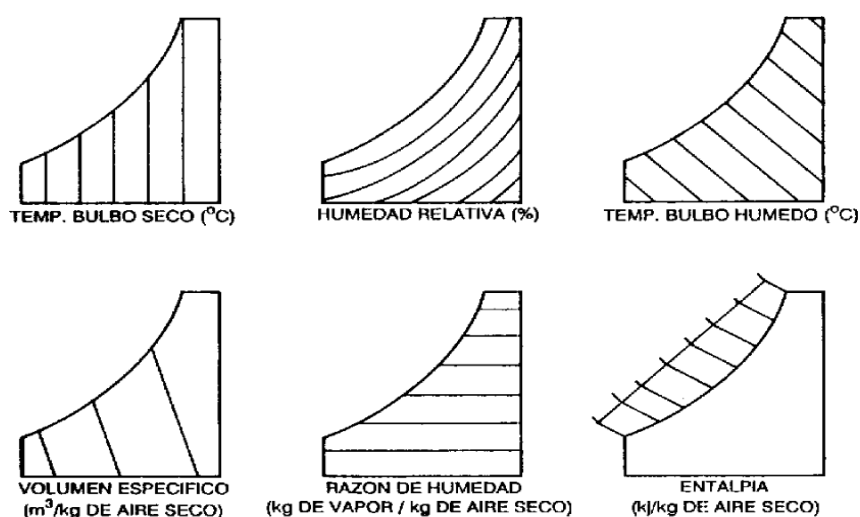
*Gráfica psicrométrica para temperaturas normales*



Nota. La figura muestra las propiedades de estado en condiciones normales de presión y temperatura. (Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 1991), <https://www.fao.org/4/x5057s/x5057S01.htm#2.%20Psicrometr%C3%ADa>.

**Figura 3**

*Línea de propiedades termodinámicas*



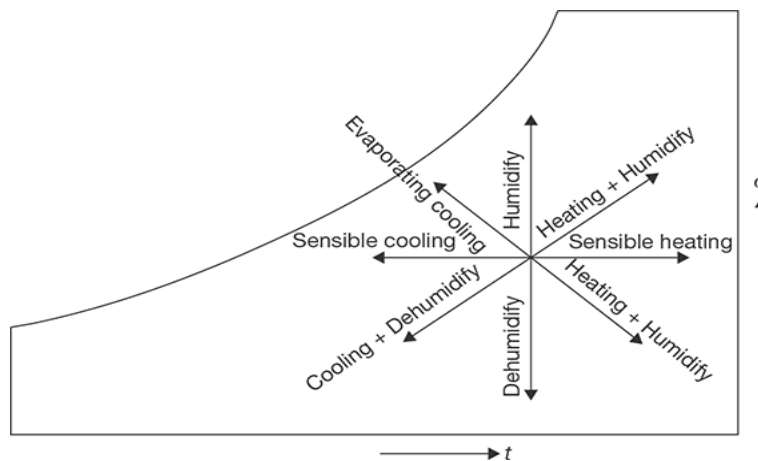
Nota. La figura muestra la distribución representativa de las propiedades termodinámicas en la tabla psicrométrica. Fuente: (Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 1991), <https://www.fao.org/4/x5057s/x5057S01.htm#2.%20Psicrometr%C3%ADa>.



Se aplica en el diseño y análisis de procesos de acondicionamiento del aire, como la refrigeración, la calefacción, la humidificación y la deshumidificación. Permite determinar las condiciones de entrada y salida del aire en estos procesos y calcular los requerimientos de energía y capacidad de los equipos necesarios.

#### Figura 4

*Lista de procesos psicrométrico*

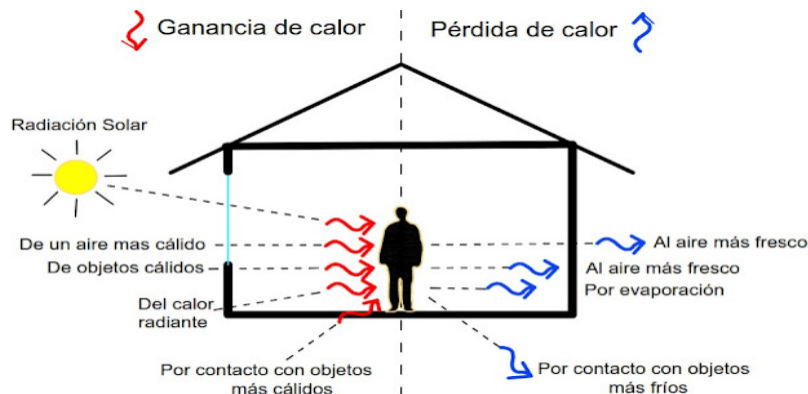


Nota. La figura muestra la dirección en que cambian las propiedades termodinámicas dentro de la tabla psicrométrica. (Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 1991), <https://www.fao.org/4/x5057s/x5057S01.htm#2.%20Psicrometr%C3%ADa>.

Se utiliza para evaluar el confort térmico en espacios interiores ya que permite determinar las condiciones ambientales óptimas para el bienestar humano.

## Figura 5

### Confort térmico en un hogar



Nota. La figura muestra la representación del confort térmico en un hogar. (Molina Fuentes, 2016), <https://alternativarenovable.blogspot.com/2016/12/confort-termico.html>.

#### 2.1.1.2 Humedad Relativa

La humedad relativa se define como la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura y presión. Se mide con un higrómetro, un dispositivo que puede ser mecánico o electrónico. Es una medida que representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la máxima cantidad de vapor de agua que el aire podría contener a una temperatura indicada, esta se suele expresar como un porcentaje de humedad.

#### 2.1.1.3 Humedad Absoluta

La humedad absoluta representa la cantidad directa de vapor de agua que se encuentra en una determinada cantidad de aire, comúnmente expresada en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire ( $\text{g/m}^3$ ). Esta medida proporciona una evaluación directa de la presencia de vapor de agua en el aire y no está sujeta a variaciones de temperatura o presión atmosférica. Para medir la humedad absoluta, se emplea un dispositivo conocido como psicrómetro de cabello, que utiliza la variación de longitud de un cabello humano en respuesta a cambios en la humedad para calcular la cantidad de vapor de agua presente en el aire.

A diferencia de la humedad relativa, que compara la cantidad de vapor de agua en el aire con la máxima capacidad de retención de agua del aire a una temperatura y presión dadas, la humedad absoluta ofrece una medición directa de la cantidad real de vapor de agua en el aire, sin influencia de las condiciones ambientales.

Su aplicabilidad es fundamental cuando se requiera conocer con exactitud el vapor de agua presente en el aire.

#### **2.1.1.4 Carta Psicrométrica**

La carta psicrométrica es un recurso gráfico empleado en el ámbito de la climatización y la ingeniería ambiental para ilustrar las características del aire en un plano bidimensional. Este gráfico muestra distintas variables psicrométricas del aire, como la temperatura seca, la humedad relativa, la humedad específica, la presión de vapor y el punto de rocío, en relación con la temperatura.

En la **Figura 2** se muestra una carta psicrométrica estándar, la temperatura seca se ubica en el eje horizontal, mientras que la humedad específica o relativa se sitúa en el eje vertical. Los diversos parámetros psicrométricos se representan mediante líneas o curvas de constantes, facilitando la comprensión de las relaciones entre estas variables.

#### **2.1.1.5 Diagrama P-h**

El diagrama P- h también conocido como diagrama de Mollier o diagrama Entalpía-Entropía, es una representación gráfica que se utiliza en ingeniería de refrigeración para visualizar las propiedades del aire húmedo en un plano coordinado con la entalpía específica (h) y la entropía específica (s) como ejes. Este diagrama es esencial para analizar procesos de acondicionamiento de aire y calcular características como la humedad específica, temperatura y humedad relativa del aire.

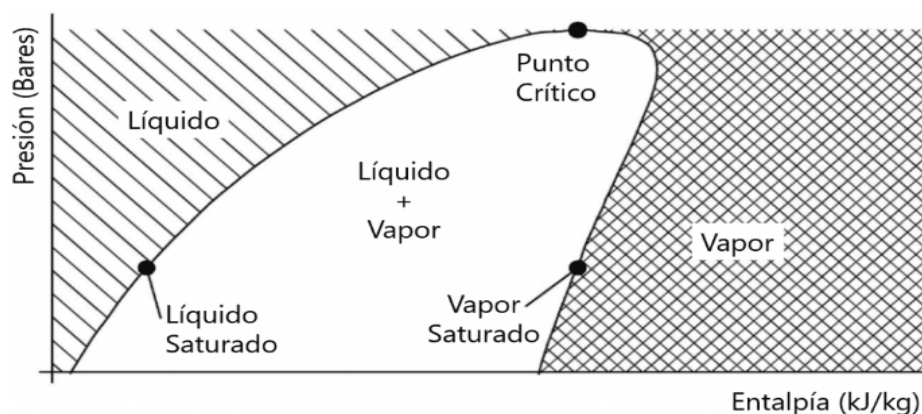
En el diagrama PH (ver **Figura 6**), las líneas de saturación representan el estado de vapor saturado, indicando la máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede retener a una temperatura y presión dadas. Además, incluye líneas de humedad específica constante,

líneas isotérmicas y de presión constante para comprender el comportamiento del aire húmedo en diversas condiciones.

Es una herramienta invaluable en el diseño y análisis de sistemas de climatización, facilitando la determinación de condiciones de entrada y salida del aire y el cálculo del rendimiento de equipos de climatización.

### Figura 6

*Diagrama de Moliere*



Nota. La figura muestra la representación gráfica del Diagrama pH o Diagrama de Moliere.

(Keyter Group, 2024), <https://www.keyter.com/es/diagrama-de-mollier/#news>.

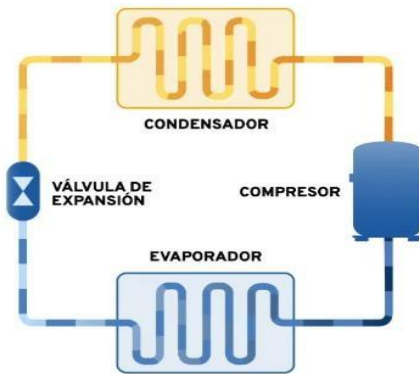
#### 2.1.1.6 Transferencia de calor en intercambiadores

Los intercambiadores de calor son utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, que van desde sistemas de climatización hasta procesos industriales, y su diseño y funcionamiento se sustentan en principios termodinámicos y de transferencia de calor.

Existen varios tipos de intercambiadores de calor, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones.

## Figura 7

### *Intercambiador de calor en un ciclo de refrigeración*



Nota. La figura muestra la aplicación de los intercambiadores de calor entre evaporador y condensador usados en los ciclos de refrigeración.(Frozytec International Inc., 2022), <https://www.froztec.com/es-mx/como-funciona-un-intercambiador-de-calor-en-un-sistema-de-refrigeracion>

#### **2.1.1.7 Intercambiadores de calor de carcasa y tubos**

Los intercambiadores de calor de carcasa y tubos son comúnmente utilizados en diversas industrias. Consisten en tubos alojados dentro de una carcasa, donde un fluido fluye a través de los tubos (fluido interno) mientras que otro fluido circula en el espacio entre los tubos y la carcasa (fluido externo). Estos intercambiadores permiten el intercambio eficiente de calor entre los fluidos a través de las paredes de los tubos.

## Figura 8

### *Intercambiador de carcasa y tubos*



Nota. La figura muestra a un intercambiador de calor de carcasa y tubos, los fluidos circulan en el interior del tubo dirigidos por ductos y canales. (Frozytec International Inc., 2022), <https://www.froztec.com/es-mx/como-funciona-un-intercambiador-de-calor-en-un-sistema-de-refrigeracion>.

#### **2.1.1.8 Intercambiadores de calor de placas**

Los intercambiadores de calor de placas utilizan placas metálicas corrugadas para aumentar la superficie de transferencia de calor. Los fluidos fluyen alternativamente entre las placas, lo que facilita la transferencia de calor. Son compactos, eficientes y son ideales para aplicaciones donde el espacio es limitado.

**Figura 9**

*Intercambiador de Calor de placas*



Nota. La figura muestra un intercambiador de calor de placas, esta característica le permite ventajas como el ahorro de espacio y mayor eficiencia energética (Frozytec International Inc., 2022), <https://www.froztec.com/es-mx/como-funciona-un-intercambiador-de-calor-en-un-sistema-de-refrigeracion>.

#### **2.1.1.9 Intercambiadores de calor de tubos concéntricos**

Los intercambiadores de calor de tubos concéntricos están compuestos por dos tubos ubicados uno dentro del otro. Un fluido circula entre los dos tubos, mientras que el otro fluido fluye a través del tubo interior. Este diseño simple permite una transferencia de calor directa y eficiente.

**Figura 10**

*Intercambiador de Calor de tubo concéntrico*



Nota. La figura muestra un intercambiador de calor de tubo concéntrico, los fluidos entre los cuales se da el intercambio de calor están representados por las flechas azul y rojo. (Ramírez Coutiño, 2016), [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Configuracion-geometrica-del-intercambiador-de-calor-de-tubo-concentrico\\_fig1\\_311924385](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Configuracion-geometrica-del-intercambiador-de-calor-de-tubo-concentrico_fig1_311924385).

#### **2.1.1.10 Intercambiadores de calor tubular**

Los intercambiadores de calor tubulares esta conformadas por dos cámaras de presión que son la carcasa y el haz tubular. Esto le permite tener un flujo continuo, sin mezclarse, y son especialmente adecuados para aplicaciones que requieren altas presiones y temperaturas.

**Figura 11**

*Intercambiador de Calor tubular*



Nota. La figura muestra al intercambiador de calor tipo tubular que destacan por ser compactos y eficientes.(Saga Fluid process Tecnology, 2024), <https://sagafluid.com/intercambiador-de-calor-tubular/>.

#### 2.1.1.11 Intercambiadores de calor de doble tubo

Los intercambiadores de calor de doble tubo consisten en dos tubos concéntricos, uno dentro del otro. Un fluido circula a través del tubo interior, mientras que el otro fluido fluye a través del espacio anular entre los dos tubos. Son dispositivos simples y económicos, aunque su eficiencia es menor en comparación con otros tipos de intercambiadores de calor.

**Figura 12**

*Intercambiador de calor de doble tubo*



Nota. La figura muestra al intercambiador de calor de doble tubo cuyo diseño es sencillo y económico, pero que no se recomienda para producción industrial por su bajo caudal de enfriamiento. (Frozytec International Inc., 2022), <https://www.froztec.com/es-mx/como-funciona-un-intercambiador-de-calor-en-un-sistema-de-refrigeracion>.

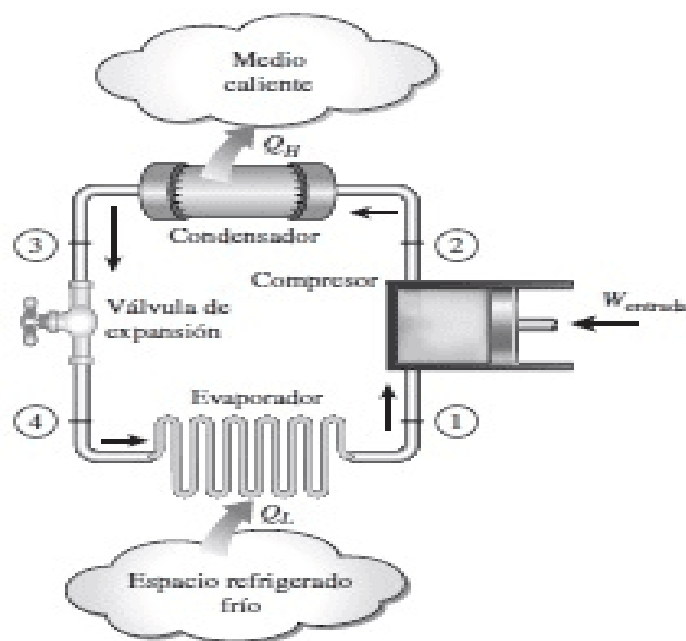
#### 2.1.1.12 Ciclo de Compresión Simple

El ciclo de compresión simple es el ciclo termodinámico básico utilizado en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Consiste en cuatro procesos termodinámicos que se llevan a cabo en un refrigerante dentro de un sistema cerrado.



**Figura 13**

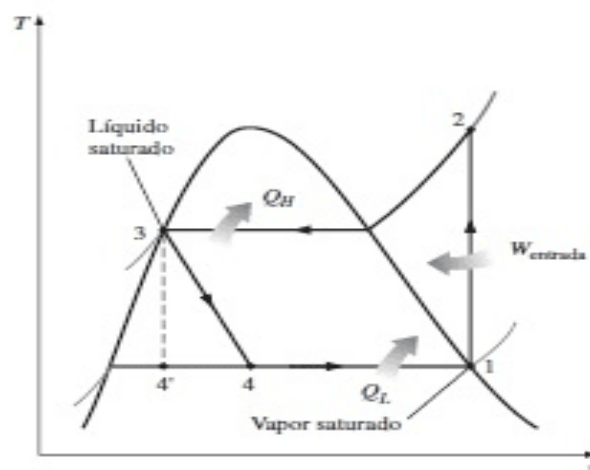
*Ciclo de compresión simple*



Nota. La figura muestra un ciclo de compresión simple. (Silvera López, 2015), <https://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-ideal-de-refrigeracion-por.html>.

**Figura 14**

*Gráfica del ciclo de compresión simple*



Nota. La figura muestra la representación gráfica del ciclo de compresión simple. (Silvera López, 2015), <https://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-ideal-de-refrigeracion-por.html>.

Este ciclo es un proceso continuo en el que el refrigerante circula constantemente a través del sistema, absorbiendo calor en el evaporador, liberándolo en el condensador y repitiendo el ciclo. Este proceso de absorción y liberación de calor permite la refrigeración del entorno deseado, como en sistemas de aire acondicionado o refrigeración.

### **2.1.2 Refrigerantes**

Un refrigerante es un compuesto químico empleado en sistemas de refrigeración y aire acondicionado para transferir calor de un lugar a otro. Estos fluidos tienen la capacidad de cambiar de estado entre líquido y vapor bajo condiciones específicas de temperatura y presión, lo que les permite absorber calor al evaporarse y liberarlo al condensarse. Existen diversos tipos de refrigerantes, que van desde compuestos sintéticos como los clorofluorocarbonos (CFC) (Ver **Anexo N°3**) y los hidroclorofluorocarbónos (HCFC) (Ver **Anexos N°4,5,6,7 y 8**), hasta opciones naturales como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Ver **Anexo N°10**); Sin embargo, debido a las preocupaciones ambientales, se está dando preferencia cada vez más a refrigerantes con menor impacto en la capa de ozono y el calentamiento global, como los hidrofluorocarbonos (HFC) y los hidrocarburos (HC).

#### **2.1.2.1 Propiedades de los refrigerantes**

A continuación, definiremos una serie de propiedades a considerar de los refrigerantes:

#### **2.1.2.2 Potencial agotador de ozono (PAO)**

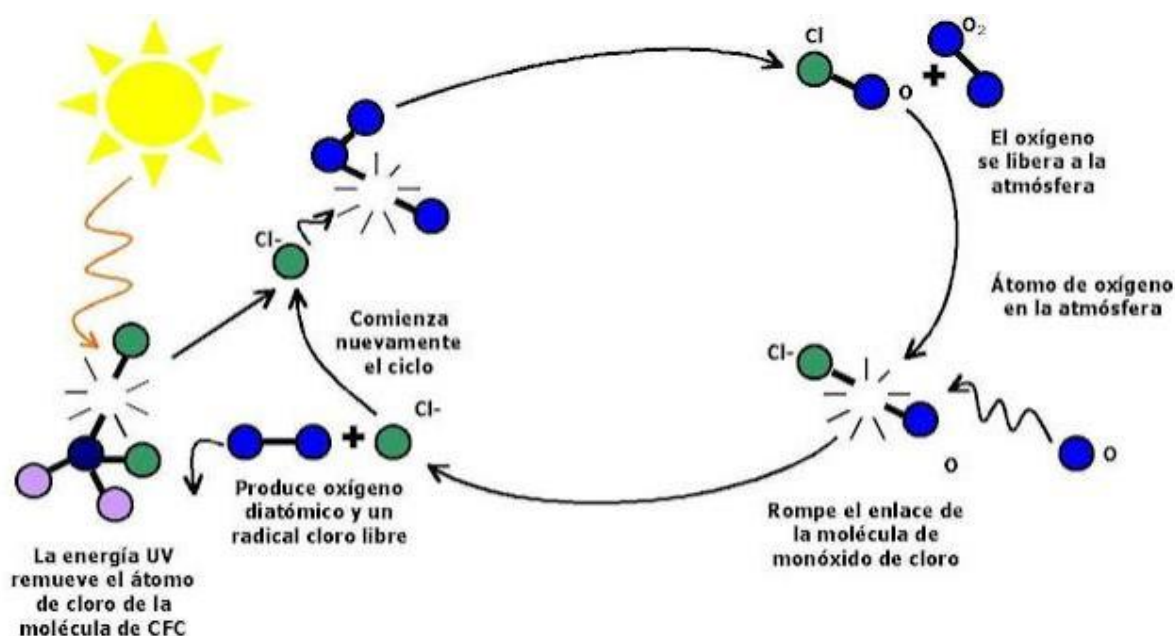
Es una medida empleada para valorar cómo diferentes sustancias afectan la capa de ozono de la atmósfera. Esencialmente, indica la habilidad de una sustancia para

descomponer el ozono en la estratosfera una vez que es liberada en la atmósfera y llega a esa área (Ver **Anexo N°20 y 21**).

El Potencial Agotador de Ozono (PAO) de una sustancia se define en relación con su capacidad para dañar la capa de ozono en comparación con una cantidad igual de triclorofluorometano (CFC-11), que se establece como uno en esta escala de medida.

**Figura 15**

*Reacción fotoquímica en cadena de CFC y el ozono*



Nota. La figura muestra la esquematización de las reacciones fotoquímicas en cadena de CFC y el ozono. (Ortega, 2010), <https://cloroplastas.blogspot.com/2010/11/que-es-el-agujero-de-la-capa-de-ozono.html>.

### **2.1.2.3 Potencial de calentamiento global (PCG/GWP)**

La potencia de calentamiento global (PCG) es una medida que compara cómo los gases de efecto invernadero afectan al calentamiento global en comparación con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se toma como referencia. Se expresa como un factor multiplicativo que indica cuánto más influyente es un gas que el CO<sub>2</sub> en atrapar calor en la atmósfera

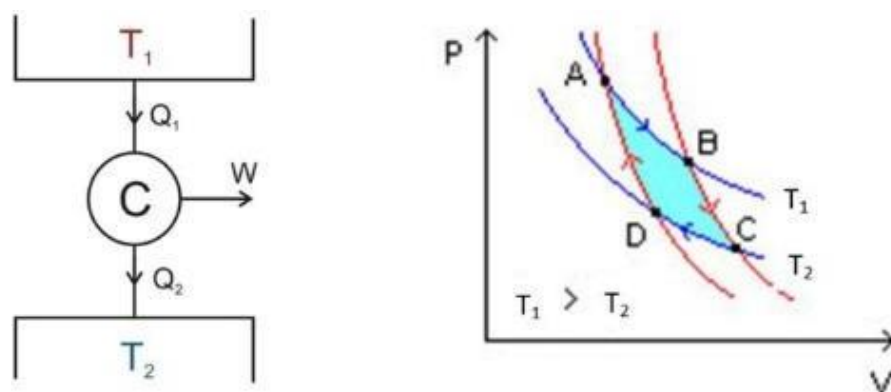
durante un período de tiempo específico, generalmente 100 años. Este enfoque permite comparar el impacto climático de diferentes gases, lo que es fundamental para desarrollar estrategias de mitigación del cambio climático (Ver **Anexo N°20**).

#### 2.1.2.4 Coeficiente de desempeño (COP)

El coeficiente de desempeño (COP) de un refrigerante es una medida que evalúa la eficiencia de un sistema de refrigeración o bomba de calor. Se determina dividiendo la cantidad de calor transferido por la cantidad de energía utilizada para lograr esa transferencia. Un COP más alto indica una mayor eficiencia, lo que significa que el sistema puede transferir más calor utilizando menos energía, lo que lo hace más rentable y ecológico.

**Figura 16**

*Ciclo térmico de Carnot*



Nota. La figura representa el ciclo de Carnot y su representación del diagrama P-V. (Lifeder Corporation, 2023), <https://www.lifeder.com/ciclo-de-carnot/>.

El coeficiente de desempeño (COP) de una máquina térmica representado en la **Figura 16** se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{Q_2}{W}$$

#### 2.1.2.5 Presión de descarga

La presión de descarga de un refrigerante se refiere a la presión con la que el refrigerante sale del compresor en un sistema de refrigeración o aire acondicionado. Es

esencial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema, ya que influye en cómo el refrigerante se comprime y se mueve a través del sistema para liberar el calor absorbido durante el proceso de refrigeración. Una presión de descarga adecuada es crucial para mantener un intercambio de calor óptimo y prevenir posibles daños en los componentes del sistema.

#### **2.1.2.6 Temperatura de descarga**

La temperatura de descarga de un refrigerante se refiere a la temperatura a la que el refrigerante sale del compresor en un sistema de refrigeración o aire acondicionado. Esta temperatura es esencial para determinar la cantidad de calor absorbido por el refrigerante y su eficacia en la transferencia de calor. Mantener esta temperatura dentro de rangos adecuados es crucial para prevenir posibles daños al sistema y garantizar su funcionamiento seguro y eficiente. Controlar esta temperatura es clave para optimizar el rendimiento y prolongar la vida útil del sistema.

#### **2.1.2.7 Temperatura de autoignición**

La temperatura de autoignición de un refrigerante se refiere a la temperatura mínima a la que puede comenzar a arder por sí solo, sin necesidad de una fuente externa de ignición como una llama o una chispa. Este parámetro es importante para la seguridad en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, ya que un refrigerante con una temperatura de autoignición baja podría representar un riesgo de incendio o explosión. Es vital comprender y controlar esta temperatura para garantizar un manejo seguro y adecuado del refrigerante.

#### **2.1.2.8 Grupo de seguridad**

En sistemas de refrigeración y aire acondicionado, un "grupo de seguridad" comprende un conjunto de dispositivos y mecanismos diseñados para asegurar el funcionamiento seguro y confiable del sistema. Estos dispositivos pueden incluir válvulas de alivio de presión, interruptores de seguridad, sensores de temperatura y otros elementos destinados a proteger contra condiciones peligrosas como sobrepresión o

sobrecalentamiento. Su función es evitar posibles fallos graves y mantener la operación segura y eficiente del sistema de refrigeración (Ver **Anexos N°20 y 22**).

#### **2.1.2.9 Clasificación de los refrigerantes**

A continuación se muestra algunas de las formas en la que los refrigerantes pueden clasificarse:

##### **2.1.2.10 Refrigerantes Halo carbonados**

Un refrigerante halo carbonado es un tipo de refrigerante que contiene en su composición uno o varios elementos halógenos, como flúor, cloro o bromo; sin embargo, muchos de ellos han sido identificados como agentes perjudiciales para la capa de ozono y/o contribuyentes al calentamiento global, lo que ha llevado a regulaciones para limitar su uso y promover alternativas más amigables con el medio ambiente. Ejemplos de refrigerantes halo carbonados son los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbónos (HCFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC).

##### **2.1.2.11 Refrigerantes Inorgánicos**

Son más estables que los refrigerantes orgánicos y tienen propiedades específicas para ciertas aplicaciones. Los más comunes incluyen halogenuros de alcano, amoníaco y dióxido de carbono. Debido a sus propiedades, son adecuados para diferentes tipos de sistemas de refrigeración, pero algunos pueden ser tóxicos o inflamables, por lo que se deben manejar con precaución y cumplir con las regulaciones de seguridad.

##### **2.1.2.12 Refrigerantes Orgánicos**

Un refrigerante orgánico es una sustancia empleada en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, compuesta mayormente por compuestos químicos derivados de materia orgánica. Estos refrigerantes, tales como los hidroclorofluorocarbónos (HCFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC), son comúnmente usados en aplicaciones domésticas y comerciales. A diferencia de los refrigerantes inorgánicos, los orgánicos no contienen halógenos y causan menos daño a la capa de ozono. Sin embargo, muchos de ellos

contribuyen al calentamiento global, por lo que se están buscando alternativas más amigables con el medio ambiente.

### **2.1.3 Elementos mecánicos de un ciclo de compresión simple**

Se muestra los principales elementos mecánicos de un sistema de compresión simple.

#### **2.1.3.1 Evaporador**

Un evaporador es un componente esencial en sistemas de refrigeración y aire acondicionado que absorbe calor del entorno para convertir un refrigerante líquido en vapor. Funciona como un intercambiador térmico donde el refrigerante circula a través de tubos o serpentines en contacto con el aire o la superficie a enfriar. Durante su funcionamiento, el refrigerante líquido absorbe calor del entorno, evaporándose y enfriándolo en el proceso. El vapor resultante es comprimido por el compresor, luego se condensa en el condensador y vuelve a líquido. Los evaporadores pueden tener distintos diseños, pero su función principal es facilitar el intercambio de calor para proporcionar refrigeración o aire acondicionado (Ver **Figura 7**).

##### **➤ Evaporadores de aire forzado**

Estos evaporadores emplean un ventilador para impulsar el aire a través de las bobinas del evaporador, lo cual agiliza el proceso de evaporación del refrigerante y aumenta la eficacia en la transferencia de calor.

**Figura 17**

*Evaporador de aire Forzado de bajo perfil (CBP)*



Nota. La figura muestra un evaporador de aire forzado de bajo perfil comúnmente usa en supermercados. (Ciabe Industria Brasileira de Evaporadores EIRELE)

➤ **Evaporadores de inundación**

En este tipo de sistemas, el refrigerante líquido se reparte de manera homogénea sobre las bobinas del evaporador, asegurando una cobertura total y una transferencia de calor eficaz.

**Figura 18**

*Evaporador inundado de carcasa*



Nota. La figura muestra un evaporador inundado de carcasa y tubo de acero inoxidable. (H.Stars Group, s.f.), [https://es.hstarschiller.com/stainless-shell-and-tube-flooded-type-evaporator\\_p76.html](https://es.hstarschiller.com/stainless-shell-and-tube-flooded-type-evaporator_p76.html).



### ➤ **Evaporadores de placa**

Se valen de placas metálicas u otros materiales para incrementar la superficie de evaporación, lo que resulta en una mejora de la eficacia en el intercambio de calor.

**Figura 19**

*Evaporador de Placa*



Nota. (HFM industry, 2024), <https://www.directindustry.com/pt/prod/hofmann-beijing-engineering-technology-co-ltd/product-200015-2034367.html>.

### ➤ **Evaporadores de película descendente**

En este tipo de evaporadores, el refrigerante se desplaza hacia abajo a lo largo de las paredes del evaporador en una capa delgada, lo que optimiza el contacto entre el refrigerante y el aire o líquido que se está enfriando.

### ➤ **Evaporadores de carcasa y tubos**

Este tipo de evaporador consiste en tubos dentro de una carcasa, a través de los cuales circula el refrigerante. El fluido que se enfría (ya sea aire o líquido) fluye alrededor de los tubos.

**Figura 20**

*Evaporador de carcasa y tubos*



Nota. (Alfa Laval, 2024), <https://www.alfalaval.com.co/productos-y-soluciones/transferencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-tubulares/evaporador-de-carcasa-y-tubos/>.

➤ **Evaporadores de película ascendente**

A diferencia de los evaporadores de película descendente, en estos evaporadores, el refrigerante fluye hacia arriba a lo largo de las paredes del evaporador, lo que también maximiza el contacto entre el refrigerante y el medio que se está enfriando.

**2.1.3.2 Condensador**

El condensador cumple su función al recibir el vapor caliente del refrigerante procedente del compresor y permitir que circule a través de bobinas o tubos ubicados dentro del condensador. Durante este proceso, el vapor se enfría y se transforma en líquido debido a la cesión de calor al entorno circundante, ya sea aire o agua. Posteriormente, el refrigerante líquido resultante sale del condensador y se encamina hacia el siguiente componente del sistema de refrigeración, generalmente el dispositivo de expansión.

El propósito fundamental del condensador en un sistema de refrigeración es asegurar la correcta refrigeración y condensación del refrigerante, lo que posibilita que el ciclo de refrigeración continúe de manera eficaz. Un condensador que funcione adecuadamente es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de refrigeración en términos de eficiencia energética y capacidad de enfriamiento.

### ➤ **Relación entre la temperatura de descarga de un refrigerante y la temperatura del condensador en un sistema de refrigeración**

Basado en los principios fundamentales de la termodinámica y en la operación estándar de los sistemas de refrigeración, la temperatura del condensador en un sistema de refrigeración debe ser mayor que la temperatura de descarga a la que el refrigerante sale del compresor.

En un ciclo de refrigeración típico, el refrigerante se comprime y se descarga a alta presión y temperatura. Luego de que el refrigerante sale del compresor este se dirige al condensador donde cede calor al entorno circundante, es durante este proceso que la temperatura del refrigerante disminuye mientras libera calor al ambiente.

Por todo lo anteriormente mencionado, la temperatura del condensador debe ser típicamente mayor que la temperatura de descarga del refrigerante en el sistema para un funcionamiento eficiente y para garantizar que el refrigerante se condense adecuadamente.

#### **2.1.3.3 Compresor**

La función primordial del compresor en sistemas de refrigeración o aire acondicionado radica en mantener en marcha el ciclo de refrigeración, al suministrar la energía requerida para desplazar el refrigerante a través del sistema y llevar a cabo los procesos de compresión y condensación. La ausencia del compresor resultaría en un funcionamiento deficiente del ciclo de refrigeración, ya que el refrigerante no alcanzaría las condiciones adecuadas para eliminar el calor del área a enfriar. En síntesis, el compresor es indispensable para garantizar el eficiente funcionamiento de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, al facilitar la transferencia de calor desde el área a enfriar hacia el entorno exterior.

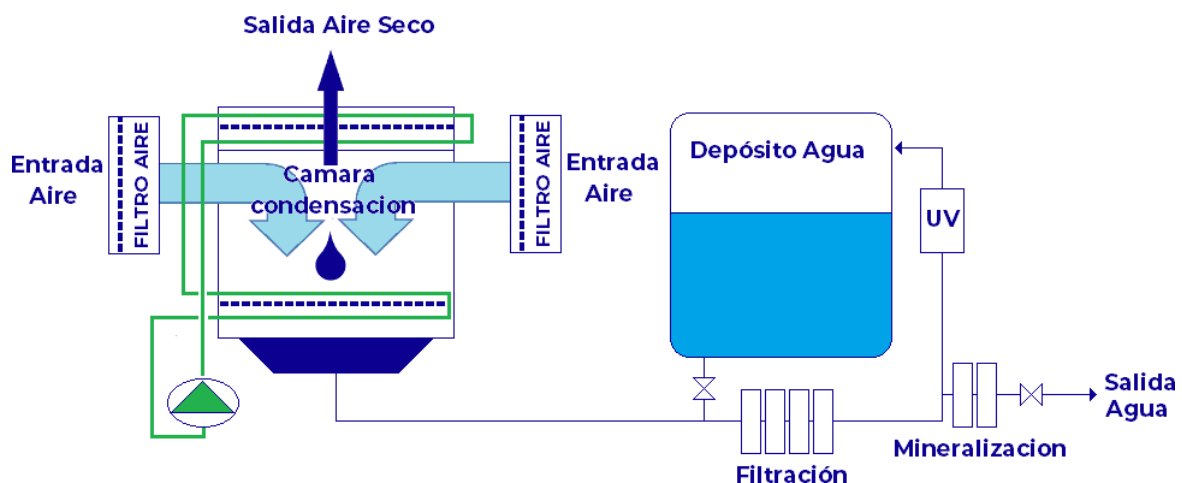
#### **2.1.4 Sistemas AWG**

Un sistema AWG (Atmospheric Water Generator, por sus siglas en inglés) es un dispositivo que extrae la humedad del aire y la convierte en agua potable. Funciona mediante la absorción de aire, su enfriamiento para condensar el vapor de agua, y luego la purificación

del agua resultante. Estos sistemas son útiles en áreas con escasez de agua, ya que producen agua potable utilizando la humedad del aire. Son sostenibles y pueden adaptarse a diferentes necesidades, desde uso doméstico hasta aplicaciones comerciales o comunitarias.

**Figura 21**

*Presentación esquemática del sistema AWG*



Nota. (Smaqua Corporation, 2024), <https://www.smaqua.es/>.

### 2.1.5 Sistema de biomasas

Un sistema de biomasa es un sistema energético que utiliza materia orgánica, como desechos agrícolas o forestales, para producir calor, electricidad o biocombustibles. Esta materia puede ser quemada directamente o convertida en combustibles líquidos o gaseosos. Los sistemas de biomasa se consideran renovables porque la materia orgánica utilizada puede regenerarse, aunque es crucial gestionarlos de manera sostenible para evitar impactos negativos en el medio ambiente y la seguridad alimentaria.

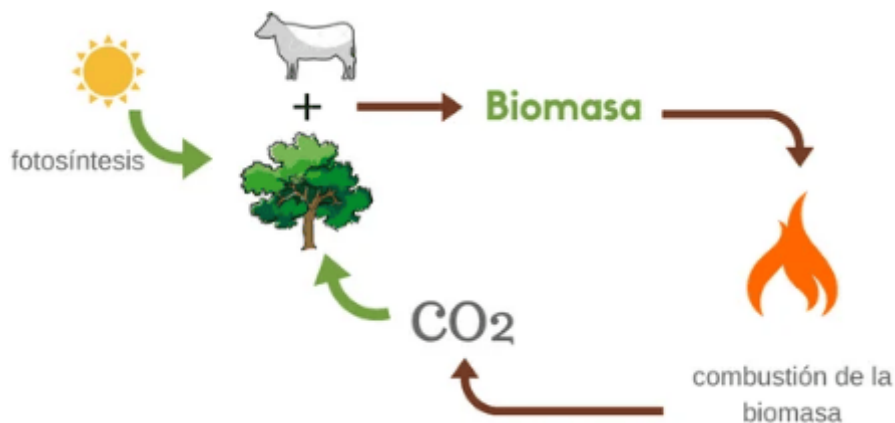
#### 2.1.5.1 Definición de biomasa

La biomasa es materia orgánica de origen vegetal o animal que puede usarse como fuente de energía. Esto incluye desde madera hasta desechos agrícolas y residuos de alimentos. Puede ser quemada directamente para producir calor o convertida en

biocombustibles como pellets de madera o biodiésel. La biomasa es renovable y su uso puede ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero, siempre y cuando se gestione de manera responsable.

## Figura 22

*Ciclo de biomasa*



Nota. (Energy Spacewell, 2023), <https://www.dexma.com/es/blog-es/biomasa-como-fuente-de-energia-eficiente/>.

### 2.1.5.2 Biogás

El biogás es un gas combustible generado por la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, conocida como digestión anaeróbica. Principalmente compuesto por metano y dióxido de carbono, junto con otros gases en menor cantidad, puede producirse naturalmente en diversos entornos o ser generado deliberadamente en plantas de biogás. Se utiliza como fuente de energía renovable para generar electricidad, calefacción, cocina y combustible para vehículos. Además, su producción reduce las emisiones de gases de efecto invernadero al capturar y convertir metano en biogás para su uso energético.

### **2.1.5.3 El biogás y su tratamiento**

#### **➤ Captura**

El biogás se recolecta de los biodigestores o sistemas de tratamiento de residuos orgánicos, donde se produce a través de la digestión anaeróbica.

#### **➤ Purificación**

El biogás puede contener impurezas como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos no deseados. Por lo tanto, se somete a procesos de purificación para eliminar estas impurezas y obtener biogás de alta calidad.

#### **➤ Compresión**

Si se va a utilizar como combustible para vehículos, el biogás puede ser comprimido para aumentar su densidad y facilitar su almacenamiento y transporte.

#### **➤ Almacenamiento**

El biogás purificado y tratado se puede almacenar en tanques o cilindros para su posterior uso.

#### **➤ Distribución**

Una vez tratado y almacenado, el biogás puede ser distribuido a los usuarios finales a través de una red de tuberías o sistemas de suministro adecuados para cada aplicación específica.

### **2.1.5.4 Digestión Anaeróbica y su aplicación**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el que la materia orgánica se descompone sin la presencia de oxígeno por la acción de microorganismos. Este proceso ocurre en un biodigestor y produce biogás, principalmente metano y dióxido de carbono, a partir de materiales como desechos agrícolas o estiércol. El biogás generado puede ser utilizado como fuente de energía en diversas aplicaciones, incluyendo la generación de electricidad, calefacción y combustible para vehículos. Además de proporcionar energía renovable, la digestión anaeróbica contribuye a la gestión sostenible de residuos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

#### **2.1.5.5 Almacenamiento y filtración del biogás**

El almacenamiento y la filtración del biogás son etapas cruciales en su tratamiento y uso efectivo.

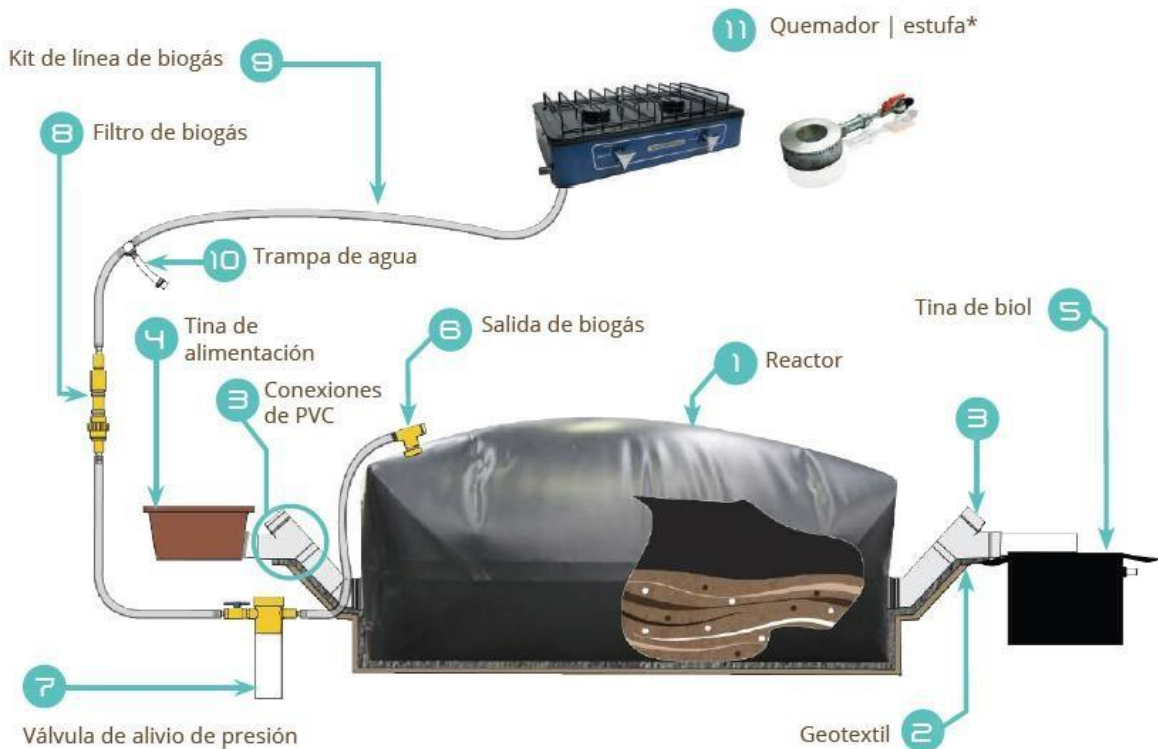
El almacenamiento del biogás implica conservarlo en tanques o cilindros adecuados, garantizando que estén sellados herméticamente y diseñados para resistir la presión generada por el gas. Además, es esencial evitar la presencia de oxígeno en estos recipientes para prevenir la oxidación de los componentes del biogás.

En cuanto a la filtración, el biogás puede contener impurezas como vapor de agua y sulfuro de hidrógeno. Por ello, se somete a procesos de filtración para eliminar estas sustancias no deseadas y obtener un biogás de calidad óptima. Este proceso se lleva a cabo mediante el uso de filtros específicos que retienen las partículas y compuestos indeseados presentes en el biogás.

Tanto el almacenamiento como la filtración son esenciales para asegurar que el biogás almacenado sea de calidad y pueda utilizarse de manera eficiente en diversas aplicaciones energéticas.

**Figura 23**

*Esquema de un sistema de biobolsa*



Nota. (Sistema Bio, 2024), [https://sistema.bio/wp-content/uploads/1907\\_MEXICO\\_CATALOGO\\_compressed.pdf](https://sistema.bio/wp-content/uploads/1907_MEXICO_CATALOGO_compressed.pdf)

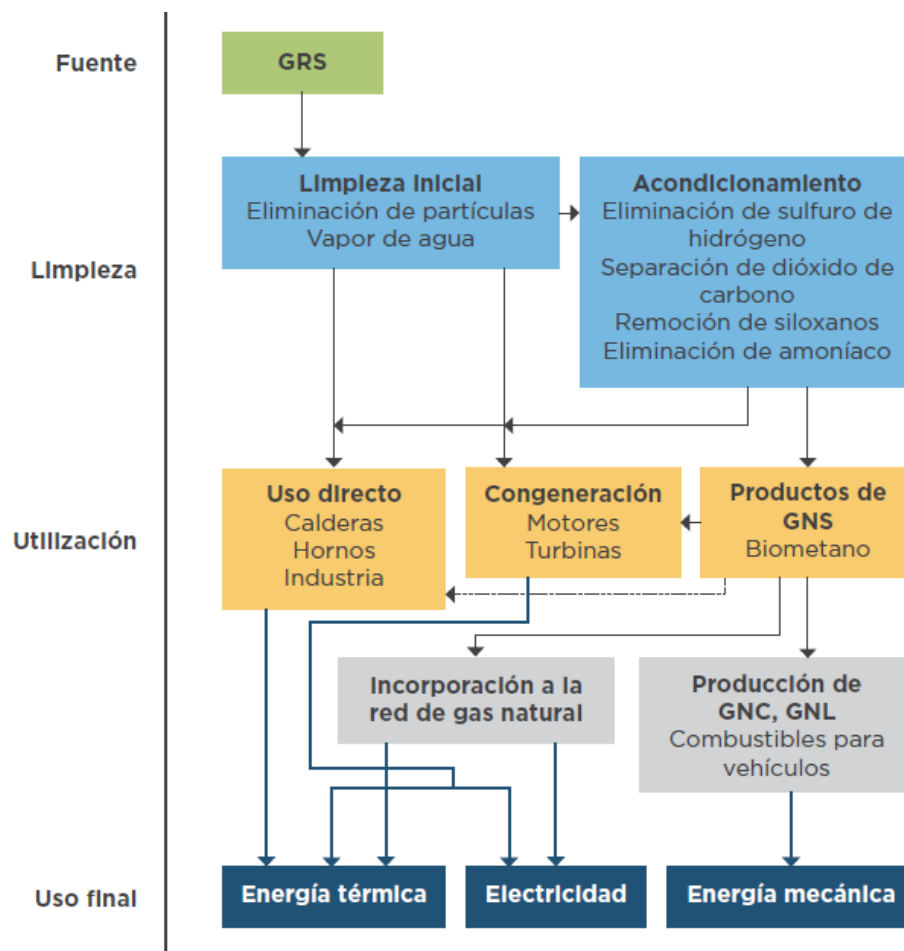
#### **2.1.5.6 Generación de energía**

La generación de energía mediante biogás implica usarlo como combustible para producir electricidad, calor o ambos. Este proceso implica quemar el biogás en motores o turbinas para mover generadores eléctricos y generar electricidad, así como también puede emplearse directamente en calderas o estufas para producir calor. Este enfoque aprovecha una fuente de energía renovable y sostenible, reduce la dependencia de los combustibles fósiles y contribuye a la gestión sostenible de residuos orgánicos.



**Figura 24**

*Tratamiento y uso de biogás*



Nota. (Banco Interamericano de desarrollo, 2017),

<https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Generaci%C3%B3n-de-electricidad-a-partir-de-biog%C3%A1s-capturado-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-Un-an%C3%A1lisis-te%C3%B3rico-pr%C3%A1ctico.pdf>

**Figura 25**

*Motor reciprocante de combustión interna modelo GE Jenbacher Type 2*



Nota. Sistemas más utilizados por su alta eficiencia y bajos costos. (Banco Interamericano de desarrollo, 2017),

<https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Generaci%C3%B3n-de-electricidad-a-partir-de-biog%C3%A1s-capturado-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-Un-an%C3%A1lisis-te%C3%B3rico-pr%C3%A1ctico.pdf>.

#### **2.1.5.7 Tipos de biodigestores**

Existen varios tipos de biodigestores, cada uno diseñado para diferentes aplicaciones y condiciones específicas. La elección del tipo de biodigestor depende de factores como el tipo de material orgánico disponible, el tamaño del sistema, la disponibilidad de recursos y el uso previsto del biogás generado.

Algunos de los tipos más comunes se muestran a continuación.

#### **2.1.5.8 Biodigestores de flujo continuo**

Estos sistemas aseguran un flujo constante de materia orgánica dentro del biodigestor, lo que garantiza una producción ininterrumpida de biogás. Son idóneos para entornos comerciales y comunitarios que requieren un suministro constante de biogás.

**Figura 26**

*Biodigestor de flujo continuo*



Nota. (Castillos, 2011),

<https://biodigestoresflujocontinuoouruguay.blogspot.com/2011/08/experiencias-de-construccion-y.html>.

#### **2.1.5.9 Biodigestores de lote o por lotes**

En este tipo de sistemas, una cantidad fija de material orgánico se introduce en el biodigestor y se deja fermentar durante un tiempo determinado antes de vaciarlo y volver a cargarlo. Son adecuados para aplicaciones más pequeñas, como granjas o uso doméstico.

#### **2.1.5.10 Biodigestores de flujo ascendente (UASB)**

Estos biodigestores utilizan un diseño de flujo ascendente para tratar aguas residuales y producir biogás. Son altamente efectivos en la eliminación de contaminantes y se emplean comúnmente en plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Figura 27**

*Reactor anaeróbico de flujo ascendente*



Nota. (Hernandez Alarcon, 2020), <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/reactor-anaerobio-de-flujo-ascendente>.

#### **2.1.5.11 Biodigestores de membrana o tipo globo**

Utilizan membranas para separar el biogás del digestor, permitiendo una producción continua de biogás y una recolección fácil. Son especialmente útiles en aplicaciones de menor escala y en áreas con limitaciones de espacio.

#### **2.1.5.12 Biodigestores de lecho fijo**

En estos sistemas, el material orgánico se coloca en un lecho estático dentro del biodigestor, donde es descompuesto por microorganismos. Son apropiados para materiales fibrosos o difíciles de descomponer.

### **2.2 Marco conceptual: Definición de términos y conceptos**

- a) **Biogás:** Es una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) generada por la descomposición anaeróbica de materia orgánica (residuos agrícolas, residuos orgánicos, estiércol, entre otros). Se propone como fuente de energía

renovable para alimentar el sistema de generación de agua atmosférica (AWG), lo que reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables y promueve la sostenibilidad energética en zonas rurales.

- b) **Biodigestor:** Sistema cerrado donde se lleva a cabo la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos. Esencial para generar el biogás necesario para alimentar los sistemas AWG.
- c) **Sistema generador de agua atmosférica (AWG):** Sistema que permite la captura del vapor agua atmosférica para su transformación a fase líquida. Pueden proporcionar agua en zonas rurales con escasez de recursos hídricos convencionales, lo que es fundamental para el riego agrícola.
- d) **Energías renovables:** Fuentes de energía que se regeneran de manera natural y son inagotables a escala humana. El uso de biogás como fuente de energía renovable para alimentar los sistemas AWG ayuda a reducir la dependencia de combustibles fósiles y contribuye a la sostenibilidad ambiental en comunidades rurales.
- e) **Sostenibilidad:** Capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Este proyecto se centra en la sostenibilidad al ofrecer soluciones ecológicas (biogás y AWG) que no solo mejoran el acceso al agua, sino que también promueven la gestión de residuos y el uso responsable de los recursos.
- f) **Rentabilidad:** Capacidad de un proyecto de ser viable y sostenible desde el punto de vista financiero a largo plazo. El análisis económico del sistema AWG alimentado por biogás es crucial para determinar si la inversión inicial, los costos operativos y los beneficios obtenidos son suficientes para garantizar su implementación y mantenimiento a largo plazo.
- g) **Desarrollo rural:** Mejora de las condiciones de vida y bienestar de las comunidades rurales, abarcando aspectos económicos, sociales y ambientales. Al mejorar el

acceso al agua para riego, la producción agrícola y la sostenibilidad energética, este proyecto contribuye directamente al desarrollo rural de las comunidades

## **CAPITULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Estado del Arte**

##### **3.1.1 Contexto**

El suministro confiable de agua potable sigue siendo un desafío importante en muchas comunidades, especialmente en áreas rurales y periurbanas, a pesar del rápido avance tecnológico en la infraestructura de ciudades como Lima. La carencia de sistemas seguros y sostenibles de suministro de agua afecta negativamente la calidad de vida de numerosos individuos, representando un obstáculo para el progreso social, económico y medioambiental en estas áreas.

En este contexto, surge como una solución innovadora y prometedora el desarrollo de un sistema que utilice energías renovables, como el biogás, para generar agua atmosférica y abastecer así el regadío de cultivos en las zonas rurales de Lima. No obstante, su implementación exitosa implica enfrentar una serie de desafíos técnicos, económicos, sociales y medioambientales, los cuales serán abordados en detalle a lo largo de esta investigación.

##### **3.1.2 Tecnologías existentes**

En la época actual, diversas compañías producen dispositivos de Generación de Agua Atmosférica (AWG) destinados a generar agua potable utilizando la humedad presente en el aire. Algunas de las empresas líderes en esta área son:

###### **3.1.2.1 Compañía Watergen**

Esta empresa es reconocida como una destacada compañía en el ámbito de la tecnología de Generación de Agua Atmosférica (AWG), ofreciendo una amplia selección de productos. Su modelo principal, el "GEN-M", se destaca por ser un generador de agua compacto y versátil, diseñado para servir en entornos domésticos, comerciales e industriales.

## Figura 28

*Generador de agua atmosférica de media escala*



Nota. La figura muestra al equipo generador de agua modelo GEN-M. (Watergen Corporation, 2020), <https://grace-latam.com/wp-content/uploads/2020/03/GEN-M.pdf>.

### 3.1.2.2 Compañía Skywater

Empresa líder en el campo de los sistemas de AWG, ofreciendo una variedad de modelos para diferentes usos, desde unidades residenciales hasta industriales.

## Figura 29

*Generador Modelo Skywater 300*



Nota. La figura muestra el modelo Skywater 300 capaz de generar 300L/ día de agua potable. (Skywater Corporation, 2024), <https://islandsky.com/>.



### 3.1.2.3 Compañía EcoloBlue

Esta empresa se especializa en sistemas de AWG para aplicaciones residenciales y comerciales. Su modelo más popular, el "EB30", es adecuado para hogares y pequeñas empresas, ya que puede generar hasta 30 litros de agua potable diariamente.

#### Figura 30

*Generador de agua modelo EB30*



Nota. (Skywater Corporation, 2024), <https://islandsky.com/products/>.

### 3.1.2.4 Compañía Atlantis Solar

Esta empresa es conocida por fabricar sistemas de AWG que funcionan con energía solar, proporcionando una solución sostenible para áreas remotas o sin acceso a fuentes de agua convencionales.

### 3.1.2.5 Compañía Air2Water

La empresa ofrece una amplia gama de sistemas de AWG para diversas aplicaciones, desde residenciales hasta industriales. Sus modelos más destacados incluyen el "A2W1000" y el "A2W5000", capaces de producir hasta 1000 y 5000 litros de agua potable al día, respectivamente.

### **Figura 31**

*Generador de agua modelo A2W1000*



Nota. (AirWater Corporation, 2024), <https://water-memoryconsciousness.blogspot.com/p/atmospheric-water-generator.html>.

#### **3.1.2.6 Compañía NEWECO**

Es una empresa que se dedica a la fabricación de equipos de automatización industrial. Sus productos están diseñados para apoyar los procesos de fabricación en diversas industrias, como materiales de construcción, cosméticos, productos químicos, productos farmacéuticos y procesamiento de alimentos. Sus soluciones buscan automatizar los procesos y reducir los costos de fabricación. Todos sus equipos son diseñados y fabricados en Polonia, dentro de la Unión Europea. El modelo más destacado en tecnología AWG es AQ250U NEWECO – ACUAIR 250 UNIVERSAL.

**Figura 32**

*Generador de agua modelo AQ250U NEWECO*



Nota. (NEWECO Corporation, 2024), <https://www.neweco.biz/es/>.

### **3.1.3 Brechas y áreas de oportunidad**

La presente investigación representa una ventana de oportunidades a largo plazo para el desarrollo sostenible. A continuación, se mostrarán las principales brechas y áreas de oportunidad del proyecto.

**Escasez de agua potable en zonas rurales y periurbanas:** A pesar del crecimiento urbano acelerado y las mejoras en la infraestructura de Lima, el acceso confiable al agua potable continúa siendo un desafío en muchas comunidades. Esta situación evidencia una brecha en la disponibilidad de sistemas de suministro de agua seguros y sostenibles en estas áreas, lo que presenta una oportunidad para investigar y proponer soluciones innovadoras.

**Desafíos técnicos, económicos, sociales y ambientales:** Aunque la concepción de un sistema generador de agua atmosférica que emplee energías renovables como el biogás podría ofrecer una solución novedosa a la escasez de agua, su implementación exitosa

implica abordar una serie de desafíos técnicos, económicos, sociales y ambientales. Identificar y analizar estos desafíos en profundidad podría establecer una base sólida para la investigación y contribuir al desarrollo de estrategias efectivas para superarlos.

**Dependencia de combustibles fósiles y presiones ambientales:** La dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía y la extracción de agua ha ocasionado presiones ambientales significativas, como la contaminación del aire y del agua, y la emisión de gases de efecto invernadero. Esto resalta la necesidad de buscar alternativas sostenibles y eficientes para el suministro de agua, lo que podría constituir una oportunidad para investigar y desarrollar sistemas que aprovechen fuentes de energía renovable, como el biogás.

### **3.2 Metodologías utilizadas en la investigación**

Dada la complejidad de la problemática planteada, se abordará una metodología mixta que combine el enfoque cualitativo y cuantitativo de la investigación, lo que permitirá obtener una comprensión profunda y holística de la situación.

#### **3.2.1 Estudio de mercado**

Esta etapa de la investigación nos permitirá explorar en detalle las percepciones, experiencias y opiniones de las comunidades afectadas por la falta de acceso al agua. Por medio de una breve encuesta en Google Forms conoceremos mejor las necesidades y como debemos abordar nuestra solución de ingeniería.

##### **3.2.1.1 Resultados del estudio de mercado**

El cuestionario fue aplicado a un total de 30 participantes en el distrito de Comas (Ver **Anexo N°22**) en relación a las necesidades que tienen respecto al consumo de agua, el 50 % afirmaron no conocer la tecnología AWG. Por otro lado, un 60 % cuentan con un servicio de agua potable bien implementado y un pequeño grupo de 37.5 % (zonas más elevadas del distrito) todavía tiene dificultades para acceder a este recurso. Además, más del 60% están

conformados por familias de entre 2 a 6 personas por hogar y más del 70% cuentan con tanques para almacenamiento de agua.

### **3.2.1.2 Conclusiones del estudio de mercado**

En general el estudio nos demuestra que el servicio de agua potable está en su mayoría bien implementado en el distrito de Comas y el enfoque de aplicación estaría destinado a regadío en lugar de consumo humano. Además, existe un desconocimiento en la tecnología generadora de agua atmosférica y las ventajas que esta genera al combinarlo con energías renovables como la biomasa para su generación. El promedio de personas por familia es de cinco y según un artículo de la universidad de Guadalajara “Una persona necesita **100 litros** de agua al día para satisfacer sus necesidades de consumo e higiene” (La Gaceta - Universidad de Guadalajara, 2022) . Por tanto, el equipo necesitará un promedio de **500 litros** por día para cubrir la demanda y ya más del 70% cuentan con tanques que podrían ser utilizar para la instalación y ahorro de recursos.

### **3.2.2 Estudio de impacto ambiental**

Para el análisis del impacto ambiental se empleará la Matriz de Leopold (Ver **Anexo N°23** y **Anexo N°24**), una herramienta diseñada para evaluar los impactos ambientales, ya sean positivos o negativos. Esta evaluación se realizará considerando factores como la magnitud, importancia, extensión, duración y reversibilidad de los impactos en las etapas de construcción, operación y cierre del proyecto.

**Tabla 1***Lista de factores y acciones en la matriz de Leopold*

Factores	Acciones
Ruidos y vibraciones	Calidad de agua
Alimentos	Clima
Almacenamiento de productos	Temperatura del aire
Reciclaje de residuos	Calidad del aire
Eliminación de basura	Precipitaciones
	Salud y seguridad

Nota. Elaboración propia

**Tabla 2***Plan de mitigación*

Problema		Control de Mitigación
Como influye la eliminación de basura producto del mantenimiento del equipo en la temperatura de la atmosfera.	-4	Los refrigerantes del equipo serán cambiados considerando todas las medidas de seguridad. Se está siguiendo los criterios de seguridad como PAO y PCG (Ver <b>Anexos N°7 y 8</b> ).
Como se ven afectados las personas por el ruido y vibraciones del equipo.	-8	Usar una fuente de energía que genere ruido dentro un rango aceptable según (Guia Tecnica de VST expuestos a ruido, 2024) menor a 60 dB (Ver <b>Anexo N°25</b> ).
Como se ven afectados los puestos de trabajo producto de la eliminación de basura del sistema.	-4	El proyecto está enfocado en zonas poco comerciales, la correcta implementación del Biodigestor aportará a eliminar los residuos de animales de manera óptima.

Nota. La tabla muestra el plan de mitigación a los resultados mostrados en los **Anexos N°23** y **Anexo N°24**.

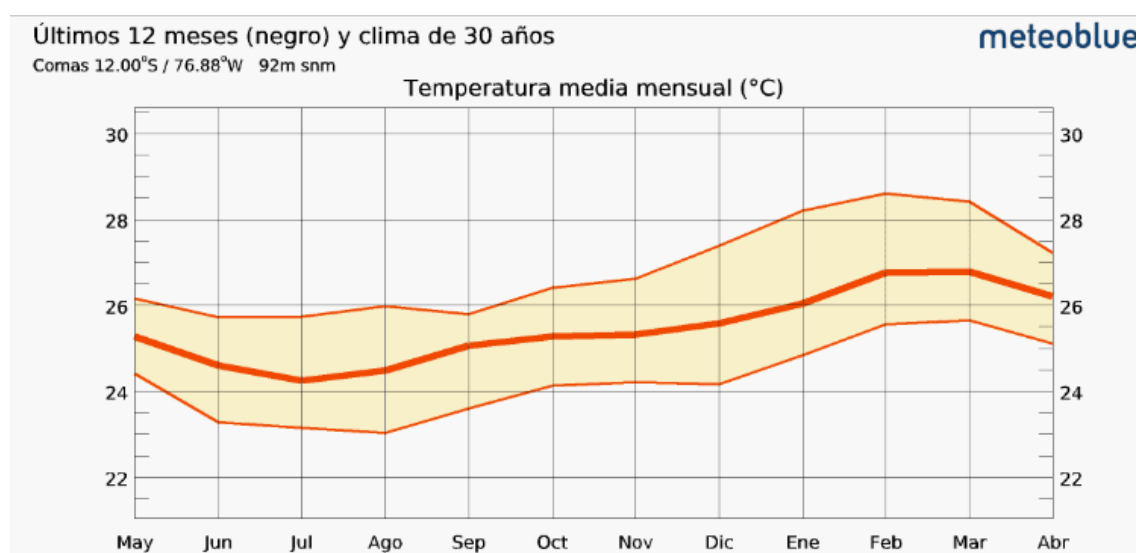
### 3.2.3 Información del lugar de estudio

En el departamento de Lima, los factores de temperatura y humedad pueden variar notoriamente dependiendo de la estación del año y ubicación. Esta investigación está enfocada en las zonas rurales de Lima.

La información meteorológica fue obtenida de (Meteoblue Company, 2024) una fuente local que nos apoyara con los datos climáticos en complemento con la inteligencia artificial Chat GPT (OpenAI company, 2024). A continuación, te presento un resumen de la variación típica de estos factores climáticos.

#### Figura 33

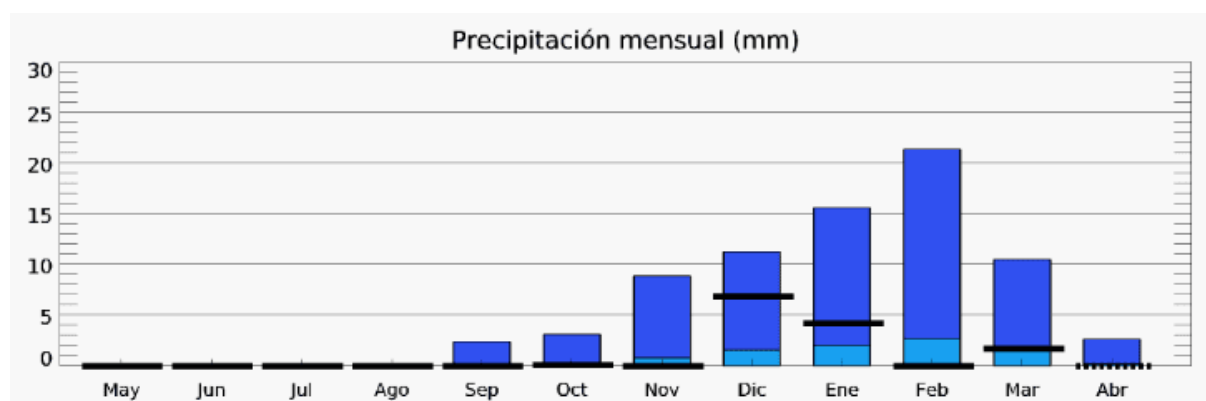
*Temperatura media en Lima en los últimos 12 meses*



Nota. La figura muestra los cambios de tiempo en los últimos doce meses. (Meteoblue Company, 2024), [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/el-callao\\_per%C3%BA\\_3946083](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/el-callao_per%C3%BA_3946083).

**Figura 34**

*Precipitaciones mensuales*



Nota. La figura muestra los cambios de tiempo en abril del 2024. (Meteoblue Company, 2024), [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/el-callao\\_per%C3%BA\\_3946083](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/el-callao_per%C3%BA_3946083).

### **3.2.3.1 Valores promedios anuales de temperatura y humedad**

Según (Meteoblue Company, 2024), en el distrito de Comas, ubicado en Lima, Perú, los niveles anuales de temperatura y humedad pueden variar ligeramente en comparación con los promedios de toda la ciudad debido a factores locales. En general, se estima que la temperatura anual oscila entre los 17 y 21 grados Celsius, mientras que la humedad relativa anual ronda aproximadamente el 70-75%.

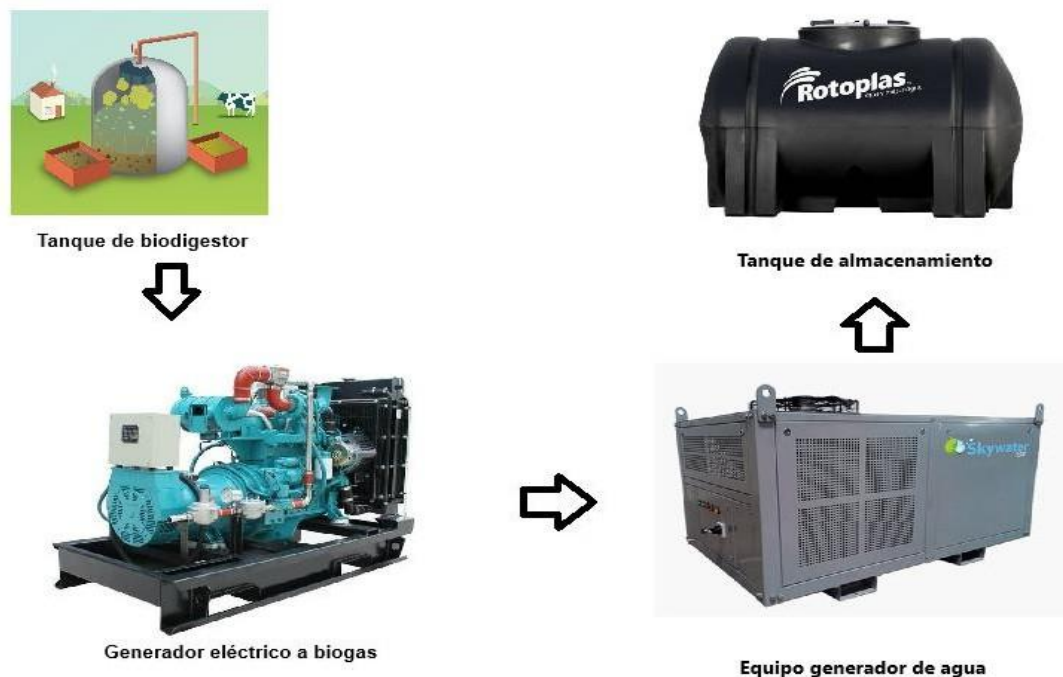
### **3.2.4 Diseño conceptual del proyecto**

El proyecto busca utilizar las energías renovables de biomasa, considerando que muchas de estas zonas se dedican a la crianza de animales de granja, como fuente de energía para abastecer de agua a las zonas rurales de Lima a través de una solución novedosa y ecológica.



**Figura 35**

*Bosquejo del proyecto de Tesis*



Nota. Elaboración propia

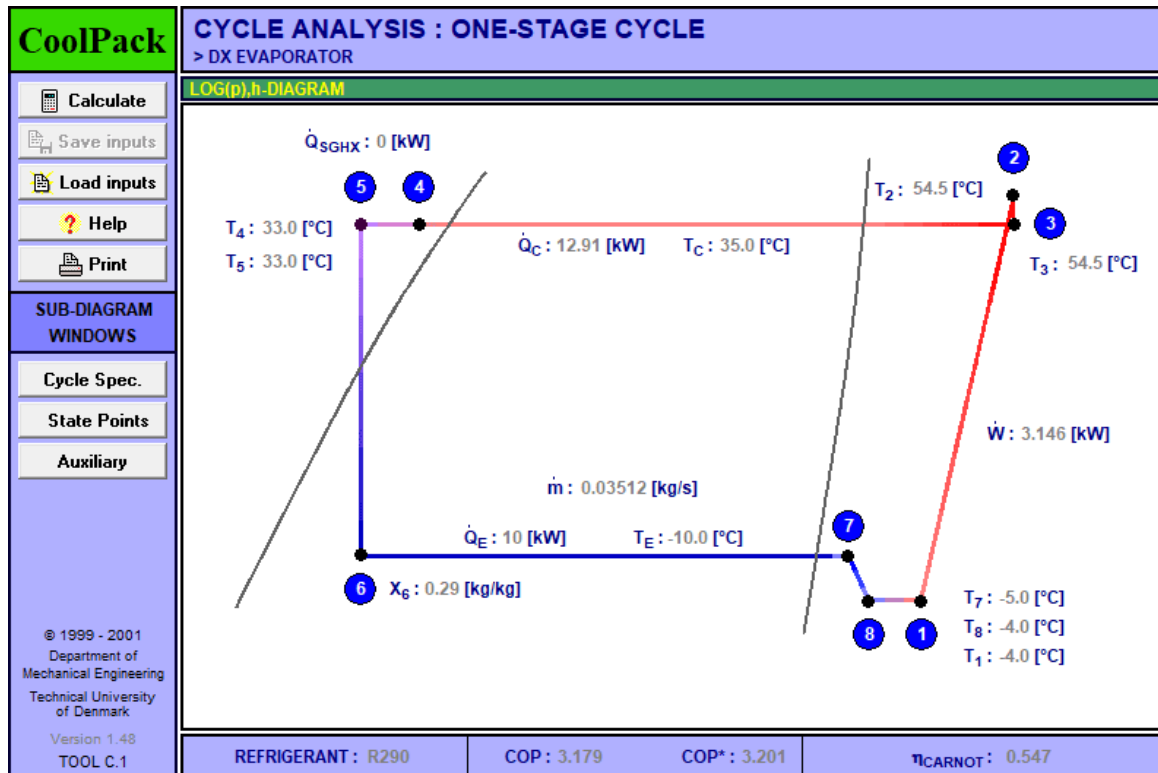
Para la investigación nos ayudaremos con algunas herramientas digitales para el análisis de los procesos termodinámicos, su optimización de temperaturas y el montaje mecánico.

#### **3.2.4.1 Coolpack**

Este programa es una herramienta de simulación y diseño termodinámico dirigida principalmente a la industria de la refrigeración y aire acondicionado. Los ingenieros y diseñadores utilizan este programa para analizar y diseñar diversos sistemas de refrigeración, como compresión de vapor, absorción y otros ciclos de refrigeración. Proporciona herramientas para simular el rendimiento de componentes clave, como compresores y evaporadores, permitiendo a los usuarios modelar el comportamiento térmico de los sistemas en diferentes condiciones de funcionamiento. Esto ayuda a optimizar el diseño y mejorar la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

**Figura 36**

*Ventana interactiva del Software Coolpack*



Nota. Elaboración propia

### 3.2.4.2 MATLAB

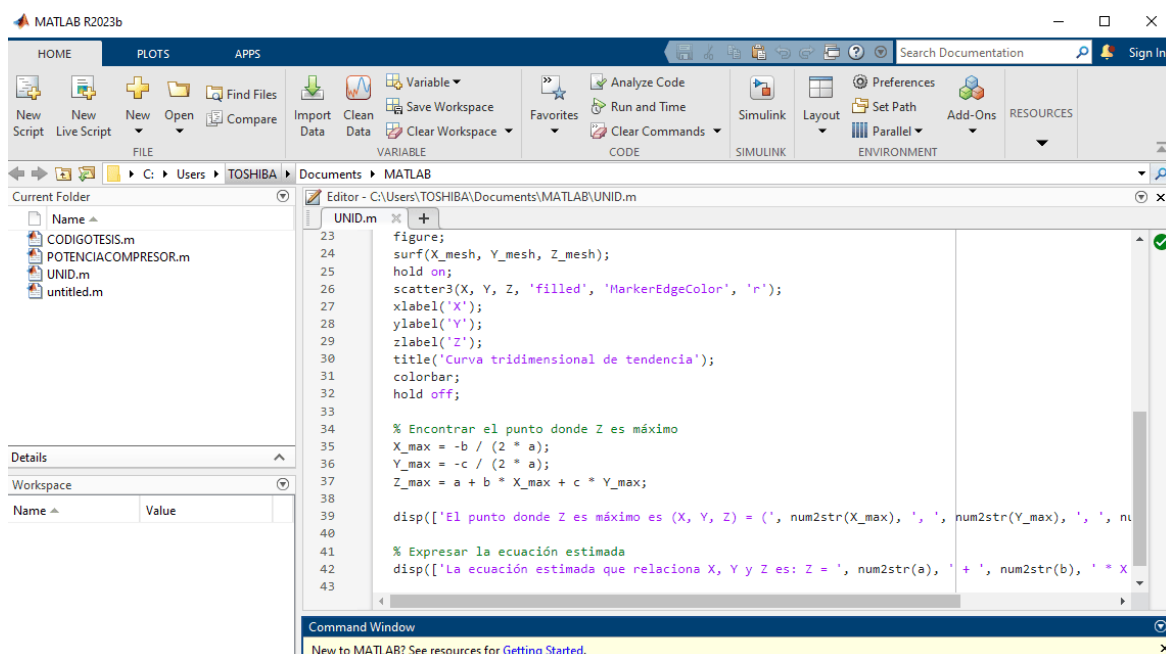
MATLAB es un software de programación ampliamente utilizado en campos como la ingeniería, ciencias físicas y finanzas para realizar análisis numéricos, cálculos matemáticos y visualización de datos.

MATLAB ofrece eficientes funciones para el análisis y procesamiento de datos, incluyendo operaciones matriciales, estadísticas, interpolación y filtrado. En el ámbito del modelado y simulación, se utiliza para representar sistemas complejos mediante ecuaciones diferenciales y lineales, así como para simular sistemas dinámicos. Además, en el desarrollo de algoritmos y programación, MATLAB permite a los usuarios crear scripts y algoritmos personalizados con una sintaxis similar a otros lenguajes de programación. Por último, en la visualización de datos, proporciona herramientas interactivas y personalizables para crear gráficos, facilitando la comprensión y comunicación de resultados.

En nuestra investigación, emplearemos el programa **MATLAB R2023b** para optimizar las temperaturas del evaporador y el condensador, con el objetivo de maximizar la eficiencia del compresor. Los resultados obtenidos de este análisis nos permitirán estimar la cantidad de energía requerida para el funcionamiento del equipo AWG a partir del biodigestor.

**Figura 37**

*Interfase interactiva del Software MATLAB R2023b*



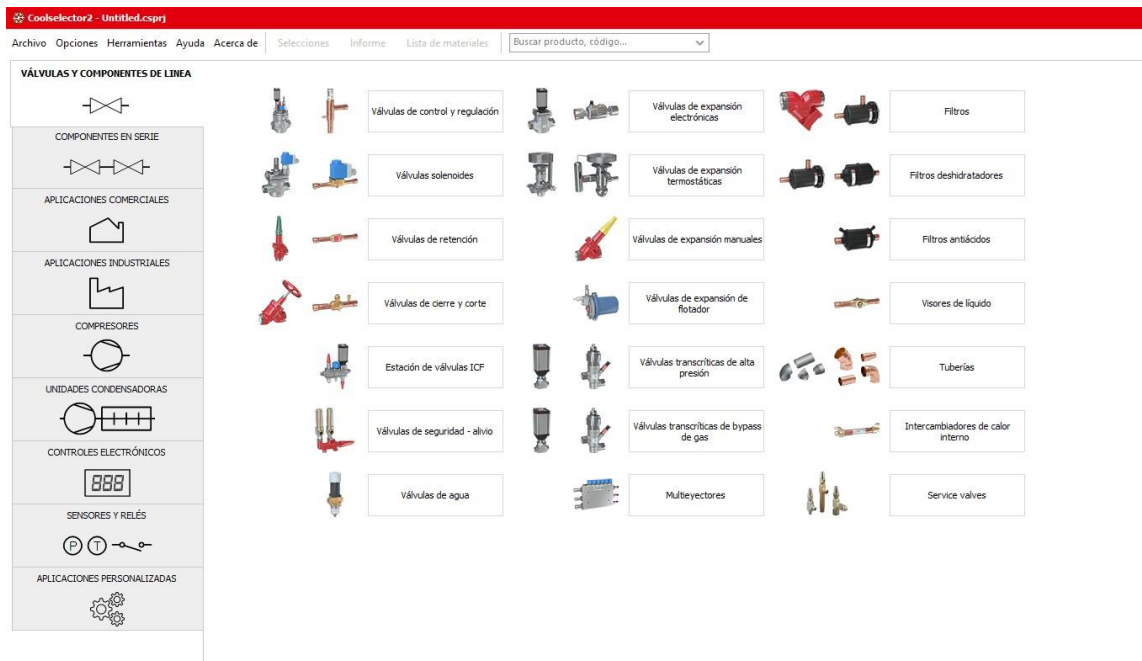
Nota. Elaboración propia.

### 3.2.4.3 Coolselector2 (software de selección de equipos de refrigeración)

Es un software desarrollado por la empresa Danfoss y es de gran ayuda para optimizar el consumo de energía y aumentar la eficiencia en cualquier sistema HVACR. Su sistema permite realizar cálculos termodinámicos basado en los parámetros de las condiciones de funcionamiento para seleccionar la mejor opción de los componentes de diseño.

**Figura 38**

### *Interfase del programa CoolSelector2*



Nota. Elaboración propia

#### **3.2.4.4 Autodesk Inventor**

Autodesk Inventor es un software de diseño CAD 3D que es especialmente útil para proyectos de ingeniería mecánica y diseño de ensamblajes.

#### **3.2.5 Simulación y montaje del Sistema AWG**

En esta etapa de la investigación analizaremos las características técnicas y de fabricación de nuestro equipo.

##### **3.2.5.1 Selección del refrigerante**

La elección del refrigerante que se usara en el ciclo es crítica para alcanzar el óptimo rendimiento de los equipos. Para la selección de refrigerante se tienen que tener en consideración propiedades ambientales y de seguridad.

- Potencial agotador de ozono (PAO)
- Potencial de Calentamiento Global (GWP)
- Coeficiente de desempeño (COP)

- Factor de Bypass que se calcula de la siguiente forma:

$$FB = \frac{T_2 - T''_2}{T_1 - T''_2} = \frac{X_2 - X''_2}{X_1 - X''_2} = \frac{h_2 - h''_2}{h_1 - h''_2}$$

- $\dot{m}_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}(h_1 - h_2)}{x_1(1 - FB)}$

- $\dot{m}_{agua} = 0.00579 \text{ kg/s}$

- Grupo de seguridad

### 3.2.5.2 Consideraciones preliminares del Ciclo

Se va tomar en consideración los siguientes valores iniciales para la investigación.

**Tabla 3**

*Consideraciones iniciales del proyecto*

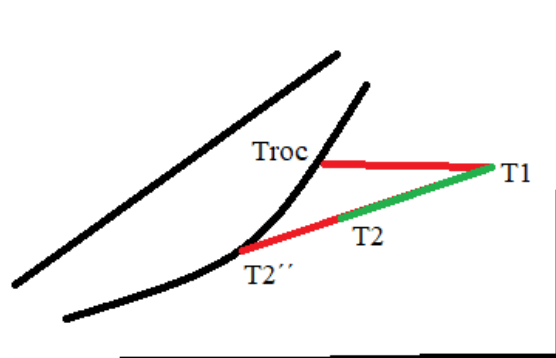
Condiciones Iniciales	Cantidad	Unidad
Temperatura de condensación	19	°C
Temperatura de evaporación	0	°C
Sobrecalentamiento	5	°C
Subenfriamiento	2	°C
Sobrecalentamiento útil	1	°C
Rendimiento Volumétrico	1	
Rendimiento Isoentrópico	0.7	
Agua obtenida (Kg/s), 500L/día	0.00579	
Temperatura ambiente	28	°C
Humedad relativa	70	%

Nota. La tabla muestra las consideraciones termodinámicas y la cantidad de agua que se desea obtener.

Para calcular la cantidad de agua producida haremos uso del factor de Bypass que para nuestro caso de estudio consideraremos como  $FB=0.25$  (Ver **Anexo N°26**).

**Figura 39**

*Deshumidificación por enfriamiento*



Nota. Elaboración propia

Para la simulación las condiciones ambientales deben ser las más desfavorables posibles, la temperatura promedio más elevada es de 28°C a una humedad relativa de 70%.

**Tabla 4**

*Propiedades termodinámicas para un factor de Bypass de 0.25*

Propiedades	T1	T2'(batería)	T2
Temperaturas(°C)	28	1.5	8.125
Humedad relativa (%)	70	100	109
Entalpia (KJ/Kg)	70.7691	12.0656	26.7415
X (Kg agua/Kg aire)	0.01667	0.00421	0.007325

Nota. Elaboración propia

Luego de obtener las propiedades del punto T2, esta temperatura nos da un estimado de la temperatura que debe tener el condensador que para este caso le daremos 10°C de variación. Entonces la temperatura del condensador será aproximadamente **19°C** que en contraste con la temperatura del evaporador a 0°C nos dan los límites de trabajo para la selección del refrigerante optimo. Para el cálculo de del Calor en el evaporador haremos uso de la siguiente ecuación basado en el trabajo previo de (Rodríguez Pajarón, 2016).

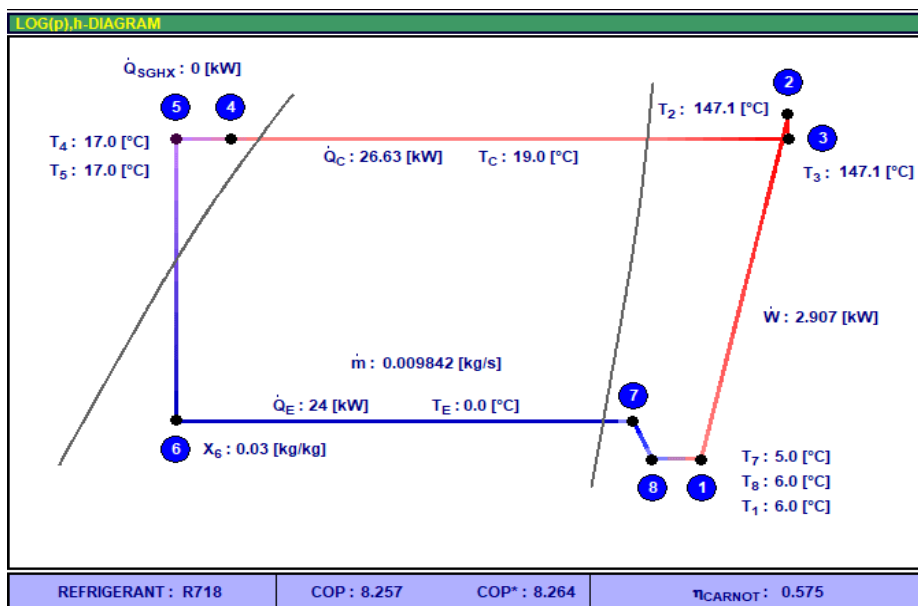
$$Q_{ev} = \frac{\dot{m}_{agua}(h_1 - h_2)}{x1(1 - FB)}$$

Si remplazamos los valores obtenidos en la Tabla N°4 para la ecuación antes mencionada y el valor que se desea obtener de agua ( $\dot{m}_{agua}=0.00579$  Kg/s) obtenemos el valor de Calor en el evaporador para el ciclo de trabajo en **20.38 KW**. Que representa el valor mínimo de potencia en el evaporador para producir **500L/día** de agua, consideraremos un valor adicional hasta 24 KW para nuestra simulación.

Ahora se procederá a realizar la simulación del ciclo con ayuda del programa Coolpack considerando diferentes refrigerantes seleccionados R718, R404A, R407C, R410A, R600a y R134a.

**Figura 40**

Ciclo de compresión para el R718



Nota. Elaboración propia

**Figura 41**

*Resultados de la simulación para el R718*

CYCLE SPECIFICATION					
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER	REFRIGERANT
$T_E$ [°C]:	0.0	$\Delta T_{SH}$ [K]:	5	$\Delta p_{SL}$ [K]:	0.5
$T_C$ [°C]:	19.0	$\Delta T_{SC}$ [K]:	2	$\Delta p_{DL}$ [K]:	0.5
				No SGHX	0.30
					R718
CYCLE CAPACITY					
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	24	$\dot{Q}_E$ : 24 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 26.63 [kW]	$\dot{m}$ : 0.009842 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 7780.36 [m³/h]
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency $\eta_{is}$ [-]	0.7	$\eta_{is}$ : 0.700 [-]	$\dot{W}$ : 2.907 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor $f_Q$ [%]	10	$f_Q$ : 10.0 [%]	$T_2$ : 147.1 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0.2907 [kW]	
SUCTION LINE					
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1.0	$\dot{Q}_{SL}$ : 19 [W]	$T_8$ : 6.0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 1.0 [K]	

Nota. Elaboración propia

**Figura 42**

*Resultados auxiliares para la simulación con R718*

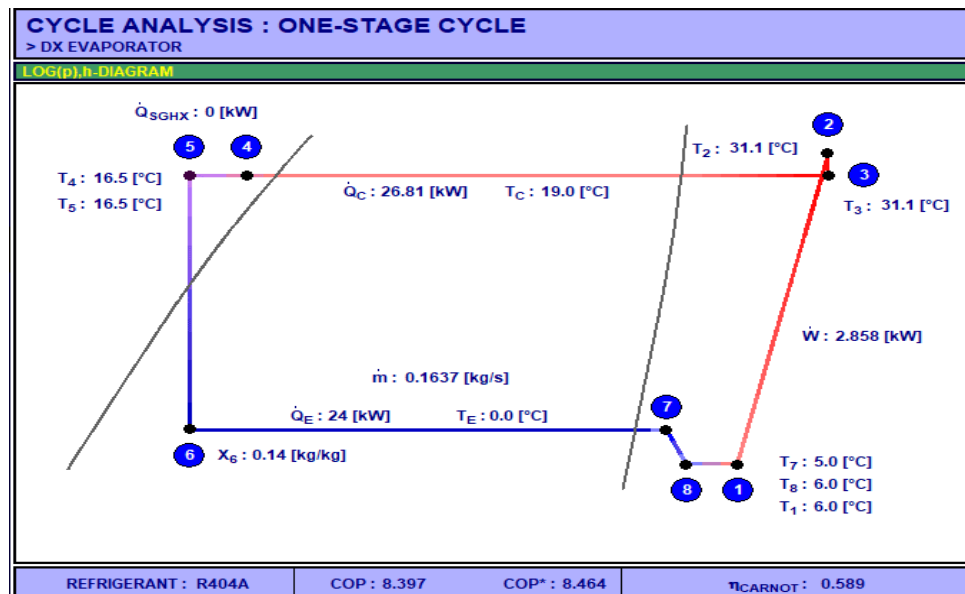
AUXILIARY				
VOLUMETRIC EFFICIENCY				
Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]	0.8	$\eta_{VOL}$ : 0.800 [-]	$\dot{V}_S$ : 7780.36 [m³/h]	$\dot{V}_D$ : 9725 [m³/h]
$\dot{V}_S$ can be chosen as input in the cycle specification window.				
UTILIZATION OF DISCHARGE GAS SUPERHEAT FOR HEATING OF WATER				
Temperature increase $\Delta T_{WATER}$ [K]	20	$\Delta T_{WATER}$ : 20 [K]	$\dot{V}_{WATER}$ : 0.1026 [m³/h]	$\dot{Q}_{DSH}$ : 2.384 [kW]
		$T_{DL,OUT}$ : 147.1 [°C]	$T_C$ : 19.0 [°C]	
Water in the desuperheating heat exchanger can only be heated to discharge temperature $T_{DL,OUT}$ . $\dot{Q}_C$ in the main diagram window includes both the heat load for both desuperheating and condensing of the refrigerant.				
ENERGY CONSUMPTION				
Hours of operation [h]:	8760	Energy consumption : 25461 [kWh]		
PIPE DIMENSIONS				
PIPE SECTION	VELOCITY [m/s]	PIPE DIAMETER (Internal) [mm]	Condition corresponds to	
Suction line	10.0	524.6	State Point #1	
Discharge line	12.0	298.9	State Point #2	
Liquid line	0.6	4.6	State Point #5	

Nota. Elaboración propia



**Figura 43**

*Ciclo de compresión para el R404A*



Nota. Elaboración propia

**Figura 44**

*Resultados de la simulación para el R404A*

CYCLE SPECIFICATION				
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		REFRIGERANT
$T_E$ [°C]:	0.0	$\Delta p_{SL}$ [K]:	0.5	R404A
$T_C$ [°C]:	19.0	$\Delta p_{DL}$ [K]:	0.5	
$\Delta T_{SH}$ [K]:	5			
$\Delta T_{SC}$ [K]:	2			
CYCLE CAPACITY				
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	24	$\dot{Q}_E$ : 24 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 26.81 [kW]	$\dot{m}$ : 0.1637 [kg/s]
				$\dot{V}_S$ : 20.43 [m <sup>3</sup> /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE				
Isentropic efficiency $\eta_{is}$ [-]	0.7	$\eta_{is}$ : 0.700 [-]	$\dot{W}$ : 2.858 [kW]	
COMPRESSOR HEAT LOSS				
Heat loss factor $f_Q$ [%]	10	$f_Q$ : 10.0 [%]	$T_2$ : 31.1 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0.2858 [kW]
SUCTION LINE				
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1.0	$\dot{Q}_{SL}$ : 192 [W]	$T_8$ : 6.0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 1.0 [K]

Nota. Elaboración propia

**Figura 45**

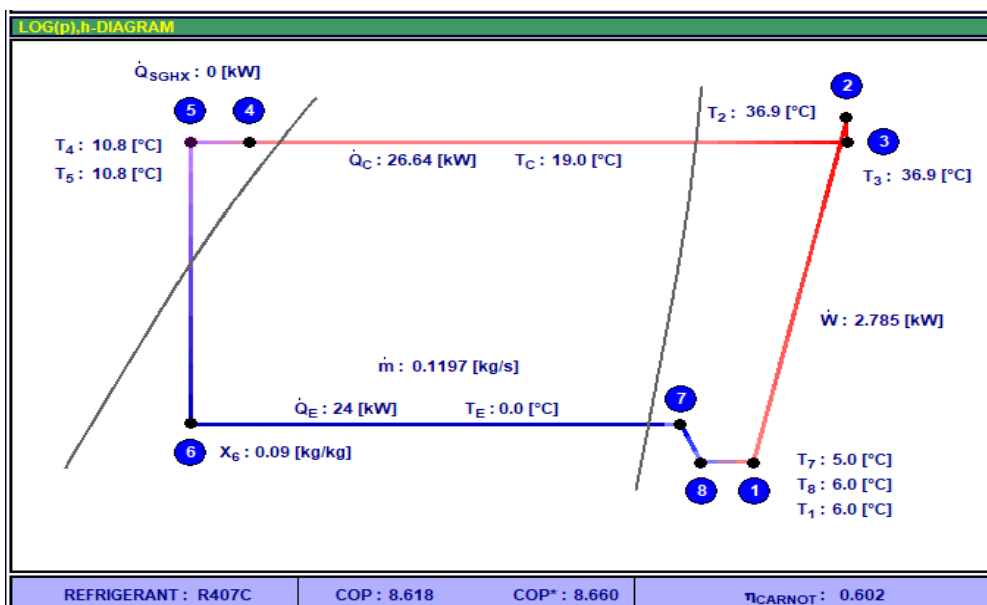
*Resultados auxiliares para la simulación con R404A*

AUXILIARY			
VOLUMETRIC EFFICIENCY			
Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]	0.8	$\eta_{VOL}$ : 0.800 [-]	$\dot{V}_S$ : 20.43 [m <sup>3</sup> /h] $\dot{V}_D$ : 25.53 [m <sup>3</sup> /h]
<small><math>\dot{V}_S</math> can be chosen as input in the cycle specification window.</small>			
UTILIZATION OF DISCHARGE GAS SUPERHEAT FOR HEATING OF WATER			
Temperature increase $\Delta T_{WATER}$ [K]	20	$\Delta T_{WATER}$ : 20 [K] $\dot{V}_{WATER}$ : 0.09263 [m <sup>3</sup> /h] $\dot{Q}_{DSH}$ : 2.151 [kW]	
		$T_{DL,OUT}$ : 31.1 [°C] $T_C$ : 19.0 [°C]	
<small>Water in the desuperheating heat exchanger can only be heated to discharge temperature <math>T_{DL,OUT}</math>. <math>\dot{Q}_C</math> in the main diagram window includes both the heat load for both desuperheating and condensing of the refrigerant.</small>			
ENERGY CONSUMPTION			
Hours of operation [h] :	8760	Energy consumption : 25038 [kWh]	
PIPE DIMENSIONS			
PIPE SECTION	VELOCITY [m/s]	PIPE DIAMETER (Internal) [mm]	Condition corresponds to
Suction line	10.0	26.9	State Point #1
Discharge line	12.0	18.5	State Point #2
Liquid line	0.6	17.9	State Point #5

Nota. Elaboración propia

**Figura 46**

*Ciclo de compresión del R407C*



Nota. Elaboración propia

**Figura 47**

*Resultados de simulación para el R407C*

CYCLE SPECIFICATION					
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER	REFRIGERANT
$T_E$ [°C]:	0.0	$\Delta T_{SH}$ [K]:	5	$\Delta p_{SL}$ [K]:	0.5
$T_C$ [°C]:	19.0	$\Delta T_{SC}$ [K]:	2	$\Delta p_{DL}$ [K]:	0.5
CYCLE CAPACITY					
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	24	$\dot{Q}_E$ : 24 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 26.64 [kW]	$\dot{m}$ : 0.1197 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 23.79 [m³/h]
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency $\eta_{is}$ [-]	0.7	$\eta_{is}$ : 0.700 [-]	$\dot{W}$ : 2.785 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor $f_Q$ [%]	10	$f_Q$ : 10.0 [%]	$T_2$ : 36.9 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0.2785 [kW]	
SUCTION LINE					
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1.0	$\dot{Q}_{SL}$ : 116 [W]	$T_8$ : 6.0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 1.0 [K]	

Nota. Elaboración propia

**Figura 48**

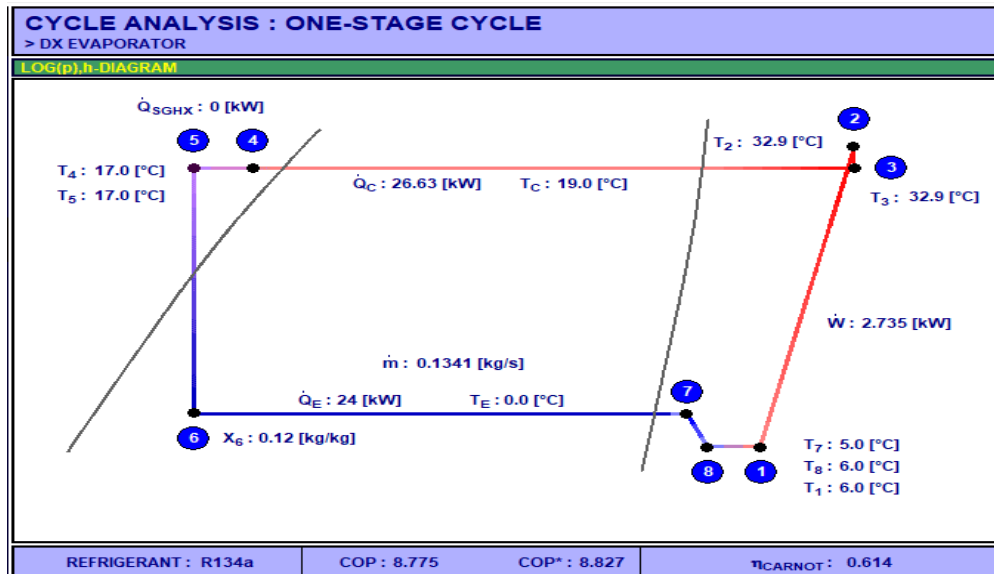
*Resultados auxiliares para la simulación con R407C*

AUXILIARY				
VOLUMETRIC EFFICIENCY				
Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]	0.8	$\eta_{VOL}$ : 0.800 [-]	$\dot{V}_S$ : 23.79 [m³/h]	$\dot{V}_D$ : 29.74 [m³/h]
$\dot{V}_S$ can be chosen as input in the cycle specification window.				
UTILIZATION OF DISCHARGE GAS SUPERHEAT FOR HEATING OF WATER				
Temperature increase $\Delta T_{WATER}$ [K]	20	$\Delta T_{WATER}$ : 20 [K]	$\dot{V}_{WATER}$ : 0.08411 [m³/h]	$\dot{Q}_{DSH}$ : 1.953 [kW]
		$T_{DL,OUT}$ : 36.9 [°C]	$T_C$ : 19.0 [°C]	
Water in the desuperheating heat exchanger can only be heated to discharge temperature $T_{DL,OUT}$ . $\dot{Q}_C$ in the main diagram window includes both the heat load for both desuperheating and condensing of the refrigerant.				
ENERGY CONSUMPTION				
Hours of operation [h]	8760	Energy consumption : 24395 [kWh]		
PIPE DIMENSIONS				
PIPE SECTION	VELOCITY [m/s]	PIPE DIAMETER (Internal) [mm]	Condition corresponds to	
Suction line	10.0	29.0	State Point #1	
Discharge line	12.0	19.9	State Point #2	
Liquid line	0.6	14.6	State Point #5	

Nota. Elaboración propia

**Figura 49**

*Ciclo de compresión para el R134a*



Nota. Elaboración propia

**Figura 50**

*Resultados de la simulación para el R134a*

CYCLE SPECIFICATION						
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES	SUCTION GAS HEAT EXCHANGER	REFRIGERANT		
$T_E$ [°C]:	<input type="text" value="0.0"/>	$\Delta T_{SH}$ [K]:	<input type="text" value="5"/>	<div><div>No SGHX</div><div></div></div>	<input type="text" value="0.30"/>	<div><div>R134a</div><div></div></div>
$T_C$ [°C]:	<input type="text" value="19.0"/>	$\Delta T_{SC}$ [K]:	<input type="text" value="2"/>			
		$\Delta p_{SL}$ [K]:	<input type="text" value="0.5"/>			
		$\Delta p_{DL}$ [K]:	<input type="text" value="0.5"/>			
CYCLE CAPACITY						
<div><div>Cooling capacity <math>\dot{Q}_E</math> [kW]</div><div></div></div>		<input type="text" value="24"/>	$\dot{Q}_E$ : 24 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 26.63 [kW]	$\dot{m}$ : 0.1341 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 34.98 [m <sup>3</sup> /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE						
<div><div>Isentropic efficiency <math>\eta_{IS}</math> [-]</div><div></div></div>		<input type="text" value="0.7"/>	$\eta_{IS}$ : 0.700 [-]	$\dot{W}$ : 2.735 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS						
<div><div>Heat loss factor <math>f_Q</math> [%]</div><div></div></div>		<input type="text" value="10"/>	$f_Q$ : 10.0 [%]	$T_2$ : 32.9 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0.2735 [kW]	
SUCTION LINE						
<div><div>Unuseful superheat <math>\Delta T_{SH,SL}</math> [K]</div><div></div></div>		<input type="text" value="1.0"/>	$\dot{Q}_{SL}$ : 142 [W]	$T_8$ : 6.0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 1.0 [K]	

Nota. Elaboración propia

**Figura 51**

*Resultados auxiliares para la simulación con el R134a*

AUXILIARY			
VOLUMETRIC EFFICIENCY			
Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]	0.8	$\eta_{VOL}$ : 0.800 [-]	$\dot{V}_S$ : 34.98 [m <sup>3</sup> /h] $\dot{V}_D$ : 43.73 [m <sup>3</sup> /h]
<small><math>\dot{V}_S</math> can be chosen as input in the cycle specification window.</small>			
UTILIZATION OF DISCHARGE GAS SUPERHEAT FOR HEATING OF WATER			
Temperature increase $\Delta T_{WATER}$ [K]	20	$\Delta T_{WATER}$ : 20 [K] $T_{DL,OUT}$ : 32.9 [°C]	$\dot{V}_{WATER}$ : 0.07996 [m <sup>3</sup> /h] $T_C$ : 19.0 [°C] $\dot{Q}_{DSH}$ : 1.857 [kW]
<small>Water in the desuperheating heat exchanger can only be heated to discharge temperature <math>T_{DL,OUT}</math>.  <math>\dot{Q}_C</math> in the main diagram window includes both the heat load for both desuperheating and condensing of the refrigerant.</small>			
ENERGY CONSUMPTION			
Hours of operation [h] :	8760	Energy consumption : 23959 [kWh]	
PIPE DIMENSIONS			
PIPE SECTION	VELOCITY [m/s]	PIPE DIAMETER (Internal) [mm]	Condition corresponds to
Suction line	10.0	35.2	State Point #1
Discharge line	12.0	23.6	State Point #2
Liquid line	0.6	15.2	State Point #5

Nota. Elaboración propia

### 3.2.5.3 Resultados del refrigerante

Ahora vamos a mostrar los valores comparativos para cada refrigerante en la **Tabla N°5**.

Conforme a los resultados realizamos el descarte:

**R718:** Es el que posee el mejor comportamiento ambiental; sin embargo, posee un desplazamiento volumétrico excesivo y una temperatura de descarga elevada.

**R404A:** La potencia de compresor es de las más elevadas y sus características ambientales muy desfavorables.

**R407C:** Sus características ambientales están dentro del rango aceptable, la potencia del compresor es la menor de todas y un desplazamiento volumétrico bajo.

**R134a:** Luego del R718 es de las mejores características ambientales, aunque su desplazamiento volumétrico sigue siendo alto.

Con todo esto optaremos por el **R407C** por presentar las mejores características de operación, además de ser el más comercial para uso doméstico.

**Tabla 5**

*Resumen de resultados por cada refrigerante*

Refrigerante	Wcomp(kW)	Tdescarga(°C)	PCG	PAO	Vdesplazado(m <sup>3</sup> /h)	Grupo
R718	2.907	147.1	0	0	9725	A1
R404A	2.858	31.1	3260	0	25.53	A1
R407C	2.785	36.9	1774	0	29.74	A1
R134a	2.735	32.9	1300	0	43.73	A1

Nota. Para los valores de PCG, PAO y grupo revisar **Anexos N°19, 20 y 21**.

### 3.2.5.4 Optimización de temperaturas de evaporación y condensación

Como ya tenemos el refrigerante que se usara para el proyecto ahora tenemos que determinar las mejores temperaturas de funcionamiento del evaporador y condensador.

#### Temperatura en el evaporador:

Para obtener el rango de temperaturas tener presente los siguientes puntos:

- La temperatura del evaporador debe ser mayor a 0°C para evitar la congelación del condensado.
- En la mejor situación la temperatura de salida de aire (temperatura que se obtiene agua) podrá ser igual a la temperatura del refrigerante, en cualquier otro caso será mayor.
- La temperatura del evaporador debe ser siempre menor a la mínima temperatura ambiente, para nuestro caso 12°C que es la mínima temperatura registrada en invierno.

- La temperatura del evaporador debe ser menor a la temperatura de rocío para las condiciones ambientales elegidas, para nuestro caso 22°C.

### **Temperatura del condensador:**

Para el rango de temperatura tener presente los siguientes puntos:

- La temperatura del condensador debe ser mayor a la máxima temperatura ambiente, para nuestro caso 29°C.
- La temperatura del condensador debe ser mayor que la temperatura de descarga del refrigerante, para nuestro caso 36.9°C.

Para esta etapa usaremos el programa Matlab que nos ayudará a estimar los valores óptimos de trabajo, con ayuda de los valores obtenidos del programa Coolpack dentro de un rango admisible.

Los rangos de temperatura serán:

Temperatura condensador: 37 - 45 °C

Temperatura de evaporador: 0 - 12 °C

### **Tabla 6**

*Lista de valores que se usaran en la gráfica de tendencia*

<b>Tcondensador(°C)</b>	<b>Tevaporador(°C)</b>	<b>Potencia del compresor (KW)</b>	<b>Flujo másico (Kg/s)</b>
37	12	3.711	0.1346
37	10	4.053	0.1354
37	9	4.227	0.1359
37	8	4.405	0.1363
37	6	4.767	0.1371
39	12	4.054	0.1372
39	10	4.406	0.1381
39	9	4.586	0.1385
39	8	4.768	0.139

39	6	5.14	0.1399
41	12	4.41	0.14
41	10	4.772	0.1409
41	9	4.957	0.1413
41	8	5.144	0.1418
41	6	5.528	0.1427
43	12	4.778	0.1429
43	10	5.151	0.1438
43	9	5.342	0.1443
43	8	5.535	0.1447
43	6	5.93	0.1457

---

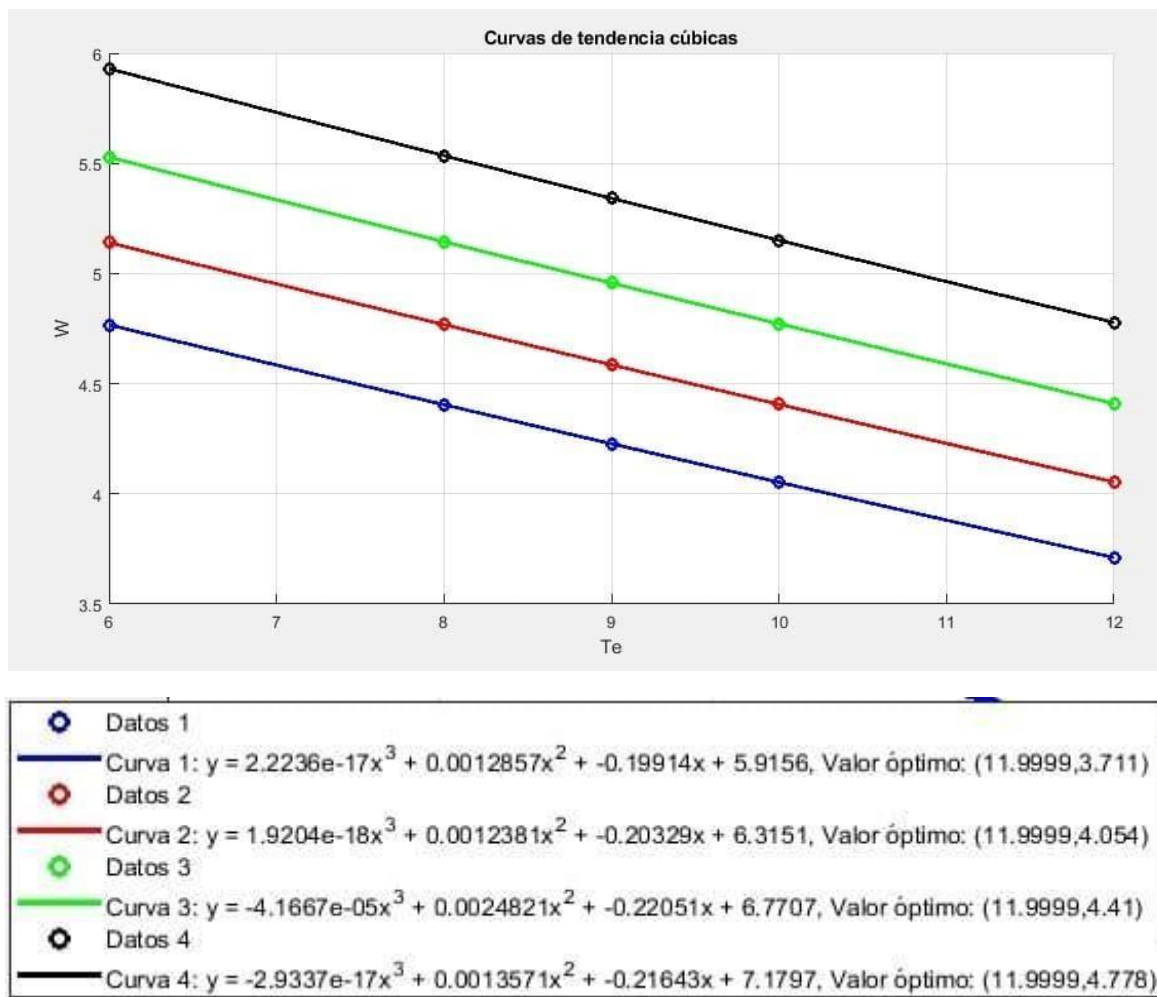
Nota. Elaboración propia

Ahora se ingresará los valores mediante un código en MATLAB (Ver **Anexo N°1 y 2**) para determinar la tendencia polinómica y el valor optimo.



**Figura 52**

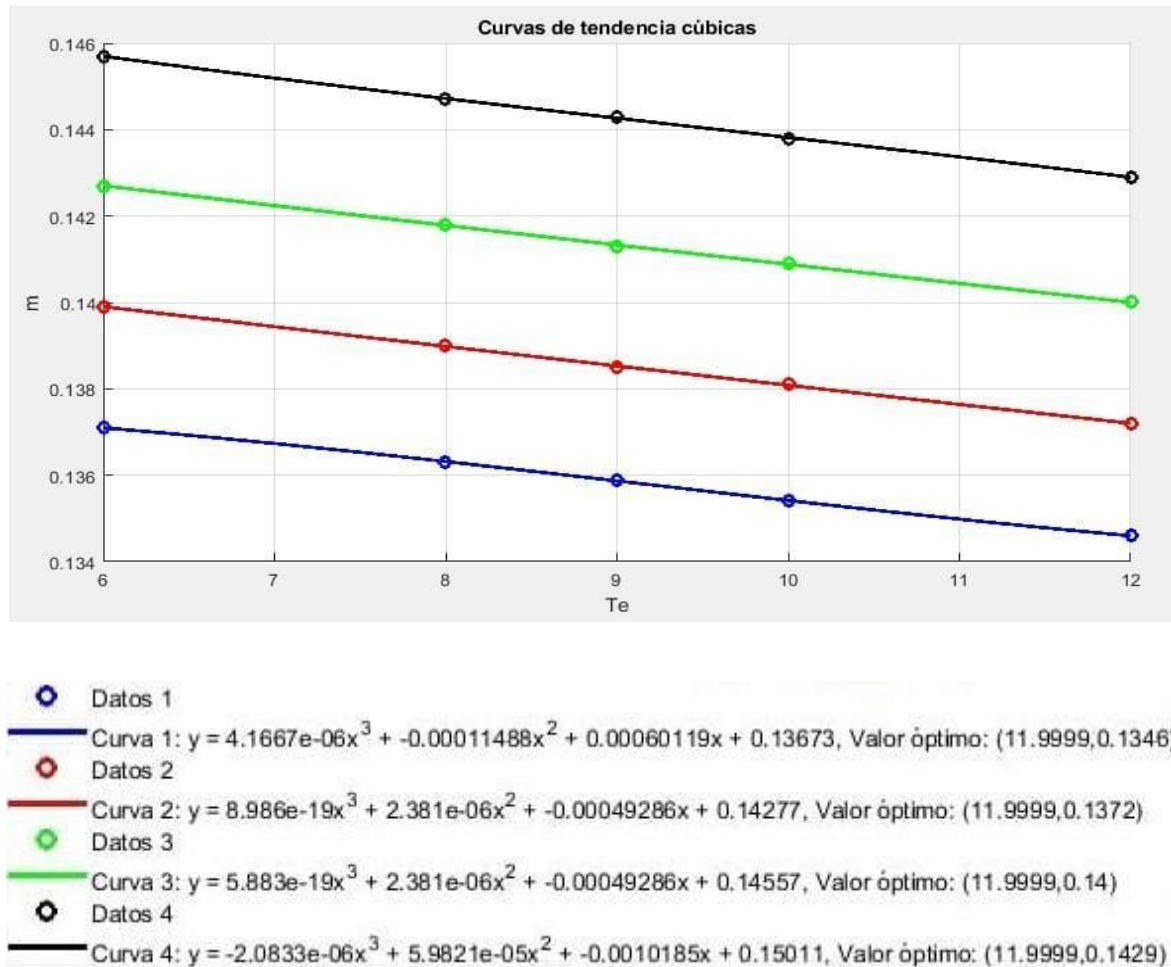
*Tendencia Polinómica Temperatura VS Potencia Compresor*



Nota. La figura busca identificar el valor óptimo de temperatura VS potencia, el código se muestra en el **Anexo N°1**.

**Figura 53**

*Tendencia polinómica Temperatura de evaporador VS Flujo Másico*



Nota. La figura busca identificar el valor óptimo de temperatura y potencia, el código se muestra en el **Anexo N°2**.

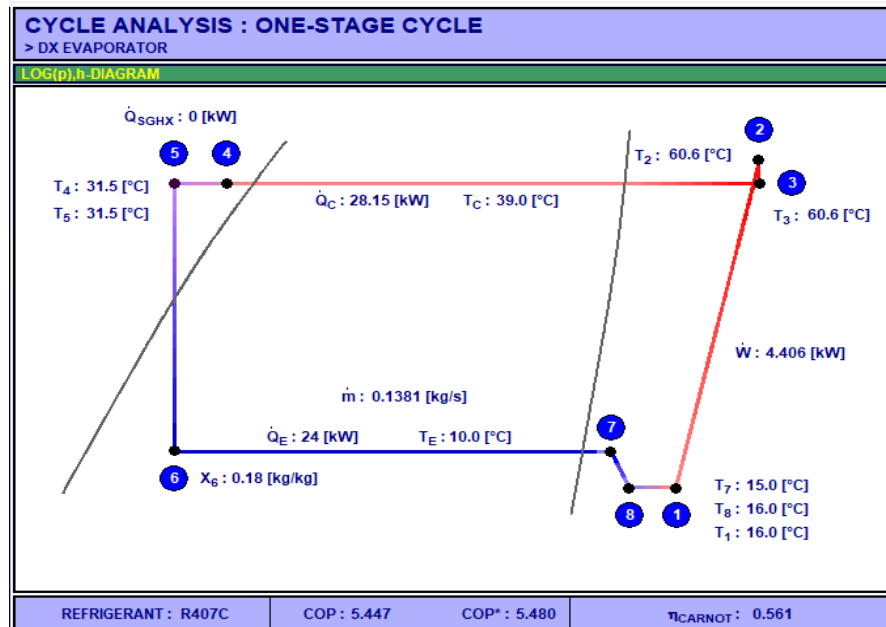
De los resultados anteriores, al incrementar la temperatura del condensador las pérdidas de carga y flujo masico se incrementaron. Así mismo estos parámetros se optimizan cuando la temperatura del evaporador alcanza el valor de 12°C.

En resumen, se aprecia temperaturas óptimas de trabajo en torno a **12°C** en el evaporador y **37°C** en el condensador. Sin embargo, y a pesar del incremento de potencia, se optará por temperaturas ligeramente alejadas de estos valores. Una temperatura inferior en el evaporador y un aumento de la temperatura del condensador contribuyen a trabajar bajo

condiciones desfavorables. Así, se elegirá trabajar con una temperatura en el evaporador de **10°C** y una temperatura en el condensador de **39°C**.

**Figura 54**

*Ciclo termodinámico con valores optimizados*



Nota. Elaboración propia

**Figura 55**

*Valores con temperaturas Óptimas*

CYCLE SPECIFICATION					
<b>TEMPERATURE LEVELS</b>		<b>PRESSURE LOSSES</b>		<b>SUCTION GAS HEAT EXCHANGER</b>	<b>REFRIGERANT</b>
$T_E$ [°C]:	<input type="text" value="10.0"/>	$\Delta T_{SH}$ [K]:	<input type="text" value="5"/>	$\Delta p_{SL}$ [K]:	<input type="text" value="0.5"/>
$T_C$ [°C]:	<input type="text" value="39.0"/>	$\Delta T_{SC}$ [K]:	<input type="text" value="2"/>	$\Delta p_{DL}$ [K]:	<input type="text" value="0.5"/>
<b>CYCLE CAPACITY</b> Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]: <input type="text" value="24"/> $\dot{Q}_E$ : 24 [kW] $\dot{Q}_C$ : 28.15 [kW] $\dot{m}$ : 0.1381 [kg/s] $\dot{V}_S$ : 19.86 [m <sup>3</sup> /h]					
<b>COMPRESSOR PERFORMANCE</b> Isentropic efficiency $\eta_{is}$ [-]: <input type="text" value="0.7"/> $\eta_{is}$ : 0.700 [-] $\dot{W}$ : 4.406 [kW]					
<b>COMPRESSOR HEAT LOSS</b> Heat loss factor $f_G$ [%]: <input type="text" value="10"/> $f_G$ : 10.0 [%] $T_2$ : 60.6 [°C] $\dot{Q}_{LOSS}$ : 0.4406 [kW]					
<b>SUCTION LINE</b> Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]: <input type="text" value="1.0"/> $\dot{Q}_{SL}$ : 143 [W] $T_8$ : 16.0 [°C] $\Delta T_{SH,SL}$ : 1.0 [K]					

Calculate	Print	Help	Home	Auxiliary	State Points	COP : 5.447    COP* : 5.480
-----------	-------	------	------	-----------	--------------	-----------------------------

Nota. Elaboración propia

**Figura 56**

*Valores auxiliares con temperaturas Óptimas*

AUXILIARY			
<b>VOLUMETRIC EFFICIENCY</b>			
Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]	0.8	$\eta_{VOL}$ : 0.800 [-]	$\dot{V}_S$ : 19.86 [m <sup>3</sup> /h] $\dot{V}_D$ : 24.82 [m <sup>3</sup> /h]
<small><math>\dot{V}_S</math> can be chosen as input in the cycle specification window.</small>			
<b>UTILIZATION OF DISCHARGE GAS SUPERHEAT FOR HEATING OF WATER</b>			
Temperature increase $\Delta T_{WATER}$ [K]	20	$\Delta T_{WATER}$ : 20 [K] $T_{DL,OUT}$ : 60.6 [°C]	$\dot{V}_{WATER}$ : 0.1312 [m <sup>3</sup> /h] $\dot{Q}_{DSH}$ : 3.02 [kW] $T_C$ : 39.0 [°C]
<small>Water in the desuperheating heat exchanger can only be heated to discharge temperature <math>T_{DL,OUT}</math>. <math>\dot{Q}_C</math> in the main diagram window includes both the heat load for both desuperheating and condensing of the refrigerant.</small>			
<b>ENERGY CONSUMPTION</b>			
Hours of operation [h] :	8760	Energy consumption : 38596 [kWh]	
<b>PIPE DIMENSIONS</b>			
PIPE SECTION	VELOCITY [m/s]	PIPE DIAMETER (Internal) [mm]	Condition corresponds to
Suction line	10.0	26.5	State Point #1
Discharge line	12.0	16.2	State Point #2
Liquid line	0.6	16.3	State Point #5

Calculate	Print	Help	Home	Cycle Spec.	State Points	COP : 5.447	COP* : 5.480
-----------	-------	------	------	-------------	--------------	-------------	--------------

Nota. Elaboración propia

### Primer método para el balance de masa en el evaporador

Método extraído del libro **Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración** (Goribar), donde realizamos un balance de energía para calcular el caudal de aire en el evaporador

$$V_{aire} = \frac{Q_{ev}(FCS)}{Daire * CP * \Delta T_{cond}}$$

Donde:

Daire: Densidad del aire

CP: Capacidad calorífica

FCS: Factor de calor sensible

Considerando que el valor de densidad de aire es de 1.341 Kg/m<sup>3</sup>, su capacidad calorífica es de 1.006 KJ/Kg K y el factor de calor sensible en 0.75 por tratarse de uso comercial .

Obtenemos un caudal de aire en el evaporador de 1.295 m<sup>3</sup>/s.

De manera análoga hacemos un balance de energía para el caudal de aire en el condensador.

$$V_{aire} = \frac{Q_{cond}}{D_{aire} * CP * \Delta T_{cond}}$$

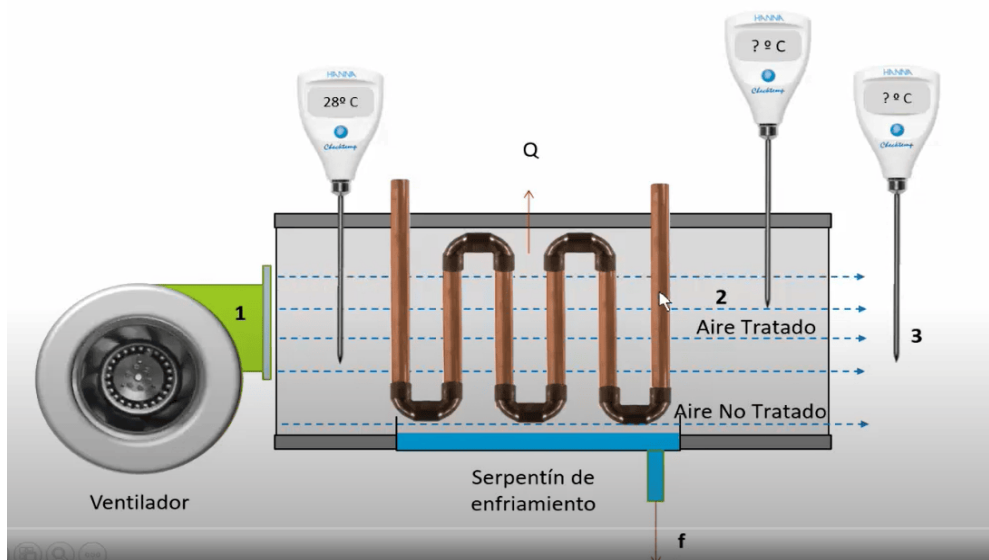
Obtenemos un caudal de aire en el condensador de 0.7 m<sup>3</sup>/s.

### Segundo método de balance de masas en el evaporador

Realizaremos el cálculo de caudales con el método propuesto por (Antonio Ospino, 2023)

**Figura 57**

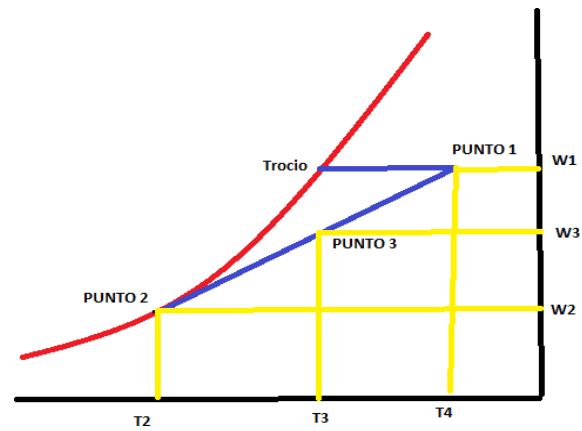
*Caudal de aire en evaporador*



Nota. (Antonio Ospino, 2023), <https://www.youtube.com/watch?v=tGZexxZf494>.

**Figura 58**

Bosquejo del diagrama psicrométrico



Nota. Elaboración propia.

Aplicamos la primera ley de la termodinámica al sistema mostrado en la **Figura 57** tenemos lo siguiente:

$$0 = Q - W + \sum \{m_{asi} * h_{mi}\}_{entrada} - \sum \{m_{asi} * h_{mi}\}_{salida}$$

Tengamos en consideración que:

$Q$  : Potencia calorífica, si entra es positiva y si sale es negativa.

$m_{as}$ : Flujo másico de aire seco.

$h_m$ : Entalpía específica de la mezcla.

$W$ : Potencia mecánica, si entra es negativo y si sale es positivo.

Para el caso de estudio tenemos que:

$$0 = Q - 0 + \{m_{as1} * h_{m1}\} - \{m_{as2} * h_{m2}\}$$

$$Q = -\{m_{as1} * h_{m1}\} + \{m_{as2} * h_{m2}\} + \{m_f * h_f\}$$

Donde

$m_f$ : Flujo másico de condensación

$h_f$ : Entalpia específica del flujo másico de condensación

Como no hay adición externa de aire, entonces:

$$m_{as1} = m_{as2} = m_{as}$$

Como está presente la condensación, entonces:

$$m_{v2} = m_{v1} - m_f$$

$$m_{v1} - m_{v2} = m_f$$

$$m_{v1} = m_{v2} + m_f$$

La fórmula de potencia calorífica  $Q$  queda:

$$Q = m_{as}(h_{m2} - h_{m1}) + \{m_f * h_f\}$$

La potencia calorífica  $Q$  hace referencia a la potencia perdida por el aire desde la entrada 1 a la salida 2 y también a la potencia frigorífica absorbida por la batería de refrigeración o potencia de enfriamiento del equipo.

Análisis de flujo masico de aire seco tenemos:

$$m_{as2} = m_{as1} - m_{asnt}$$

$$m_{as2} = m_{as1} - FB * m_{as1}$$

Donde:

$m_{asnt}$ : Flujo de aire seco no tratado

Para el flujo masico condensado tenemos:

$$m_{v2} = m_{v1} - m_f$$

$$m_{as2} * \omega_2 = m_{as1} * \omega_1 - m_f$$

$$m_f = m_{as}(\omega_1 - \omega_2)$$

Si remplazamos los valores de la **tabla 4** obtenemos lo siguiente:

$$\omega_2: 0.007325 \text{ Kg/Kg}$$

$$h_{m2}: 26.6188 \text{ KJ/Kg}$$

$$m_{as}: 0.61958 \text{ Kg/s (Caudal de aire en el evaporador)}$$

$$m_f: 0.00579 \text{ Kg/s (flujo de condensado)}$$

Ahora, utilizando la fórmula para calcular la potencia calorífica obtenemos:

$$Q = m_{as}(h_{m2} - h_{m1}) + \{m_f * h_f\}$$

$$Q = 0.619(26.619 - 70.769) + \{0.00579 * h_f\}$$

$$Q = -27.2847 \text{ Kw}$$

Por tanto, la potencia frigorífica del evaporador queda definida en **27.2847 Kw**.

### 3.2.5.5 Selección de elementos para el sistema AWG

En esta etapa se procederá a seleccionar los componentes que constituyen el dispositivo condensador de humedad. Se va considerar los requerimientos necesarios de cada equipo para garantizar su correcta operación.

#### Evaporador

El evaporador es un componente fundamental en el ciclo ya que es el intercambiador encargado de que el refrigerante que circula en su interior absorba la energía térmica del ambiente produciendo en cambio de estado de vapor a líquido en el agua, por eso es fundamental elegir uno que tenga la capacidad igual o superior a la requerida para obtener el agua necesaria.



Para su selección se tendrá en cuenta los siguientes resultados:

- Temperatura de evaporación (°C): 10°C
- Caudal de aire en el evaporador (m<sup>3</sup>/s): 1.295 m<sup>3</sup>/s (4662 m<sup>3</sup>/h)
- Tasa de transferencia de calor evaporador (KW): 24 KW
- Sobrecalentamiento evaporador: 5°C
- Temperatura de la cámara: 15°C
- Humedad relativa: 70%

Teniendo en cuenta estas características de transferencia de calor y caudal de optará por el evaporador cúbico modelo LC210A de la empresa García Cámara (Ver **Anexo N°14**)

**Figura 59**

*Evaporador cúbico modelo LC210A*



Nota. (Catalogo de evaporadores, 2024), [https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap\\_LC.pdf](https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap_LC.pdf).

Los ventiladores del equipo funcionan a 50 Hz, así que optaremos por cambiarlos a ventiladores modelo HEP-25-4T/H con un caudal de aire de 6020 m<sup>3</sup>/h que funcionan a 60 Hz.

## Figura 60

*Ventilador helicoidal mural*



Nota. (Sodeca Corporation, 2024), <https://www.servorecambios.com/images/pdf/sodeca-helicoidales/sodeca-hele-hept.pdf>.

## Condensador

Para la selección del condensador se tendrá en consideración los siguientes resultados:

- Temperatura del condensador (°C): 39°C
- Caudal de aire en el condensador (m<sup>3</sup>/s): 0.7 m<sup>3</sup>/s (2520 m<sup>3</sup>/h).
- Tasa de transferencia de calor condensador (KW): 28.15 KW

Como se busca un condensador con una tasa de transferencia de calor de 28 KW se optará por elegir el modelo HCM52SS de marca GC.

**Figura 61**

*Condensador axial Marca GC - 1*



Nota. (García Cámara Corporation, 2024), <https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/garcia-camara-catalogo-producto.pdf>.

Los ventiladores del equipo funcionan a 50 Hz, así que optaremos por cambiarlos a ventiladores modelo axial que funcionan a 60 Hz.

**Figura 62**

*Condensador axial Marca GC - 2*



Nota. (Sodeca Corporation, 2024), <https://www.servorecambios.com/images/pdf/sodeca-helicoidales/sodeca-hele-hept.pdf>.

## Compresor

Para la selección del compresor se debe tener presente ciertos parámetros importantes para una correcta selección.

- Temperatura de evaporación: 10°C
- Temperatura de condensación: 39°C
- Potencia del compresor: 4.406 kW

Considerando los parámetros anteriores se va seleccionar de catálogo un compresor Danfoss SZ084.

### Figura 63

*Compresor Modelo SZ084*



Nota. (Danfoss Corporation, 2024), <https://www.danfoss.com/es-mx/>

## Válvula de expansión electrónica

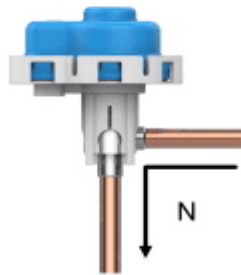
De una amplia gama de selección tanto electrónicos como termostática, se optó por una válvula de expansión electrónica para refrigeración industrial que cumpla con los rangos específicos de temperatura, presión y flujo volumétricos requeridos para esta aplicación.

- Temperatura de evaporación: 10 °C
- Temperatura de condensación: 39 °C
- Flujo masico: 497.16 kg/h
- Sub enfriamiento: 3 K
- Sobrecalentamiento: 5 K

Para la selección de la válvula nos ayudaremos del software Coolselector2 de la empresa Danfoss, de acuerdo a estas características técnicas se optará por el modelo ETS 5M30.

#### **Figura 64**

*Válvula de expansión electrónica modelo ETS 5M30*



Nota. Seleccionado del catálogo del software Coolselector2 (Danfoss)

#### **Filtro secador**

De una amplia gama de selección tanto electrónicos como termostática, se optó por una válvula de expansión electrónica para refrigeración industrial que cumpla con los rangos específicos de temperatura, presión y flujo volumétricos requeridos para esta aplicación.

- Temperatura de evaporación: 10 °C
- Temperatura de condensación: 39 °C
- Flujo masico: 497.16 kg/h
- Sub enfriamiento: 3 K
- Sobrecalentamiento: 5 K

En este caso se optará por el modelo DLC 165s por sus características técnicas favorables para este proyecto.

#### **Figura 65**

*Filtro secador modelo DLC 1654s*



Nota. (Danfoss Corporation, 2024), <https://www.danfoss.com/es-mx/>

#### **Tanque de almacenamiento**

Se necesitará un tanque de almacenamiento, usaremos uno con capacidad de 2500L.

#### **Figura 66**

*Tanque de almacenamiento*



Nota. (Cátalogo Rotoplas, 2024), <https://www.rotoplas.com.pe/tanques>

## Válvula

Válvula de extracción ubicada en la base del tanque de almacenamiento para el control del fluido.

**Figura 67**

*Válvula de extracción*



Nota. (Catalogo válvula , 2024), <https://sodimac.falabella.com.pe/sodimac-pe/category/CATG14437/Llaves-y-Valvulas-de-Agua-y-Gas?f.product.brandName=pavco>

## Sensor de nivel

El proyecto contara con un sistema de control de nivel de agua, tanto cuando el tanque este en su máxima capacidad como cuando llegue a su valor mínimo.

**Figura 68**

*Sensor de nivel de agua*



Nota. (Catálogo sensor, 2024), <https://www.eicos.com/sensor-de-nivel/montaje-lateral/LA36M-40/>

**Figura 69**

*Filtro de aire*



Nota. (Filtro de aire, 2024), <https://www.klcintl.com/high-efficiency-low-pressure-drop-mini-pleat-filter-hepa-ulpa>

### **3.2.5.6 Análisis de propiedades eléctricas y gasto energético**

Para la selección de los componentes eléctricos y la cantidad de energía requerida para que funcione el sistema condensador de agua, primero debemos realizar un análisis de energía consumida por equipo.

Se muestra a continuación una tabla con las propiedades eléctricas de los equipos seleccionados, estos valores fueron obtenidos de las fichas técnicas de cada equipo según catálogo.

**Tabla 7**

*Propiedades eléctricas de equipos seleccionados*

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Voltajes</b>	<b>Frecuentes (Hz)</b>	<b>Amperaje(A)</b>	<b>Potencia(kW)</b>
Evaporador (Ventilador)	2	220	60	0.4	0.085
Condensadores (Ventilador)	2	220	60	0.75	0.29
Compresor	1	220	60	0.02786	6.13

Nota. Elaboración propia



Con los valores obtenidos calculares el consumo diario de energía de cada componente con ayuda de la siguiente ecuación:

$$Pot(kW) * tiempo(h) * cantidad = Consumo diario \left( \frac{kWh}{dia} \right)$$

Luego de realizar los cálculos se muestra a continuación los resultados en **tabla N°8** tenemos.

**Tabla 8**

*Consumo diario de energía por equipo*

Equipo	Consumo diario (kWh)
Ventilador de Evaporador	4.08
Ventilador de Condensador	12
Compresor	147.12
Total	179.52

Nota. Elaboración propia

Ahora que ya tenemos el valor diario de energía que debe consumir nuestro sistema, en los siguientes puntos evaluaremos los costos de instalación del sistema biodigestor-generador considerando el gasto energético obtenido.

### 3.2.6 Calculo energéticos y dimensiones del biodigestor

Para el diseño del biodigestor nos basaremos en los trabajos previos de (Sierra, 2023) y (Ruiz Plaza & Gomez Aguilar, 2020) para realizar los cálculos energéticos de nuestro sistema.

Como nuestro sistema requiere una potencia de **179.52 KWh**, a partir de este valor calcularemos el caudal de material orgánico que se requiere consumir.

De la fórmula para el cálculo de energía entregada por el generador tenemos lo siguiente:

$$\eta_{total} = \frac{E_{salida\ electrica}}{E_{entrada\ al\ sistema}}$$

La energía entregada al sistema es la energía calorífica que produce el metano, esta energía en un sistema de generación con motor reciprocante de combustión interna varía entre 25 a 35 % de eficiencia, y si le agregamos un sistema de cogeneración asciende su eficiencia hasta un 70% según (Electriz Mexico, 2024).

### Figura 70

*Generador eléctrico modelo Caterpillar G3516C*



Nota. (CATERPILLAR, 2024), [https://www.cat.com/es\\_ES/products/new/power-systems/electric-power/gas-generator-sets/18475658.html](https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/electric-power/gas-generator-sets/18475658.html)

Remplazando valores tenemos lo siguiente:

$$0.70 = \frac{179.52\ kW}{E_{química\ del\ sistema}}$$

$$E_{química\ del\ sistema} = 256.46\ kW$$

De la fórmula para el cálculo del flujo masico de material orgánico necesario tenemos lo siguiente:

$$E_{química\ del\ sistema} = m * PCI$$

Donde:

m: Flujo másico de material orgánico

PCI: Poder Calorífico inferior del gas

**Primer método de cálculo**, utilizado en el trabajo previo de (Sierra, 2023).

Según el **Anexo N°28** el metano tiene un PCI de 13.89 KWh/kg, entonces tenemos lo siguiente:

$$256.46 \text{ kW} = m * 13.89 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

$$m = 18.46 \text{ Kg/día}$$

Concluimos en esta primera parte que se está consumiendo 18.46 Kg/día para que el generador entregue 179.52 kWh.

Según (Sierra, 2023) cita el trabajo de investigación realizado por Payan García, Oswaldo Moisés, Coreo Urbina y Ezequiel (2013) que “para la obtención de biogás existe una proporción (500 g de H<sub>2</sub>O y 250 g de materia orgánica) para producir 290ml de biogás”.

Realizando una regla de 3 simple obtenemos la cantidad de biogás en ml.

0.250 kg ..... 0.290 ml

1.683 kg ..... X VALOR = 1.95 ml

Ahora mostraremos en una pequeña tabla los consumos diarios, semanales y mensuales de combustible.

**Tabla 9**

*Consumo energético de biogás*

Consumo	Materia orgánica (Kg)	Energía entregada (kWh)
Hora	0.77	7.48
Diario	18.46	179.52
Semanal	129.22	1256.64
Mensual	553.8	5385.6

Nota. Elaboración propia

**Segundo método de cálculo**, utilizado en el trabajo previo de (Ruiz Plaza & Gomez Aguilar, 2020).

De su estudio realizado la proporción de generación en Biogás es de 5.01 kg de materia orgánica porcina para generar 0.34 m<sup>3</sup> de gas metano. Así mismo el autor plantea usar la siguiente ecuación para el cálculo.

$$256.46 \text{ kW} = (\text{Vol biogas m}^3) * 143.04 \text{ kWh/m}^3$$

$$1.793 \text{ m}^3 = (\text{Vol biogas m}^3)$$

Realizando una regla de 3 simple obtenemos la cantidad de biogás en ml.

5.01 kg.....0.34 m<sup>3</sup>

x kg... ..... 1.793 m<sup>3</sup>

El resultado final nos indica que para generar la energía necesaria de 256.46 KW se requiere un consumo diario de **26.42 Kg/día**.

Comparando estos resultados vemos que depende del tipo de materia orgánica la cantidad de energía generada. Por tanto, para nuestro trabajo asumiremos en caso más desfavorable y necesitaremos **26.5 Kg** de materia orgánica por día.

Para el cálculo de dimensiones en el biodigestor nos apoyaremos en el trabajo previo de (Pinto, 2020), el cual utilizó como base de material orgánico el estiércol producido por el ganado. El autor también recomienda utilizar un **biodigestor Tubular tipo Taiwán** por sus condiciones de operación y costos.

Del trabajo previo de (Pinto, 2020) , Para el cálculo del volumen diario de afluente tendremos la siguiente ecuación:

$$Vda = 0.984 \frac{P_{eu}}{Ad}$$

$$Vda = 0.984 \frac{P_{eu}}{P_{eu} * ra/p}$$

$$V_{da} = 0.984 \frac{P_{eu}}{P_{eu} * 2}$$

$$V_{da} = 0.984 * 0.5$$

$$V_{da} = 0.492 \text{ m}^3$$

Donde

$P_{eu}$  : Producción diaria utilizable de estiércol (kg/estiércol día)

Ad: Agua para la dilución (kg/ agua día)

ra/p: Relación de agua y materia orgánica

$V_{da}$ : Volumen diario de afluente (m<sup>3</sup>)

Consideraremos el valor de ra/p en 2 según el trabajo previo de (Sierra, 2023).

Del trabajo previo de (Pinto, 2020) , Para el cálculo del volumen requerido por el biodigestor tendremos la siguiente ecuación:

$$v_b = V_{da} * T_r$$

$$v_b = 0.492 * 15$$

$$v_b = 7.38 \text{ m}^3$$

Donde

$v_b$  : Volumen requerido por el biodigestor (m<sup>3</sup>)

$T_r$ : Número de días de fermentación (días)

Para el valor de  $T_r$  consideraremos 15 días de producción de excremento animal.

Del trabajo previo de (Pinto, 2020) , Para el cálculo del volumen de almacenaje de biogás tendremos la siguiente ecuación:

$$A_b = T_b - V_b$$

Donde

$A_b$ : Almacenaje de biogás ( $m^3$ )

$T_b$ : Tamaño del biodigestor ( $m^3$ )

La producción en volumen de biogás esta entre  $0.5 m^3$  a  $1.5 m^3$  por cada kilogramo de solido volátil eliminado y siendo mayor la producción cuanto más alta es la temperatura.

Considerando un volumen promedio de  $1m^3$  por kg de solido volátil eliminado, tendremos la siguiente ecuación:

$$P_{bb} = \frac{c_{sv} * Y}{Tr}$$

$$P_{bb} = \frac{40.392}{15} * 1$$

$$P_{bb} = 2.69 m^3 \text{ biogás/día}$$

Donde

$P_{bb}$ : Producción de biogás en el biodigestor ( $m^3$  biogás/día)

$c_{sv}$ : masa de solido volátil eliminado (kg)

$Y$ : Volumen promedio de biogás/kilogramo de solido volátil eliminado ( $m^3$ )

Quiere decir que el almacenaje de biogás ( $A_b$ ) debe ser de al menos  $2.69 m^3$ ,

Consideramos un volumen de almacenaje de tendremos la siguiente ecuación:

$$A_b = \pi(D/2)^2 L - V_b$$

$$2.69 = \pi(D/2)^2 L - 7.38$$

$$2.69 = \pi(1.5/2)^2 L - 7.38$$

$$L = 5.69 m$$

Donde

L: Largo del biodigestor (m)

D: Diámetro del biodigestor (m)

Para la construcción de este biodigestor será necesario cavar una fosa de 5.7m de largo, 1m de profundidad y 1.3 m de ancho. Ya que el tamaño estándar de la bolsa es de 1.25 m de diámetro.

### **Tabla 10**

#### *Condiciones de operación del biodigestor*

Temperatura	Temperatura ambiente de 24°C
Irradiación Solar	Radiación promedio de 5,5 kWh/m <sup>2</sup> según (Tu Tiempo.net, 2024), <a href="https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/lima.html">https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/lima.html</a> .
Protección del biodigestor	Cerco metálico y techo de Polipropileno rojo antilluvia.
Presión de operación	Geomembranas de PVC de 0.75 mm de espesor, “soportan una presión de 16.1 kPa” según (Pinto, 2020).

Nota. La tabla muestra parámetros de operación del biodigestor. Fuente: Elaboración propia

### **3.2.7 Costos y Presupuesto del diseño preliminar**

En esta sección presentaremos el costo del proyecto, las cuales están divididas según el sistema al que pertenecen los componentes seleccionados.

#### **3.2.7.1 Costos de instalación del sistema generador de agua**

El costo del equipo generador de agua se ven reflejados en la tabla presentada a continuación.

**Tabla 11***Presupuesto para el sistema de generación de agua*

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario (S/.)</b>	<b>Precio Total</b>
Evaporador	1	18950	18950
Ventilador de evaporador	3	1215	3645
Condensador	1	9900	9900
Ventilador de condensador	2	2180	4360
Compresor	1	3182	3182
Válvula de expansión	1	210	210
Tanque Rotoplas (opcional)	1	1120.0	1120.0
Filtro de aire	1	137	137
Filtro secador	1	25	25
Válvula del tanque	1	9.90	9.90
Contactador On/Off	1	39	39
Sensor de nivel de agua	2	71	142
Tubería 7/8" Cu	5m	-	182
Tubería 5/8" Cu	6m	-	116.92
Tubería 3/4" Cu	1m	33.78	33.78
Tubería 1 3/8" Cu	6m	-	536.25
Cable eléctrico 220 V	100m	-	130
<b>TOTAL</b>			<b>43581.95</b>

---

Nota. Cotizaciones en el **Anexo N°32** .

### **3.2.7.2 Costos de Instalación del biodigestor**

En esta parte nos basaremos los estudios previos de (Pinto, 2020) como referencia de los ítems utilizados en la instalación del biodigestor.



**Tabla 12***Presupuesto para la instalación del biodigestor*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S./)</b>	<b>Precio total</b>
<b>Suministro del biodigestor</b>			
Reactor biobolsa de 1.25 cm	4m	250	250
Tubo PVC 4"	1m	32	32
Tubo PVC 2"	3m	14.90	14.90
Abrazadera 2"	3und	5	15
Abrazadera 4"	3und	5	15
Cinta teflón 1/2"	10m	1	10
Conector Hembra-Macho 2"	1und	8	8
Pegamento PVC	1 lata	5	5
Llave principal 2"	1und	170	170
Codos de PVC 2"	10und	0.4	4
T de PVC 2"	1und	10	10
T de PVC 4"	1und	10	10
Loza de concreto 5mm	1Glb	500	500
Techo de biodigestor 6m x 3m	1Glb	570	570
Manguera de GNV 1/2 "	20m	15	300
Y de 2" a 1"	1und	10	10
Reducción de 1" a 1/2"	2und	5	10
Niple 1/2"	12und	2	24
Uniones 1/2 "	6und	2	12
Válvula de bola 1/2"	3und	45	135
Liga de neumático	12und	2	24
<b>TOTAL</b>			<b>2128.9</b>

---

 Nota. Cotizaciones en el **Anexo N°33**.

**Tabla 13***Costos de montaje*

<b>Sistema</b>	<b>unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Montaje de biodigestor	1	500	500
Montaje de generador eléctrico	1	120000	140000
Montaje de sistema AWG de tesis	1	800	800
<b>TOTAL</b>			<b>121300</b>

Nota. Elaboración propia

Por tanto, el costo total para implementar el proyecto asciende a S/. **167,010.85**.

### **3.2.7.3 Costo de producción de un litro de agua**

Los costos de generación por litro de agua se calculan en base a la cantidad de energía utilizada para la producción de un litro de agua, Según (Pinto, 2020), el costo promedio de mantenimiento del biodigestor es de S/. **300** y S/. **1200** anual en mantenimiento del generador (MODASA, GRUPOS GENERADORES, 2021). Según la página (Gerencie.com, 2022), el tiempo de vida útil de un equipo se considera bajo una depreciación de 10 años.

Procedemos a realizar el siguiente análisis:

$$\frac{179.52 \text{ Kwh/dia}}{500 \text{ L/dia}} = 0.35904 \text{ Kwh/L}$$

$$\frac{179.52 \frac{\text{Kwh}}{\text{dia}} * 365 \text{ dias}}{1 \text{ año}} = 65524.8 \text{ Kwh/año}$$

$$\frac{167010.85 \text{ soles} + 15000 \text{ soles (mantenimiento)}}{10 \text{ años}} = 18,201.085 \text{ Soles/años}$$

$$\frac{18,201.085 \frac{\text{Soles}}{\text{año}}}{65524.8 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}}} = 0.2777 \text{ Soles/Kwh}$$

$$0.35904 \frac{\text{Kwh}}{\text{L}} * 0.27777 \frac{\text{Soles}}{\text{Kwh}} = 0.0997 \text{ Soles/Litro}$$

### 3.2.7.4 Comparativo del resultado con diferentes opciones

Se realizará un comparativo del costo de agua de este proyecto con otras alternativas de obtención.

**Tabla 14**

*Comparativo de costos de agua frente a otras alternativas tradicionales*

Opciones de obtención	Precio por litro de agua
Servicio público	0.0038 Soles/L
Agua embotellada Cielo	1.0 Soles/L
sistema AWG de tesis	<b>0.0997 Soles/L</b>
Dispositivo Watergen	0.5 Soles/L

Nota. Elaboración propia

**Figura 71**

*Costo por litros de agua*



Nota. Elaboración propia

Nuestro diseño evidencia mejores resultados frente a los costos de agua embotellada Cielo y del Dispositivo Watergen, pero sigue estando por debajo de los costos de Servicio público. De existir un menor coste en implementación de servicios de alcantarillado sería mucho más viable que el proyecto desarrollado, ya que la gráfica mostrada no considera estos gastos adicionales de transporte de agua e infraestructura. Nuestra alternativa además es constante en el tiempo (periodo de vida útil de 10 años), contrario a las demás opciones que depende de factores variables como el Índice de Precio al Consumidor.

### 3.2.7.5 Cálculo de IPC para las distintas opciones de obtener agua

Como ya se mencionó, el Índice de precio al consumidor varia cada mes y por tanto es importante saber cómo esto afecta comparativamente a los costos de agua.

Para nuestro estudio vamos a considerar la variación porcentual del IPC de los últimos 30 años (Ver **Anexo N°36**), según estos valores estimaremos los intervalos de confianza superior e inferior.

**Tabla 15**

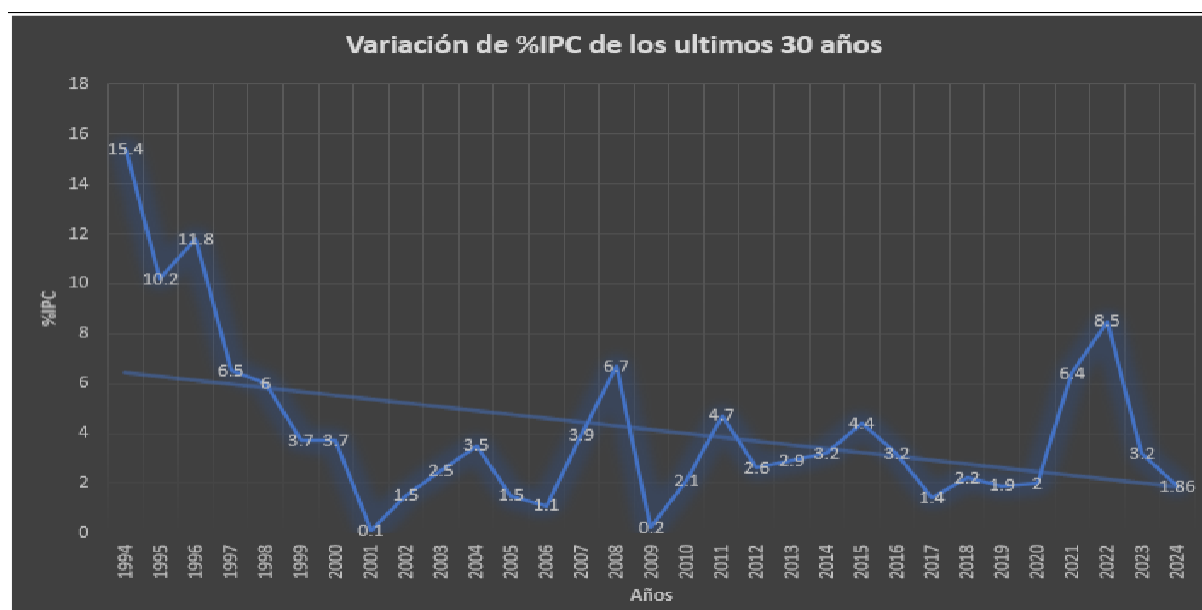
*Valores estadísticos*

DATA ESTADÍSTICA	
<b>Confianza</b>	95%
<b>Alfa</b>	0.05
<b>n</b>	30
<b>Media</b>	4.157
<b>S</b>	3.453
<b>Precisión</b>	1.235
<b>Li</b>	2.921
<b>Ls</b>	5.392

Nota. Datos calculados a partir del **Anexo N°36**.

**Figura 72**

*Variaciones del porcentaje de IPC en los últimos años*

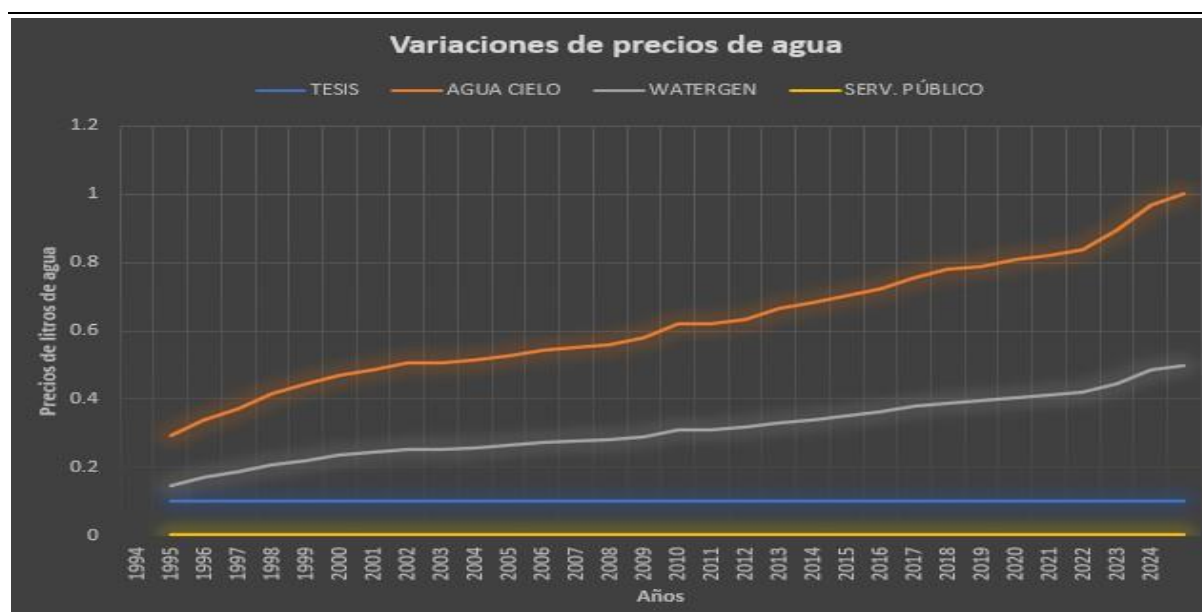


Nota. Datos obtenidos del **Anexo N°36**.

De la **tabla 15** podemos evidenciar que los valores de variación del porcentaje de IPC están entre 2.9 a 5.4 % en un 95% de los casos a futuro esto se cumplirá y en el otro 5% no.

**Figura 73**

*Estimación de precios de los últimos 30 años*



Nota. Datos obtenidos del **Anexo N°36**.

Se evidencia que el servicio público presenta ventaja con respecto a los costos de la tesis; Sin embargo, el proyecto es viable ya que el lugar destinado para el estudio no cuenta con una red de tuberías correctamente implementado ni la infraestructura necesaria para distribuir el agua.

#### **3.2.7.6 Rentabilidad económica preliminar**

Para los egresos se considera el costo total de implementación del diseño y un mantenimiento anual de S/. 1500. Los ingresos consideran otras alternativas de obtención de agua y el costo por suministrar agua de camiones cisternas de proveedores locales.

La **Figura 74** muestra el resumen de evaluación económica realizada con una tasa de interés del 15% para los 10 años estimados del proyecto.

**Figura 74**

*Evaluación económica del proceso*

	EVALUACIÓN ECONÓMICA (Soles)										
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>EGRESOS</b>											
Inversión	-167010.85										
Operación y Mantenimiento		-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500
<b>INGRESOS</b>											
<b>Servicio público</b>		684	684	684	684	684	684	684	684	684	684
Agua embotellada (Solo el 1%)		1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Cisternas de agua (0.2 soles/Litro)		36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000	36000
<b>BENEFICIOS NETOS</b>	-167010.85	36984	36984	36984	36984	36984	36984	36984	36984	36984	36984

	Valores	Rentabilidad
<b>VA</b>	S/ 185,614.14	
<b>Inversiones</b>	-S/ 167,010.85	
<b>VAN</b>	S/ 18,603.29	<b>SI</b>
<b>TIR</b>	18%	<b>SI</b>
<b>B/C</b>	1.111389702	<b>SI</b>
<b>Tasa</b>	0.15	

Nota. Elaboración propia

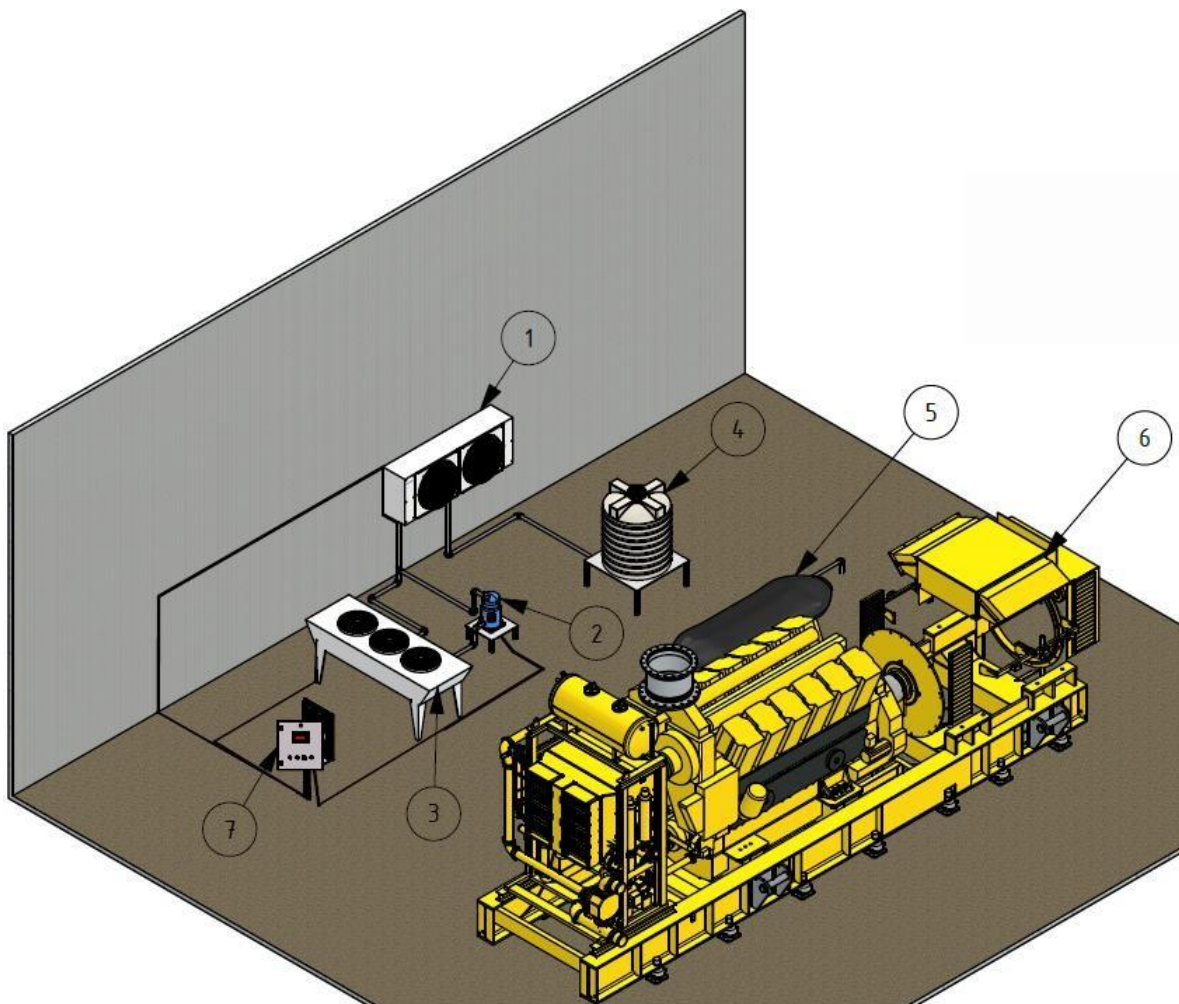
Se obtiene un TIR de **18%** con un Valor Actual Neto de **S/.18,603.3** en un tiempo de recuperación de 10 años. Además, se obtuvo una relación de Costo/Beneficio de **1.11** que es mayor a la unidad.

### 3.2.8 Montaje preliminar del Proyecto

Para este capítulo nos ayudaremos del Software Autodesk Inventor, se mostrará una alternativa de distribución para los espacios y ubicación de los equipos del proyecto.

**Figura 75**

*Vista isométrica del montaje final*



Nota. Planos detallados en los **Anexos N°37,38 y 39.**



### **3.3 Estructura de desglose del trabajo**

En esta sección de metodología la EDT (Estructura de Desglose de Trabajo) nos permite presentar de manera visual y detallada las fases de la investigación. Ya abarcamos los aspectos más generales del diseño, ahora nos centraremos en puntos más específicos que darán un alcance más comercial al proyecto de Tesis.

#### **3.3.1 Plan de Trabajo**

##### **3.3.1.1 Objetivos de calidad**

Garantizar un suministro eficiente y sostenible de agua para riego en comunidades rurales de Lima mediante la implementación de un sistema de generación de agua atmosférica (AWG) alimentado por biogás, optimizando su rendimiento energético, reduciendo costos operativos y minimizando el impacto ambiental.

##### **3.3.1.2 Alcance del proyecto**

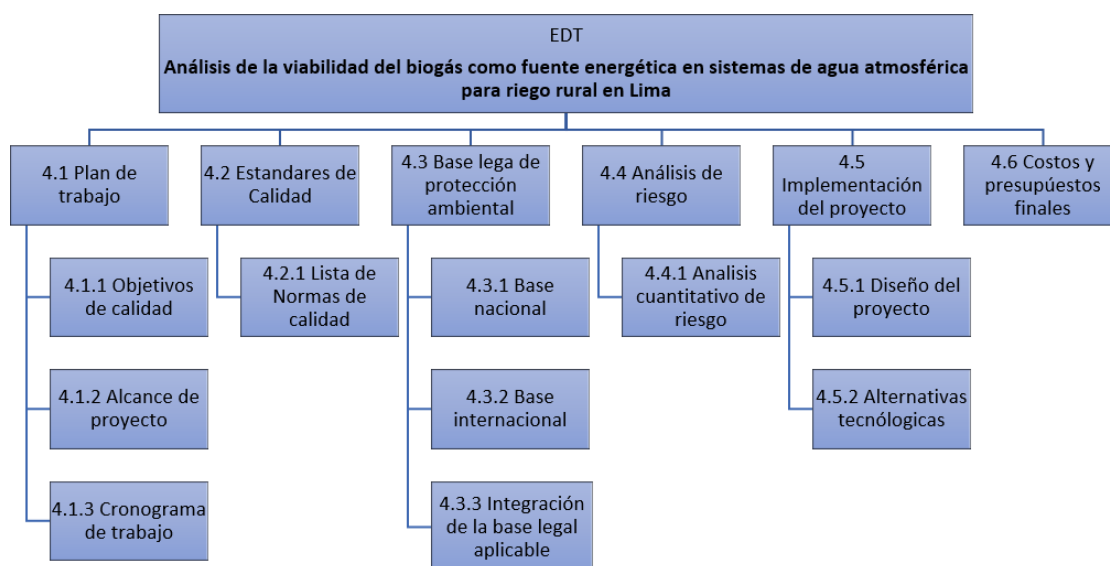
El alcance de este estudio permitirá determinar la factibilidad del uso de biogás para sistemas AWG en zonas rurales de Lima y su potencial contribución al acceso sostenible al agua para riego agrícola.

##### **3.3.1.3 Limitaciones del trabajo de Tesis**

- a) No se realizará la implementación física del sistema, sino que el análisis se basará en estudios previos y cálculos teóricos.
- b) La evaluación económica considera solo los costos de instalación y mantenimiento, sin incluir infraestructura de distribución del agua.
- c) Los resultados dependen del tipo de materia orgánica utilizada, por lo que pueden variar según la disponibilidad local de residuos orgánicos.

**Figura 76**

*Alcance de Proyecto EDT*



Nota. Elaboración propia

### 3.3.2 Cronograma de trabajo

Para el desarrollo del cronograma del proyecto haremos uso de uno de los métodos más utilizados, el método de la Ruta Crítica o CPM. Este método determina la ruta de mayor duración a través de un diagrama de red donde se visualiza la duración total del proyecto

Para poder calcular la ruta crítica necesitaremos conocer algunos datos previos:

- Duración de cada actividad
- Relación lógica entre actividades

La duración de cada actividad se calcula haciendo uso de la técnica de estimación PERT, esta técnica propone estimar la duración de la actividad utilizando los tres posibles valores que son: La duración pesimista, la duración más probable y la duración optimista.

Para el cálculo estimado en días tenemos las siguientes formulas:

### **Desviación media o Distribución beta**

$$M = (O + 4Pr - Ps)/6$$

Donde:

M: Distribución media

O: Duración optimista

Pr: Duración probable

Ps: Duración pesimista

D.E: Duración estimada

### **Desviación estándar**

$$D.s = (Ps - O)/6$$

Tener presente las siguientes consideraciones:

$$D.E = M \pm D.s \quad (\text{Es } 68\% \text{ probable})$$

$$D.E = M \pm 2 * D.s \quad (\text{Es } 95\% \text{ probable})$$

$$D.E = M \pm 3 * D.s \quad (\text{Es } 99\% \text{ probable})$$

**Figura 77**

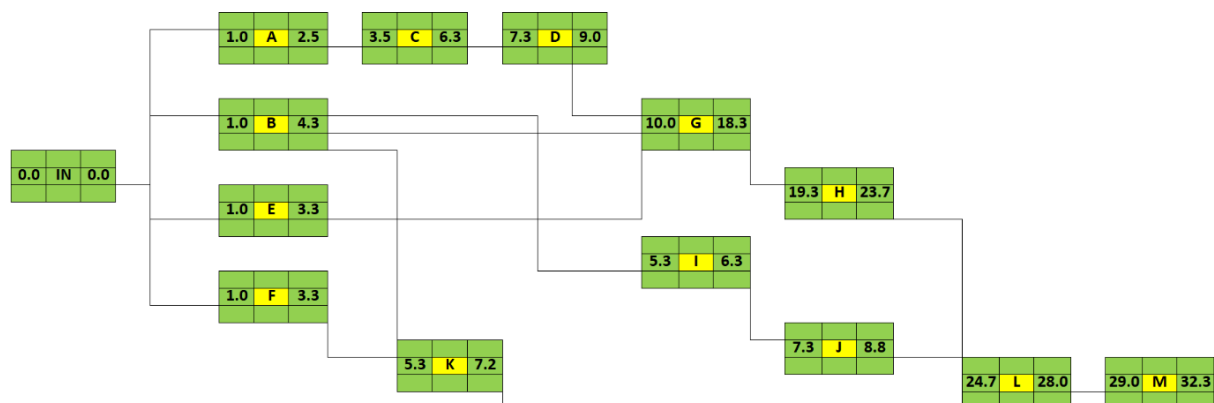
*Puesta en Marcha del proyecto*

ID	ACTIVIDADES	PREDECESORA	Optimista (semanas)	Probable (semanas)	Pesimista (Semanas)	Media (Semanas)
A	Selección del terreno		2	3	5	1.5
B	Contratacion de personal		4	6	8	3.3
C	Compra de terrenos	A	3	5	6	2.8
D	Compra de material de construcción	C	2	3	4	1.7
E	Alquiler de maquinaria pesada		3	4	5	2.3
F	Compra de Equipos y maquinarias		3	4	5	2.3
G	Construccion de la infraestructura	B,D y E	12	13	14	8.3
H	implementacion de equipos	G	6	7	8	4.3
I	Capacitacion de personal	B	1	2	3	1.0
J	Elaboracion de procedimientos de trabajo y seguridad	I	2	2.5	3	1.5
K	Comprar equipos informaticos	B,F	2.5	3	3.5	1.8
L	Logistica de distribución de agua	H,J y K	4	6	8	3.3
M	Construir el sistema de distribución de agua a regadios	L	5	5.5	7	3.3

Nota. Elaboración propia

**Figura 78**

*Diagrama de Red CPM*



Nota. Elaboración propia

Se estima por tanto una duración aproximada de 32,3 semanas desde el inicio del proyecto hasta su puesta en marcha.

### 3.4 Estándares de calidad del proyecto

Los estándares de calidad del proyecto definen criterios técnicos, ambientales, económicos y metodológicos.

ISO 14001:2015 – Sistema de Gestión Ambiental.

ISO 50001:2018 – Sistema de Gestión de Energía.

ISO 9001:2015 – Sistema de Gestión de Calidad.

ASTM E2027-17 -- Guía estándar para la evaluación de sistemas de agua para la captación de agua.

ISO 14687-2:2019 – Especificaciones para el Biogás.

IEC 61724-1:2017 – Norma de Monitoreo y Evaluación de Sistemas Fotovoltaicos (adaptable a sistemas AWG para evaluar la eficiencia).

NTP 170:2019 Sistema de Gestión ambiental de Proyectos

NTP 600:043 Evaluación de Impacto Ambiental de Proyecto

ISO 31000:2018 – Gestión del riesgo (Ayuda a evaluar riesgos técnicos y financieros)

NTP 640.020 – Evaluación del proyecto de Inversión.

FAO Technical Paper No. 311 - “Biogas Technology: A Training Manual for Extension” (Guía sobre el diseño del biodigestor y su integración con otros sistemas como el AWG)

### **3.5 Base legal de protección ambiental**

#### **3.5.1 Base nacional**

Se comparten las bases legales nacionales y su relevancia en el proyecto de investigación.

a) **Ley N°30.577 – Ley de Energías Renovables peruana**

**Objetivo:** Regula las acciones para la protección y preservación del medio ambiente en el país, promoviendo proyectos que no perjudiquen el entorno natural.

**Relevancia:** Al ser un proyecto basado en la energía renovable y el aprovechamiento de residuos orgánicos, cumple con la legislación ambiental que promueve la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente.

b) **Ley N°27.389** – Ley de protección y Defensa del Medio Ambiente

**Objetivo:** Regula las acciones para la protección y preservación del medio ambiente en el país, promoviendo proyectos que no perjudiquen el entorno natural.

**Relevancia:** Al ser un proyecto basado en la energía renovable y el aprovechamiento de residuos orgánicos, cumple con la legislación ambiental que promueve la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente.

c) **Ley N°28.897** – Ley sobre la promoción de Proyectos de Biogás

**Objetivo:** Fomenta el desarrollo de proyectos de biogás para generar energía a partir de residuos orgánicos. Esta ley incluye incentivos fiscales y otros beneficios para proyectos que utilicen biogás como fuente energética.

**Relevancia:** Específicamente para la producción de biogás y su utilización en sistemas como el AWG, esta ley podría ofrecer beneficios fiscales o regulaciones pertinentes para tu propuesta.

d) **Ley N°27.341** – Ley General de Aguas

**Objetivo:** Regula la gestión, conservación, distribución y uso del agua en Perú. En esta ley se establece el acceso al agua como un derecho humano fundamental y se protegen las fuentes hídricas del país.

**Relevancia:** Esta ley establece las normas para la gestión del recurso hídrico en el país.

e) **Ley N ° 29.417 – Ley de Energía Renovable**

**Objetivo:** Promueve el uso de energías renovables en Perú. Esta ley establece mecanismos para el fomento de fuentes energéticas limpias, como el biogás, para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables.

**Relevancia:** El biogás como fuente de energía renovable es tema central, y esta ley establece el marco legal para su uso en proyectos energéticos.

### **3.5.2 Base internacional**

Se comparten las bases legales nacionales y su relevancia en el proyecto de investigación.

a) **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible - Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).**

**ODS 6:** Garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

**ODS 7:** Garantizar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas.

**ODS 12:** Promover la producción y el consumo responsables.

**Relevancia:** El proyecto de tesis contribuye directamente con los objetivos ODS 6 y ODS 7 promoviendo un uso eficiente del recurso hídrico.

b) **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**

**Objetivo:** Este acuerdo internacional busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y mitigar el cambio climático. La utilización de biogás como fuente de energía renovable está alineada con los esfuerzos globales por reducir la huella de carbono.

**Relevancia:** Al utilizar biogás, una fuente de energía renovable, contribuyes a la lucha contra el cambio climático, alineando mi trabajo de tesis con los compromisos internacionales del país.

c) Protocolo de Kioto - Acuerdo de París

**Objetivo:** Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global mediante mecanismos de mercado, como los créditos de carbono.

**Relevancia:** El uso de biogás puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que te permitiría involucrar a mi proyecto en mecanismos de compensación de carbono, contribuyendo a la implementación de estos acuerdos.

d) Directiva Europea 2009/28/CE sobre Energías Renovables

**Objetivo:** Establece un marco común para la promoción de energías renovables en la Unión Europea, alentando la adopción de tecnologías como el biogás para la producción de energía.

**Relevancia:** Aunque esta directiva es europea, establece principios y buenas prácticas que podrían servir de referencia para proyectos de biogás en otras partes del mundo.

e) Convenio de Ramsar sobre los Humedales

**Objetivo:** Protege los humedales de importancia internacional, especialmente aquellos que están en peligro debido a la escasez de agua.

**Relevancia:** Aunque no se refiere directamente a biogás o AWG, la gestión sostenible del agua, como la propuesta del proyecto, puede ser vista como un apoyo a la conservación de ecosistemas acuáticos vulnerables.



### 3.5.3 Integración de la base legal aplicable

La legislación peruana favorece los proyectos de biogás y la gestión eficiente del agua, mientras que las normativas internacionales proporcionan una base adicional para garantizar que el proyecto esté alineado con los objetivos globales de desarrollo sostenible.

## 3.6 Análisis cuantitativo de riesgos

Este capítulo presenta el análisis de riesgos del proyecto mediante la simulación Monte Carlo, evaluando el impacto en el costo y el tiempo de ejecución. Se identificaron 30 riesgos asociados a diferentes etapas del proyecto y se realizó una simulación para determinar la probabilidad de sobrecostos y retrasos.

### 3.6.1 Identificación de riesgos

Se han plasmado los principales riesgos dentro de la siguiente tabla, considerando su impacto en costos y tiempo.

**Tabla 16**

*Tabla de riesgos asociados al proyecto*

Nº	Riesgo	Impacto en Costo (S/.)	Impacto en Tiempo (semanas)	Probabilidad (%)
1	Retraso en la entrega de materiales	8,000	2	30%
2	Aumento en el precio de materiales	14,000	0	25%
3	Problemas de diseño del sistema	16,000	3	20%
4	Fallas en el biodigestor	20,000	4	15%
5	Demoras en permisos y licencias	6,000	3	35%
6	Condiciones climáticas adversas	11,200	2	30%
7	Escasez de mano de obra calificada	12,800	3	25%
8	Problemas logísticos	10,000	2	30%
9	Fallas en equipos de generación de agua	18,000	5	20%
10	Desviaciones en la calidad del agua generada	12,000	4	25%
11	Problemas en la capacitación del personal	8,000	2	30%
12	Costos adicionales por mantenimiento	10,800	0	20%
13	Cambios en normativas ambientales	15,200	2	25%

Nº	Riesgo	Impacto en Costo (S/.)	Impacto en Tiempo (semanas)	Probabilidad (%)
14	Problemas de comunicación con stakeholders	7,200	1	35%
15	Riesgo de accidentes laborales	20,000	2	15%
16	Demoras en importación de equipos	14,000	4	25%
17	Fallos eléctricos en el sistema	11,600	3	30%
18	Problemas en la calibración de equipos	9,600	2	30%
19	Desconocimiento técnico de operadores	6,000	1	35%
20	Conflictos en el equipo de trabajo	7,200	1	30%
21	Incremento en costos de transporte	8,000	0	25%
22	Problemas de almacenamiento de materiales	6,800	1	30%
23	Escasez de repuestos	11,200	2	25%
24	Pérdida de materiales en obra	12,000	2	25%
25	Rechazo de la comunidad local	8,800	3	20%
26	Problemas de financiamiento	16,000	4	20%
27	Riesgos de salud pública	14,000	2	20%
28	Fallas en sistemas de monitoreo	10,400	3	25%
29	Cambios en el alcance del proyecto	20,000	4	15%
30	Problemas de conexión con la red eléctrica	12,800	3	25%

Nota. Lista de riesgos asociados al proyecto.

**Tabla 17**

*Tabla de actividades y riesgos asociados*

Nº	Actividad	Duración (semanas)	Costo (S/.)	Predecesor	Riesgos Asociados
1	Selección del terreno	1.5	-	-	14, 25
2	Contratación de personal	3.33	-	-	7, 20
3	Compra de terrenos	2.83	-	1	5, 13, 25, 26
4	Compra de material de construcción	1.67	20,000	3	1, 2, 21, 22, 24
5	Alquiler de maquinaria pesada	2.33	-	-	-
6	Compra de Equipos y maquinarias	2.33	121,300	-	1, 2, 16, 21, 22, 23, 26
7	Construcción de la infraestructura	8.33	3,200	2, 4, 5	3, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 20, 24, 25, 26, 29
8	Implementación de equipos	4.33	10,000	7	3, 4, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 28, 29, 30
9	Capacitación de personal	1	-	2	11, 19
10	Elaboración de procedimientos de trabajo y seguridad	1.5	1,000	9	-
11	Comprar equipos informáticos	1.83	20,000	2, 6	-

Nº	Actividad	Duración (semanas)	Costo (S/.)	Predecesor	Riesgos Asociados
12	Logística de distribución de agua	3.33	5,000	8, 10, 11	8, 9, 10, 12, 17, 18, 21, 23, 27, 28, 30
13	Construcción del sistema de distribución de agua a regadíos	3.33	20,000	12	10, 27

Nota. Estos riesgos se asocian a cada etapa del proyecto por sus funciones.

### 3.6.2 Simulación MonteCarlo

Se realizó esta simulación en el programa Risk Project, obteniendo como resultados lo siguiente:

#### Figura 79

Resultados de simulación de análisis de riesgos

		Project Start Time	Project Duration	Project Finish Time	Total Project Cost
No Risks	Cur. Schedule	03/14/25 08:00	181 days	11/21/25 17:00	\$200,500
With Risks	Low	03/14/25 08:00	274 days	04/01/26 17:00	\$291,300
	Base	03/14/25 08:00	356 days	07/24/26 17:00	\$355,421
	High	03/14/25 08:00	447 days	12/01/26 08:01	\$418,900

Nota. Resultados de simulación en Risk Project.

Inicialmente el costo esperado del proyecto es de S/. 200,500.00 con una duración de 181 días.

Se han evaluado tres escenarios principales en la simulación Monte Carlo:

#### 1. Escenario Optimista

- Costo: S/ 291,300.00
- Duración: 274 días
- Factores clave: Se minimizan retrasos en permisos y en la entrega de materiales. Las condiciones climáticas son favorables.

#### 2. Escenario Medio

- Costo: S/ 355,421.00
- Duración: 356 días

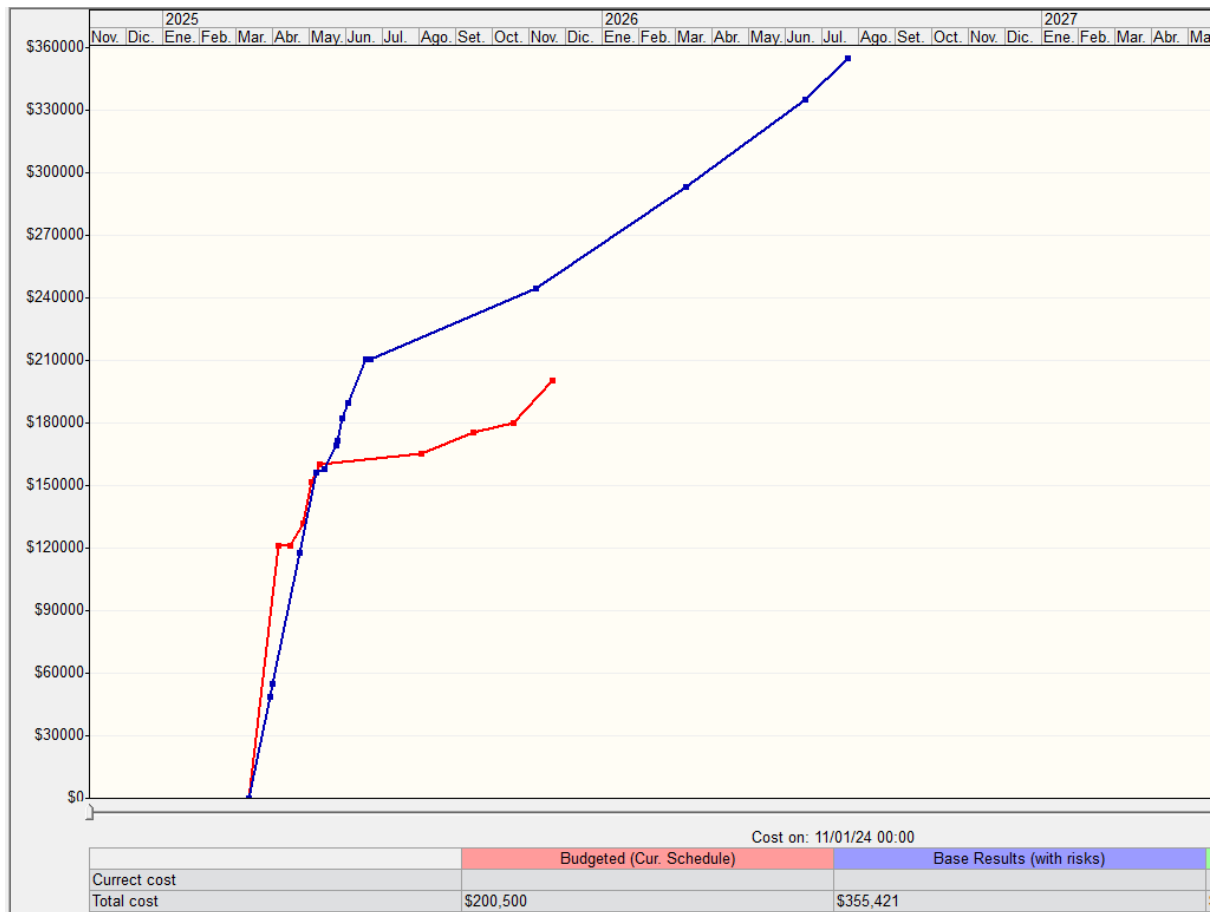
- Factores clave: Se presentan algunas demoras en la entrega de equipos y pequeñas desviaciones en el costo de materiales.

### 3. Escenario Pesimista

- Costo: S/ 418,900.00
- Duración: 447 días
- Factores clave: Se producen retrasos significativos en permisos y problemas logísticos en la distribución de equipos y materiales.

**Figura 80**

*Grafica de riesgos*



Nota. se muestra el costo en función del tiempo del proyecto comparando el escenario medio (con riesgos) y el escenario esperado.

### 3.6.3 Análisis de Viabilidad

**Impacto en costos:** En el escenario promedio, el proyecto costaría alrededor de S/ 355,421.00 (200,500 + 154,921), lo que representa un sobrecosto del 77.26%. En el peor caso, podría alcanzar S/ 418,900.00, duplicándose el proyecto, lo cual podría comprometer la viabilidad si no hay margen financiero.

**Impacto en tiempo:** El tiempo promedio proyectado sería 181 días, y en el peor escenario podría extenderse hasta 447 días. El proyecto se retrasaría significativamente.

**Riesgo de inviabilidad:** Si el financiamiento y la planificación no contemplan estos márgenes, el proyecto podría ser inviable en su forma actual.

## 3.7 Implementación del proyecto

### 3.7.1 Diseño del proyecto

Este subcapítulo incluye todo lo ya realizado en la investigación adicionando la instalación detallada del ensamble biodigestor- generador y las conexiones eléctricas desde el generador a los equipos del sistema AWG.

### 3.7.2 Alternativas tecnológicas

En este capítulo evaluaremos el uso de energía Solar como alternativa energética del biogás, se realizarán algunos cálculos en base a la cantidad de energía requerida por el sistema. Buscamos obtener la cantidad de paneles solares necesarios y el área requerida para la instalación.

Para la siguiente propuesta se usará el panel solar modelo **TSM-DEG15MC.20(II)**.

**Figura 81**

*Datos técnicos del panel solar seleccionado*

Modelo	TSM-DEG15MC.20(II)
Número de células	144 celdas (6 x 24)
Tipo de Células	Monocrystalino
Tensión máxima del sistema	1500 V DC (IEC) / 1000 V DC ((UL)
Potencia nominal	405 Wp + Backside Power Gain = <b>506 WP</b>
Rango de potencia	0 ~ +5
Tensión nominal Vmpp	41.1 V
Tensión de circuito abierto Voc	49.4 V
Corriente nominal Impp	11.34 A
Corriente de cortocircuito Isc	11.93 A
Coef. Temp. Tensión	-0.25% / °C
Coef. Temp. Corriente	-0.04% / °C
Coef. Temp. Potencia	-0.35% / °C
Temperatura de Trabajo	-40 ~ +85°C
Dimensiones	1658 × 992 × 6 mm / 1664 x 998 x 7.6 mm (con protector de esquina)
Peso	23.0Kg
Conexión	IP 68
Conector	MC4 EV02 / TS4
Diodos by-pass	SI
Garantía	Del producto: 12 años contra defectos de fabricación. De producción: 90% durante 10 años, 80% durante 30 años

Nota. Elaboración propia

### Cálculo de la cantidad de módulos solares

Del diseño previo del proyecto, la energía necesaria para su funcionamiento es de 179.52KWh y la hora solar promedio anual en Lima es de 5.5 KWh/m2, valor calculado de la data del sitio web (Tu Tiempo.net, 2024). Nos basaremos en las fórmulas empleadas por (Bonilla, 2022) para los cálculos.

$$Potencial_{fotovoltaico} = \frac{Consumo}{Hora\ solar\ Pico}$$

$$Potencial_{fotovoltaico} = \frac{179.52\ KWh}{5.5\ KWh/m^2}$$

$$Potencial_{fotovoltaico} = 32.64\ KWp$$

$$N^{\circ}_{modulos} = \frac{Potencial_{fotovoltaico}}{Potencial_{módulo}} + \left( \frac{Potencial_{fotovoltaico}}{Potencial_{módulo}} * 25\% \right)$$

$$N^{\circ}_{modulos} = \frac{32.64}{0.506} + \left( \frac{32.64}{0.506} * 25\% \right)$$

$$N^{\circ}_{modulos} = 80.625$$

Se concluye que sería necesario 81 módulos para dar energía al sistema. De lo anterior tenemos entonces que el área total ocupada por los paneles solares sería:

$$A_{total} = (Largo(m) * Ancho(m))$$

$$A_{total} = (1,664m * 0.998m) * 81$$

$$A_{total} = (1,664m * 0.998m)$$

$$A_{total}=34.45 \text{ m}^2$$

Vemos que se requiere una cantidad considerable de módulos para abastecer de energía al sistema AWG, lo que elevaría los costos y restaría rentabilidad al proyecto.

### 3.8 Costos y presupuestos finales

En este capítulo consideraremos los costos de implementar el proyecto en el área de trabajo, para ello nos basaremos en los costos considerados en el cronograma del proyecto.

**Figura 82**

*Costos finales del proyecto*

ID	ACTIVIDADES	PREDECESORA	Media (Semanas)	COSTOS(S./)
A	Selección del terreno		1.5	-
B	Contratacion de personal		3.3	-
C	Compra de terrenos	A	2.8	-
D	Compra de material de construcción	C	1.7	20000.0
E	Alquiler de maquinaria pesada		2.3	-
F	Compra de Equipos y maquinarias		2.3	121300.0
G	Construccion de la infraestructura	B,D y E	8.3	3200.0
H	implementacion de equipos	G	4.3	10000.0
I	Capacitacion de personal	B	1.0	-
J	Elaboracion de procedimientos de trabajo y seguridad	I	1.5	1000.0
K	Comprar equipos informaticos	B,F	1.8	20000.0
L	Logistica de distribución de agua	H,J y K	3.3	5000.0
M	Construir el sistema de distribucion de agua a regadios	L	3.3	20000.0
<b>Total</b>				200500.0

Nota. Elaboración propia

Con este nuevo valor, volvemos a realizar nuestros cálculos de rentabilidad

Procedemos a realizar el siguiente análisis:

$$\frac{179.52 \text{ Kwh/dia}}{500 \text{ L/dia}} = 0.35904 \text{ Kwh/L}$$

$$\frac{179.52 \frac{\text{Kwh}}{\text{dia}} * 365 \text{ dias}}{1 \text{ año}} = 65524.8 \text{ Kwh/año}$$

$$\frac{200,500.0}{10 \text{ años}} = 20,500 \text{ Soles/años}$$

$$\frac{20,500.0 \frac{\text{Soles}}{\text{año}}}{65524.8 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}}} = 0.3128 \text{ Soles/Kwh}$$

$$0.35904 \frac{\text{Kwh}}{\text{L}} * 0.3128 \frac{\text{Soles}}{\text{Kwh}} = 0.1123 \text{ Soles/Litro}$$

El costo por Litro de agua se incrementó, pero sigue estando por debajo del costo promedio alternativo.

Al realizar un análisis de rentabilidad para en nuevo valor es necesario ampliar el plazo a 13 años de recuperación. Vemos que a largo plazo nuestro proyecto no es rentable por las grandes cantidades de dinero que se requiere, pero supone un primer paso a mejores alternativas tecnológicas.



**Figura 83**

*Valores de rentabilidad para 13 años de inversión*

	Valores	Rentabilidad
VA	S/ 206,487.11	
Inversiones	-S/ 200,500.00	
VAN	S/ 5,987.11	SI
TIR	13%	SI
B/C	1.029860883	SI
Tasa	0.15	

Nota. Elaboración propia

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS, CONTRATACIÓN DE HIPÓTESIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO**

- Biodigestores como opción eficiente y económica al ser de bajo costo, fáciles de construir y además de utilizar residuos orgánicos en las comunidades rurales.
- La implementación del sistema reduce la dependencia de fuentes tradicionales de agua, como pozos y ríos, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica en comunidades rurales afectadas por la escasez.
- Los sistemas generadores de agua atmosférica (AWG), alimentados con biogás producido en biodigestores tubulares, pueden producir hasta 500 litros de agua diarios (15 m<sup>3</sup> mensuales). Esta cantidad es suficiente para cubrir las necesidades de riego agrícola en zonas rurales y hacer viable el proyecto.
- El proyecto combina la gestión sostenible de recursos hídricos y energéticos, promoviendo prácticas agrícolas más resilientes y adaptadas al cambio climático en zonas vulnerables de Lima.

## Conclusiones

- El biogás representa una salida a la problemática energética para sistemas AWG, para nuestro sistema con 26.5 Kg por día de material orgánico podíamos generar la suficiente energía para abastecer de 500L diarios de agua. Estos resultados, basados en estudios previos de investigación citados en el Cap7 del presente trabajo nos demuestran que, a pesar de los costos de implementación, a largo plazo el biogás es una solución ecológica y rentable en zonas rurales.
- El equipo de generación de agua es capaz de generar 500L de agua al día con un consumo de 26.5 Kg de materia orgánica diaria. Como una ventana de oportunidades, se puede destinar este material orgánico, ya que, según estudios preliminares, puede funcionar como un potente fertilizante natural y así reduciendo mucho más los costos de producción.
- El rendimiento del equipo mejora si consideramos un equipo de motor reciprocante con sistema de cogeneración, ideal para condiciones de campo en zonas rurales.
- Se recomienda un estudio previo de los potenciales caloríficos y la generación real de abono en el lugar de implementación, este proyecto está basado en estudios previos de biodigestores y existen otros factores como el porcentaje de azufre que pueden dañar el equipo. Además, como se vio en el Capítulo 7.6, los resultados energéticos dependen del tipo de material orgánico utilizado.
- El costo de generación de agua es de 0.0997 soles/ litro de agua, que es mucho menor que el agua embotellada y de cisterna, pero sigue estando por debajo del servicio local sin considerar los costos de infraestructura para su transporte a la zona.
- El presupuesto total que involucra la implementación del proyecto asciende a **S/. 200,500.0** y gastos de operación y mantenimiento de **S/. 1500** anual, con esto se obtiene un Valor Actual Neto de **S/.5987.0** con un TIR del **13%** para un periodo de 13 años de recuperación.

- De análisis de riesgos el proyecto no es viable bajo las condiciones actuales. Se requiere ajustar el presupuesto, optimizar la gestión de riesgos y buscar estrategias para reducir costos y tiempos.
- Del análisis de riesgos se requiere implementar estrategias como una mejor planificación de compras, contratos con proveedores confiables y medidas de mitigación ante demoras en permisos podría reducir los riesgos más críticos y mejorar la probabilidad de éxito.
- Del análisis de riesgos Los riesgos con mayor impacto en tiempo y costo son: retrasos en la entrega de materiales, problemas logísticos, cambios en normativas ambientales y escasez de mano de obra calificada. Estos afectan directamente la construcción e implementación del sistema. En este escenario se requieren controles que mitiguen las pérdidas enfocadas en estos riesgos.

## **Recomendaciones**

Con base al objetivo general y las conclusiones de la investigación, se mencionarán algunas recomendaciones más detalladas y específicas:

- Realizar talleres prácticos en las comunidades rurales para construir y mantener biodigestores tubulares.
- Explorar el uso de materiales reciclados o locales en la construcción del biodigestor.
- Desarrollar campañas educativas sobre la importancia del uso sostenible de recursos hídricos y energías renovables, fomentando la participación activa de la comunidad.

## Bibliografía

- AirWater Corporation. (2024). Obtenido de <https://water-memory-consciousness.blogspot.com/p/atmospheric-water-generator.html>
- Alfa Laval. (2024). *Evaporadores de carcasa y tubo*. Obtenido de <https://www.alfalaval.com.co/productos-y-soluciones/transferencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-tubulares/evaporador-de-carcasa-y-tubos/>
- Alvarez, O. (2021). *Design proposal of an industrial biodigester of filter-Cake*.
- Antonio Ospino, R. y. (2023). *Enfriamiento de aire ideal con deshumidificación o condensación*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=tGZexxZf494>
- Apaza, O. (2019). *Obtención de agua a partir del aire atmosférico*. La Paz - Bolivia.
- Banco Interamericano de desarrollo. (2017). *Generación eléctrica a partir de biogas*. Obtenido de <https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Generaci%C3%B3n-de-electricidad-a-partir-de-biog%C3%A1s-capturado-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-Un-an%C3%A1lisis-te%C3%B3rico-pr%C3%A1ctico.pdf>
- Bonilla, A. (2022). *Diseño de un dispositivo para la catación de agua utilizando humedad del aire ambiente a través de Métodos activos de Condensación en la ranchería Santa Rosa, Manaure, La Guajira*. Bucaramanga-Colombia.
- Castillos, A. (6 de agosto de 2011). *Biodigestores de flujo continuo en Uruguay*. Obtenido de <https://biodigestoresflujocontinuoouruguay.blogspot.com/2011/08/experiencias-de-construccion-y.html>
- Catalogo de evaporadores, C. (2024). *Camara Garcia*. Obtenido de [https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap\\_LC.pdf](https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap_LC.pdf)
- Catalogo evaporador, C. (2024). *Catalogo de evaporador*. Obtenido de [https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap\\_LC.pdf](https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap_LC.pdf)
- Cátalogo Rotoplas. (2024). Obtenido de <https://www.rotoplas.com.pe/tanques>
- Catálogo sensor. (2024). Obtenido de <https://www.eicos.com/sensor-de-nivel/montaje-lateral/LA36M-40/>
- Catalogo válvula . (2024). Obtenido de <https://sodimac.falabella.com.pe/sodimac-pe/category/CATG14437/Llaves-y-Valvulas-de-Agua-y-Gas?f.product.brandName=pavco>
- CATERPILLAR. (2024). Obtenido de [https://www.cat.com/es\\_ES/products/new/power-systems/electric-power/gas-generator-sets/18475658.html](https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/electric-power/gas-generator-sets/18475658.html)

Choquenaira, R. (2020). *Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada por hogares de bajos recursos económicos que crían animales menores ubicados en la zona agrícola de la ciudad de Arequipa*. Arequipa.

Ciabe Industria Brasileira de Evaporadores EIRELE. (s.f.). *Evaporador de aire forzado de bajo perfil*. Rio Grande do Sul, Brasil.

Cobo, G. (2020). *Análisis de la calidad de agua obtenido a partir de un sistema de condensación de la humedad del aire*.

cosechas, M. d. (2024). *Manual de manejo de cosechas*.

Cotización AWG. (2024). Corefluid SAC. Obtenido de <https://www.corefluid.es/product/ventilador-sodeca-modelo-hep-25-4t-h/>

Danfoss Corporation. (2024). *Catalogo de compresores Danfoss*. Obtenido de <https://www.danfoss.com/es-mx/>

Electriz Mexico. (2024). *Cogeneracion con gas natural*. Obtenido de <https://electriz.com.mx/cogeneracion-gas-natural/>

Energy Spacewell. (4 de agosto de 2023). *La biomasa una fuente de energia eficiente y renovable*. Obtenido de <https://www.dexma.com/es/blog-es/biomasa-como-fuente-de-energia-eficiente/>

Enfri Factor Company. (s.f.). *Cálculo y diseño de serpentín de enfriamiento*. Obtenido de <https://enfriador.com/psicrometria-calculos-del-serpentin/>

Eurostat, AIE y resolución de secretaria de los estados de energía. (27 de diciembre de 2013). Poder Calorífico de diferentes fuentes de energía.

Filtro de aire. (2024). Obtenido de <https://www.klcintl.com/high-efficiency-low-pressure-drop-mini-pleat-filter-hepa-ulpa>

Frozytec International Inc. (2022). *La pieza clave de un sistema de refrigeración*. Recuperado el 24 de 11 de 2024, de <https://www.froztec.com/es-mx/como funciona-un-intercambiador-de-calor-en-un-sistema-de-refrigeracion>

Galindo Torres, M. (2015). *Condensación de la humedad del aire: Solución a la escasez de agua en regiones de Colombia como la Guajira y San Andres Isla*. La Guajira-Colombia.

García Cámara Corporation. (2024). *Catalogo de productos*. Obtenido de <https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/garcia-camara-catalogo-producto.pdf>

Gefrieren Corporation. (s.f.). *Ficha tecnica de refrigerante R407C*. San Mateo de Guatepec, México.

Gerencie.com. (26 de junio de 2022). *Vida util de los activos fijos o despreciables*. Obtenido de <https://www.gerencie.com/vida-util-de-los-activos-fijos.html>

Goribar, H. (s.f.). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración sexta edición*. México: Limusa.

Guia Tecnica de VST expuestos a ruido. (2024). *Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a ruido*. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20VST%20Expuestos%20a%20Ruido.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20VST%20Expuestos%20a%20Ruido.pdf)

H.Stars Group. (s.f.). *Evaporador de Tipo inundado*. Obtenido de [https://es.hstarschiller.com/stainless-shell-and-tube-flooded-type-evaporator\\_p76.html](https://es.hstarschiller.com/stainless-shell-and-tube-flooded-type-evaporator_p76.html)

Hernandez Alarcon, G. (2020). *Tecnología de A&S*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/reactor-anaerobio-de-flujo-ascendente>

HFM industry. (2024). *Trocador de Calor e Frio Industrial*. Recuperado el 11 de noviembre de 2024, de <https://www.directindustry.com/pt/prod/hofmann-beijing-engineering-technology-co-ltd/product-200015-2034367.html>

Home Solution. (s.f.). *Tecnico de aire*. Obtenido de <https://homesolution.net/pe/about/preciosreferencia/tecnico-de-aire>

Keyter Group. (2024). *Diagrama de Mollier*. Obtenido de <https://www.keyter.com/es/diagrama-de-mollier/#news>

La Gaceta - Universidad de Guadalajara. (22 de marzo de 2022). *La Gaceta, medio oficial de la Universidad de Guadalajara*. Obtenido de <https://www.gaceta.udg.mx/una-persona-necesita-100-litros-de-agua-al-dia-oms/>

Lifeder Corporation. (23 de 10 de 2023). *Ciclo de Carnot*. Recuperado el 24 de 11 de 2024, de <https://www.lifeder.com/ciclo-de-carnot/>

Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia. (2014). *Manual de buenas prácticas en refrigeración*. Colombia: MinAmbiente.

Meteoblue Company. (2024). *Tiempo admosferico en Lima*. Obtenido de [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/el-callao\\_per%C3%BA\\_3946083](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/el-callao_per%C3%BA_3946083)



- MODASA, GRUPOS GENERADORES. (2021). *Mantenimiento preventivo* . Obtenido de <https://modasa.com.pe/wp-content/uploads/2021/05/TARIFARIO-DE-SERVICIOS-PREVENTIVOS-copia.pdf>
- Molina Fuentes, J. O. (30 de 12 de 2016). *Modelado y Simulación Energética de Edificios, Eficiencia Energética, Energía Solar, Confort Térmico, Envolverte de Edificios y Climatización Solar*. Recuperado el 24 de 11 de 2024, de <https://alternativarenovable.blogspot.com/2016/12/confort-termico.html>
- NEWECO Corporation. (2024). *NEWECO*. Obtenido de <https://www.neweco.biz/es/>
- Oficina regional de la FAO para America Latina y El Caribe. (1991). *Principio de secado de granos psicrometría higroscopia*. Recuperado el 24 de 11 de 2024, de Principio de secado de granos psicrometría higroscopia: <https://www.fao.org/4/x5057s/x5057S01.htm#2.%20Psicrometr%C3%ADa>
- OpenAI company. (2024). *ChatGPT*. Obtenido de <https://chatgpt.com/>
- Ortega, R. (14 de diciembre de 2010). *Cloroplastas*. Recuperado el 24 de 11 de 2024, de <https://cloroplastas.blogspot.com/2010/11/que-es-el-agujero-de-la-cap-a-de-ozono.html>
- Ospino, A. (2023). *Enfriamiento real de aire sin deshumidificación con factor de bypass*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=iP4ZJ4DBeV4&t=116s>
- Ospino, A. (2024). *Antonio Ospino Refrigeración y Climatización* . Obtenido de youtube
- Peraza. (2017). *Module of condensation of moisture in the air for the generation*. Sinaloa.
- Pinto, B. E. (2020). *Diseño de un biodigestor para generación de energía a partir de esiercol de ganado vacuno*. Chiclayo-Lambayeque: Univ, Santo Toribio de Mogrovejo.
- Ramirez Coutiño, V. (12 de 2016). *Configuración geométrica del intercambiador de calor de tubo concéntrico*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Configuracion-geometrica-del-intercambiador-de-calor-de-tubo-concentrico\\_fig1\\_311924385](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Configuracion-geometrica-del-intercambiador-de-calor-de-tubo-concentrico_fig1_311924385)
- Rodriguez Pajarón, P. (2016). *Diseño y cálculo de un dispositivo para la obtención de agua potable por condensación de la humedad del aire*. Madrid-España.
- Román Campos, K., & Zuñiga Gamboa, Y. (2021). *Refirgeracion con bajo potencial de calentamiento global*. San José, Costa Rica.
- Ruiz Plaza, L. M., & Gomez Aguilar, A. S. (2020). *Prototipo de Generador de energia electrica a partir del biogas*. Villavicencio: AGROTEC SAS.

- Saga Fluid process Tecnology. (2024). *Intercambiado de Calor tubular*. Obtenido de <https://sagafluid.com/intercambiador-de-calor-tubular/>
- Sierra, H. S. (2023). *Sistema de generación eléctrica utilizando biodigestores*. Medellín: Universidad Pascual Bravo.
- Silvera López, R. (21 de julio de 2015). *Ciclos de refrigeración*. Recuperado el 24 de 11 de 2024, de <https://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/ciclo-ideal-de-refrigeracion-por.html>
- Sistema Bio. (2024). Obtenido de [https://sistema.bio/wp-content/uploads/1907\\_MEXICO\\_CATALOGO\\_compressed.pdf](https://sistema.bio/wp-content/uploads/1907_MEXICO_CATALOGO_compressed.pdf)
- Skywater Corporation. (2024). *La necesidad de nuevas fuentes de agua*. Obtenido de <https://islandsky.com/products/>
- Skywater Corporation. (2024). *Productos Skywater*. Obtenido de <https://islandsky.com/>
- Smaqua Corporation. (2024). *Generadores atmosféricos de agua*. Obtenido de <https://www.smaqua.es/>
- Sodeca Corporation. (2024). *Ventiladores Helicoidales y extractores de tejado HEP-HEPT*. Obtenido de <https://www.servorecambios.com/images/pdf/sodeca-helicoidales/sodeca-hele-hept.pdf>
- Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Raymond, P., & Zurbrugg, C. (2020). *Tecnologías de A&S*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/reactor-anaerobio-de-flujo-ascendente>
- Tu Tiempo.net. (2024). *Irradiación solar en Lima*. Obtenido de <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/lima.html>
- Ventiladores Sodeca Corporation. (2024). *Catálogo de ventiladores HCDF marca Sodeca*. Obtenido de [https://d7rh5s3nxmpy4.cloudfront.net/CMP2671/files/HCDF\\_ES\\_v1.pdf](https://d7rh5s3nxmpy4.cloudfront.net/CMP2671/files/HCDF_ES_v1.pdf)
- Watergen Corporation. (2020). *Generador de agua atmosférica de media escala*. Obtenido de <https://grace-latam.com/wp-content/uploads/2020/03/GEN-M.pdf>

## Anexos

Anexo N°1.	Códigos de MATLAB – parte 1 .....	1
Anexo N°2.	Códigos de MATLAB – parte 2 .....	3
Anexo N°3	CFC-Eliminados, Protocolo de Montreal .....	5
Anexo N°4	HCFC Puro - Controlado, Protocolo de Montreal .....	5
Anexo N°5	HCFC Puro - Controlado, Protocolo de Montreal .....	6
Anexo N°6	HCF Orgánico insaturado .....	6
Anexo N°7	Mezcla de HCFC – Alternativo, Protocolo de Montreal.....	7
Anexo N°8	Mezcla de HFC – Controlados, Protocolo de Montreal.....	7
Anexo N°9	Hidrocarburos - Normas de Seguridad Locales.....	8
Anexo N°10	Refrigerantes Naturales – Normas de Seguridad Locales .....	8
Anexo N°11	Clasificación de seguridad de los refrigerantes e inflamabilidad de los hidrocarburos.....	9
Anexo N°12	Ficha técnica del equipo modelo GEN-M .....	9
Anexo N°13	Especificaciones técnicas del equipo AQ250U .....	10
Anexo N°14	Características técnicas del evaporador cubico modelo LC210A .....	11
	Anexo N°14.1 Ficha técnica dimensiones del evaporador .....	11
Anexo N°15	Características técnicas del condensador axial modelo HCM52SS.....	12
Anexo N°16	Ficha técnica dimensiones del condensador .....	13
	Anexo N°16.1 Sensor de nivel, dimensiones. ....	14
	Anexo N°16.2 Ficha técnica del filtro limpiador de aire .....	14
Anexo N°17	Especificaciones técnicas del compresor .....	15
Anexo N°18	Información técnica de la válvula seleccionada .....	15
Anexo N°19	Potencial de agotamiento de ozono y potencial de Calentamiento Global .....	16
Anexo N°20	Propiedades físicas del R407C .....	17
Anexo N°21	Grupo de seguridad de los refrigerantes .....	18
Anexo N°22	Cuestionario del estudio de mercado para tecnologías AWG.....	18
Anexo N°23	Matriz de Leopold .....	22
Anexo N°24	Resultado de Matriz de Leopold .....	23

Anexo N°25	Intensidad del ruido en decibeles y su valoración subjetiva de percepción...	24
Anexo N°26	Factores de Bypass típicos.....	25
Anexo N°27	Dimensiones del Compresor modelo SZ084 .....	26
Anexo N°28	Poder calorífico de las principales fuentes de energía .....	27
Anexo N°29	Diagrama de Gantt del proyecto .....	28
Anexo N°30	Matriz de consistencia del proyecto .....	29
Anexo N°31	Lista de componentes y sus fuentes de cotización.....	30
Anexo N°32	Presupuesto para la instalación del biodigestor .....	31
Anexo N°33	Estructura tarifaria de servicios de agua potable Sedapal .....	32
Anexo N°34	Ejemplo, cálculo de consumo de agua.....	33
Anexo N°35	Consumo de agua Sedapal para generar 500L/día (15 m <sup>3</sup> / mes) .....	34
Anexo N°36	Variación de %IPC de los últimos 30 años y sus estimaciones de precios de Agua.....	34
Anexo N°37	Vista Isométrica .....	36
Anexo N°38	Vista de Planta .....	37
Anexo N°39	Plano .....	38
Anexo N°40	Cronograma de Implementación del Proyecto .....	39
Anexo N°41	Ruta Crítica.....	40

## Anexo N°1.

### Códigos de MATLAB – parte 1

```
% Tendencia de flujo masico

%TC=37°C
Te1 = [12, 10, 9, 8, 6];
m1 = [0.1346, 0.1354, 0.1359, 0.1363, 0.1371];

%TC=39°C
Te2 = [12, 10, 9, 8, 6];
m2 = [0.1372, 0.1381, 0.1385, 0.139, 0.1399];

%TC=41°C
Te3 = [12, 10, 9, 8, 6];
m3 = [0.14, 0.1409, 0.1413, 0.1418, 0.1427];

%TC=43°C
Te4 = [12, 10, 9, 8, 6];
m4 = [0.1429, 0.1438, 0.1443, 0.1447, 0.1457];

% Ajuste de curvas cúbicas
p1 = polyfit (Te1, m1, 3); % Ajuste cúbico para el primer conjunto de datos
p2 = polyfit (Te2, m2, 3); % Ajuste cúbico para el segundo conjunto de datos
p3 = polyfit (Te3, m3, 3); % Ajuste cúbico para el tercer conjunto de datos
p4 = polyfit (Te4, m4, 3); % Ajuste cúbico para el cuarto conjunto de datos

% Evaluar las curvas ajustadas
Te_values = linspace(min ([Te1, Te2, Te3, Te4]), max([Te1, Te2, Te3, Te4]), 100);
m_fit1 = polyval(p1, Te_values);
m_fit2 = polyval(p2, Te_values);
m_fit3 = polyval(p3, Te_values);
m_fit4 = polyval(p4, Te_values);

% Encontrar el valor óptimo para cada curva de tendencia cúbica (encontrando el mínimo local)
optimal_Te1 = fminbnd(@(x) polyval(p1, x), min(Te1), max(Te1));
```

```

        optimal_m1 = polyval(p1, optimal_Te1);
    optimal_Te2 = fminbnd(@(x) polyval(p2, x), min(Te2), max(Te2));
        optimal_m2 = polyval(p2, optimal_Te2);
    optimal_Te3 = fminbnd(@(x) polyval(p3, x), min(Te3), max(Te3));
        optimal_m3 = polyval(p3, optimal_Te3);
    optimal_Te4 = fminbnd(@(x) polyval(p4, x), min(Te4), max(Te4));
        optimal_m4 = polyval(p4, optimal_Te4);

    % Graficar los datos y las curvas de tendencia cúbica

        figure;
        hold on;

    plot(Te1, m1, 'bo', Te_values, m_fit1, 'b-', ... % Datos 1 y curva 1 en azul
        Te2, m2, 'ro', Te_values, m_fit2, 'r-', ... % Datos 2 y curva 2 en rojo
        Te3, m3, 'go', Te_values, m_fit3, 'g-', ... % Datos 3 y curva 3 en verde
    Te4, m4, 'ko', Te_values, m_fit4, 'k-', 'LineWidth', 2); % Datos 4 y curva 4 en negro

        xlabel('Te');
        ylabel('m');

        title('Curvas de tendencia cúbicas');

    legend(['Datos 1', ['Curva 1: y = ' num2str(p1(1)) 'x^3 + ' num2str(p1(2)) 'x^2 + '
        num2str(p1(3)) 'x + ' num2str(p1(4)) ...
        ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te1) ', ' num2str(optimal_m1) ')'], ...
'Datos 2', ['Curva 2: y = ' num2str(p2(1)) 'x^3 + ' num2str(p2(2)) 'x^2 + ' num2str(p2(3))
        'x + ' num2str(p2(4)) ...
        ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te2) ', ' num2str(optimal_m2) ')'], ...
'Datos 3', ['Curva 3: y = ' num2str(p3(1)) 'x^3 + ' num2str(p3(2)) 'x^2 + ' num2str(p3(3))
        'x + ' num2str(p3(4)) ...
        ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te3) ', ' num2str(optimal_m3) ')'], ...
'Datos 4', ['Curva 4: y = ' num2str(p4(1)) 'x^3 + ' num2str(p4(2)) 'x^2 + ' num2str(p4(3))
        'x + ' num2str(p4(4)) ...
        ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te4) ', ' num2str(optimal_m4) ')'], ...
        'Location', 'northwest');

        grid on;
        hold off;

```

## Anexo N°2.

### Códigos de MATLAB – parte 2

```
% Tendencia de temperaturas

%TC=37°C
Te1 = [12, 10, 9, 8, 6];
W1 = [3.711, 4.053, 4.227, 4.405, 4.767];

%TC=39°C
Te2 = [12, 10, 9, 8, 6];
W2 = [4.054, 4.406, 4.586, 4.768, 5.14];

%TC=41°C
Te3 = [12, 10, 9, 8, 6];
W3 = [4.41, 4.772, 4.957, 5.144, 5.528];

%TC=43°C
Te4 = [12, 10, 9, 8, 6];
W4 = [4.778, 5.151, 5.342, 5.535, 5.93];

% Ajuste de curvas cúbicas
p1 = polyfit(Te1, W1, 3); % Ajuste cúbico para el primer conjunto de datos
p2 = polyfit(Te2, W2, 3); % Ajuste cúbico para el segundo conjunto de datos
p3 = polyfit(Te3, W3, 3); % Ajuste cúbico para el tercer conjunto de datos
p4 = polyfit(Te4, W4, 3); % Ajuste cúbico para el cuarto conjunto de datos

% Evaluar las curvas ajustadas
Te_values = linspace(min([Te1, Te2, Te3, Te4]), max([Te1, Te2, Te3, Te4]), 100);
W_fit1 = polyval(p1, Te_values);
W_fit2 = polyval(p2, Te_values);
W_fit3 = polyval(p3, Te_values);
W_fit4 = polyval(p4, Te_values);

% Encontrar el valor óptimo para cada curva de tendencia cúbica (encontrando el mínimo local)
```

```

optimal_Te1 = fminbnd(@(x) polyval(p1, x), min(Te1), max(Te1));
    optimal_W1 = polyval(p1, optimal_Te1);
optimal_Te2 = fminbnd(@(x) polyval(p2, x), min(Te2), max(Te2));
    optimal_W2 = polyval(p2, optimal_Te2);
optimal_Te3 = fminbnd(@(x) polyval(p3, x), min(Te3), max(Te3));
    optimal_W3 = polyval(p3, optimal_Te3);
optimal_Te4 = fminbnd(@(x) polyval(p4, x), min(Te4), max(Te4));
    optimal_W4 = polyval(p4, optimal_Te4);

% Graficar los datos y las curvas de tendencia cúbica

figure;
hold on;

plot(Te1, W1, 'bo', Te_values, W_fit1, 'b-', ... % Datos 1 y curva 1 en azul
    Te2, W2, 'ro', Te_values, W_fit2, 'r-', ... % Datos 2 y curva 2 en rojo
    Te3, W3, 'go', Te_values, W_fit3, 'g-', ... % Datos 3 y curva 3 en verde
    Te4, W4, 'ko', Te_values, W_fit4, 'k-', 'LineWidth', 2); % Datos 4 y curva 4 en negro

xlabel('Te');
ylabel('W');

title('Curvas de tendencia cúbicas');

legend({'Datos 1', ['Curva 1: y = ' num2str(p1(1)) 'x^3 + ' num2str(p1(2)) 'x^2 + '
    num2str(p1(3)) 'x + ' num2str(p1(4)) ...
    ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te1) ', ' num2str(optimal_W1) ')'], ...
'Datos 2', ['Curva 2: y = ' num2str(p2(1)) 'x^3 + ' num2str(p2(2)) 'x^2 + ' num2str(p2(3))
    'x + ' num2str(p2(4)) ...
    ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te2) ', ' num2str(optimal_W2) ')'], ...
'Datos 3', ['Curva 3: y = ' num2str(p3(1)) 'x^3 + ' num2str(p3(2)) 'x^2 + ' num2str(p3(3))
    'x + ' num2str(p3(4)) ...
    ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te3) ', ' num2str(optimal_W3) ')'], ...
'Datos 4', ['Curva 4: y = ' num2str(p4(1)) 'x^3 + ' num2str(p4(2)) 'x^2 + ' num2str(p4(3))
    'x + ' num2str(p4(4)) ...
    ', Valor óptimo: (' num2str(optimal_Te4) ', ' num2str(optimal_W4) ')']}, ...
'Location', 'northwest');

grid on;

hold off;

```



### Anexo N°3

#### *CFC-Eliminados, Protocolo de Montreal*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>3</sup>	Seguridad
R11	CFC-11	1	4.750	A1
R113	CFC-113	1	6.,130	A1
R114	CFC-114	1	10.040	A1
R115	CFC-115	0,44	7.370	A1
R12	CFC-12	1	10.890	A1
R13	CFC-13	1	14.420	A1
R400	R12/R114 (50/50)	1	10.000	A1
R500	R12/R152a (73,8/26,2)	0,738	8.100	A1
R502	R22-R115 (48,8/51,2)	0,25	4.700	A1
R503	R23/R13 (40,1/59,9)	0,599	15.000	A1

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.19.

### Anexo N°4

#### *HCFC Puro - Controlado, Protocolo de Montreal*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>4</sup>	Seguridad
R123	HCFC-123	0,02	77	B1
R124	HCFC-124	0,02	609	A1
R142b	HCFC-142b	0,07	2.310	A2
R22	HCFC-22	0,05	1.810	A1

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.20.

## Anexo N°5

### *HCFC Puro - Controlado, Protocolo de Montreal*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>5</sup>	Seguridad
R125	HFC-125	0	3.500	A1
R134a	HFC-134a	0	1.430	A1
R143a	HFC143a	0	4.470	A2
R152a	HFC-152a	0	124	A2
R161	HFC-161	0	12	
R227ea	HFC-227ea	0	3.220	A1
R23	HFC-23	0	14.760	A1
R236ea	HFC-236ea	0	1.370	
R236fa	HFC-236fa	0	9.810	A1
R245fa	HFC-245fa	0	1.30	B1
R32	HFC-32	0	675	A2

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.20.

## Anexo N°6

### *HCF Orgánico insaturado*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>6</sup>	Seguridad
R1234yf	HFC-1234yf	0	4	A2
R1234ze	HFC-1234ze	0	6	A2L

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.21.

## Anexo N°7

### *Mezcla de HCFC – Alternativo, Protocolo de Montreal*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>7</sup>	Seguridad
R401A	R22/R152a/R124 (53,0/13,0/34,0)	0,033	1.200	A1
R401B	R22/R152a/R124 (61,0/11,0/28,0)	0,036	1.300	A1
R401C	R22/R152a/R124 (33,0/15,0/52,0)	0,027	930	A1
R402A	R125/R290/R22 (60,0/2,0/38,0)	0,019	2.800	A1
R402B	R125/R290/R22 (38,0/2,0/60,0)	0,03	2.400	A1
R403A	R290/R22/R218 (5,0/75,0/20,0)	0,038	3.100	A1
R403B	R290/R22/R218 (5,0/56,0/39,0)	0,028	4.500	A1
R405A	R22/R152a/R142b/RC318 (45,0/7,0/5,5/42,5)	0,026	5.300	A1
R406A	R22/R600a/R142b (55,0/4,0/41,0)	0,056	1.900	A2
R408A	R125/R143a/R22 (7,0/46,0/47,0)	0,024	3.200	A1
R409A	R22/R124/R142b (60,0/25,0/15,0)	0,046	1.600	A1
R409B	R22/R124/R142b (65,0/25,0/10,0)	0,045	1.600	A1
R411A	R1270/R22/R152a (1,5/87,5/11,0)	0,044	1.600	A2
R411B	R1270/R22/R152a (3,0/94,0/3,0)	0,047	1.700	A2
R412A	R22/R218/R142b (70,0/5,0/25,0)	0,053	2.300	A2
R414A	R22/R124/R600a/R142b (51,0/28,5/4,0/16,5)	0,043	1.500	A1
R414B	R22/R124/R600a/R142b (50,0/39,0/1,5/9,5)	0,039	1.400	A1
R415A	R22/R152a (82,0/18,0)	0,041	1.500	A2
R415B	R22/R152a (25,0/75,0)	0,013	550	A2
R416A	R134a/R124/R600 (59,0/39,5/1,5)	0,008	1.100	A1
R418A	R290/R22/R152a (1,5/96,0/2,5)	0,048	1.700	A2

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.22.

## Anexo N°8

### *Mezcla de HFC – Controlados, Protocolo de Montreal*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>8</sup>	Seguridad
R404A	R125/R143a/R134a (44,0/52,0/4,0)	0	3.900	A1
R407A	R32/R125/R134a (20,0/40,0/40,0)	0	2.100	A1
R407B	R32/R125/R134a (10,0/70,0/10,0)	0	2.800	A1
R407C	R32/R125/R134a (23,0/25,0/52,0)	0	1.800	A1
R407D	R32/R125/R134a (15,0/15,0/70,0)	0	1.600	A1
R407E	R32/R125/R134a (25,0/15,0/60,0)	0	1.600	A1
R410A	R32/R125 (50,0/50,0)	0	2.100	A1
R413A	R218/R134a/R600a (9,0/88,0/3,0)	0	2.100	A1
R417A	R125/R134a/R600a (46,6/50,0/3,4)	0	2.300	A2
R419A	R125/R134a/R170 (77,0/19,0/4,0)	0	3.000	A2
R421A	R125/R134a (58,0/42,0)	0	2.600	A1
R421B	R125/R134a (85,0/15,0)	0	3.200	A1

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.23.

## Anexo N°9

### *Hidrocarburos - Normas de Seguridad Locales*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>10</sup>	Seguridad
R1150	Etileno	0	-	A3
R1270	Propileno	0	-	A3
R170	Etano	0	3	A3
R290	Propano	0	3	A3
R600	Butano	0	3	A3
R600a	Isobutano	0	3	A3

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.27.

## Anexo N°10

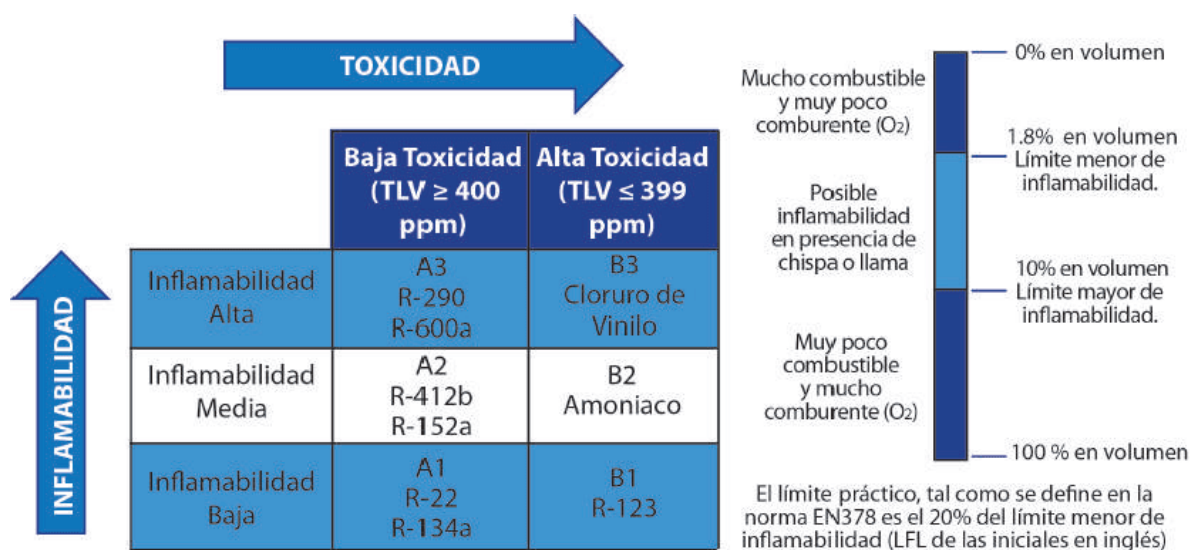
### *Refrigerantes Naturales – Normas de Seguridad Locales*

Número R	Componentes	PAO	PCG <sup>9</sup>	Seguridad
R702	H <sub>2</sub> – Hidrógeno normal	0	-	A3
R704	He - Helio	0	-	A1
R717	NH <sub>3</sub> - Amoníaco	0	0	B2
R718	H <sub>2</sub> O - Agua	0	0	A1
R729	Aire (78% N <sub>2</sub> /21% O <sub>2</sub> /Ar 0.9%/CO <sub>2</sub> 0,04%/otros 0.06%)	0	-	A1
R744	CO <sub>2</sub> – Dióxido de carbono	0	1	A1
R764	SO <sub>2</sub> – Dióxido de azufre	0	300	B1

Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.25.

## Anexo N°11

*Clasificación de seguridad de los refrigerantes e inflamabilidad de los hidrocarburos.*



Nota. (Manual de buenas prácticas en refrigeración-Colombia, 2014), p.17.

## Anexo N°12

*Ficha técnica del equipo modelo GEN-M*

### Specifications

<b>Water generation capacity</b>	Up to 800 liters/211 gallons a day in ideal condition
<b>Integrated water tank</b>	200 liters/53 gallons
<b>Integrated dispenser</b>	Ambient water
<b>Dimensions (LxWxH)</b>	1.40m x 1.40m x 1.58m / 4.59ft x 4.59ft x 5.18ft
<b>Water Generation efficiency</b>	250Wh/liter
<b>Weight</b>	780kg / 1,720lbs when dry
<b>Power consumption</b>	Nominal -5.6 KW*h - Max 10 KW*h (at start up)
<b>Air filtration</b>	Multi-barrier air filtration cascade
<b>Water purification technology</b>	Sediment filtration, mineralization, activated carbon and microbiological treatment by UV lamp

Nota. (Watergen Corporation, 2020)

## Anexo N°13

### Especificaciones técnicas del equipo AQ250U

Capacidad de agua máxima por día	260 L/día
Costo por litro	0.2 KWh/L
Rangos de temperatura	5°C – 55 °C
Rango de humedad relativa	20% - 99%
Operación monofásica	220 V, 50-60 Hz y 15A
Depósito de agua	50L de capacidad

Producción de agua	Nominal	8 l/h (30°C -80%HR)
	Energía utilizada	2,2 kWh
Compresor	Tipo	Hermético Alternativo
	Marca	DANFOSS-MANEUROP
	Modelo	MTZ022
	Caudal (l/s)	1,84
	Potencia en CV	1 3/4 CV
Ventilador	Caudal	1000 m3/h
	Tipo	Centrífugo 3 velocidades
	Presión estática disponible	v1:8 mm. c.a. v2:2 mm.c.a.
	Consumo-velocidad	0,42 kW-1350 rpm
Circuito Refrigerante	Gas	R-407 C
	Carga de gas	2 Kg
	Expansión	Válvula Termoestática
Características Eléctricas	Voltaje	230 V-I-50 Hz
	Intensidad absorbida	15 A
Nivel sonoro	Nivel sonoro	33 dB (A)
Dimensiones	Alto	2028 mm
	Ancho	599 mm
	Fondo	653 mm
	Peso	230 kg

Nota. (NEWECO Corporation, 2024)



Anexo N°14

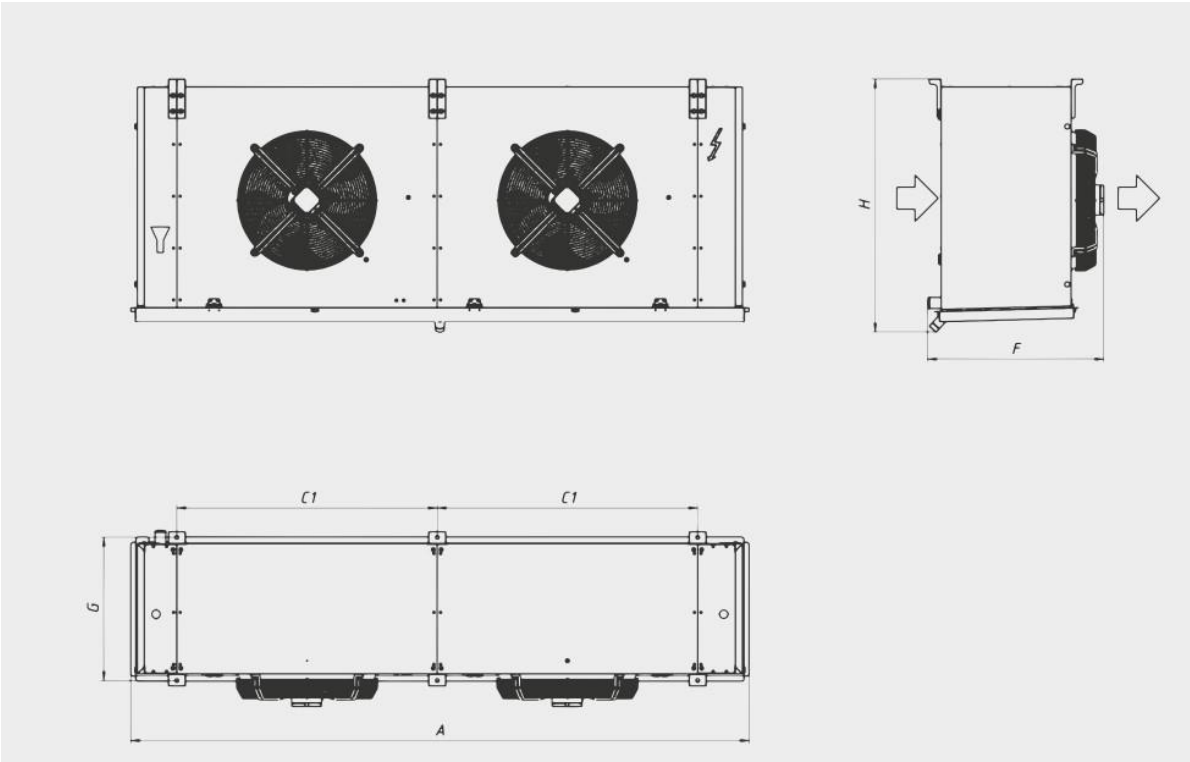
Características técnicas del evaporador cubico modelo LC210A

Sep. aletas = 4,5 mm	Modelo	Capacidad				Área (m²)	Volumen (dm³)	Ventiladores					Peso (kg)
		Condiciones estándar EN328 R404A		Propylene Glycol 30% DP=50 kPa Tc=12°C T <sub>IN Glycol</sub> =0°C									
		SC1 DT=10 (kW)	SC2 DT=8 (kW)	P (kW)	Q (l/h)			Flecha aire (m)	Caudal Aire (m³/h)	Nº x Ø	A	W	
	LC173A	23,3	16,0	17,9	4.100	80,0	14,4	48	7.500	1 x 500	1,4	720	85
	LC210A	28,2	19,4	26,7	7.250	106,6	18,8	46	7.000	1 x 500	1,4	720	99
	LC347A	46,7	31,9	36,8	8.800	159,9	27,5	48	15.000	2 x 500	2,8	1.440	159
	LC421A	56,5	38,7	45,1	11.500	213,3	36,6	46	14.000	2 x 500	2,8	1.440	187
	LC520A	69,9	47,9	56,5	13.600	239,9	41,2	48	22.500	3 x 500	4,2	2.160	237
	LC631A	84,8	58,1	69,9	18.150	319,4	54,4	46	21.000	3 x 500	4,2	2.160	279
	LC755A	100,9	69,1	100,0	26.250	418,0	61,8	47	28.000	2 x 630	6,8	3.940	363
	LC976A	133,4	91,3	-	-	470,2	69,5	49	43.500	3 x 630	10,2	5.910	441
	LC1131A	153,3	105,0	-	-	626,9	92,7	47	42.000	3 x 630	10,2	5.910	526
	LC1478A	202,1	138,3	-	-	835,9	123,6	47	56.000	4 x 630	13,6	7.880	684

Nota. (Catalogo evaporador, 2024), [https://garciamacara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap\\_LC.pdf](https://garciamacara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap_LC.pdf).

Anexo N°14.1

Ficha técnica dimensiones del evaporador



LC / Datos comunes

Modelo			Desescarche		Conexiones		Desagüe (Pulgadas)	Medidas				
			Normal (kW)	Potenciado (kW)	IN (Pulgadas)	OUT (Pulgadas)		C1 (mm)	G (mm)	F (mm)	H (mm)	A (mm)
LC173A	LC136B	LC119C	6,0	9,0	7/8"	1-3/8"	1"	990	544	670	962	1.361
LC210A	LC165B	LC144C	8,0	12,0	7/8"	1-3/8"	1"	990	544	670	962	1.361
LC347A	LC271B	LC238C	12,0	18,0	1-3/8"	1-5/8"	1"	990	544	670	962	2.351
LC421A	LC329B	LC289C	16,0	24,0	1-3/8"	1-5/8"	1"	990	544	670	962	2.351
LC520A	LC407B	LC357C	15,0	22,5	1-3/8"	1-5/8"	1-1/2"	990	544	670	966	3.334
LC631A	LC494B	LC433C	20,0	30,0	1-3/8"	2-1/8"	1-1/2"	990	544	670	966	3.334
	LC559B	LC472C	20,3	27,1	1-3/8"	2-1/8"	1-1/2"	1.400	743	950	1.331	3.294
LC755A	LC665B	LC576C	27,1	40,7	2x 1-3/8"	2-5/8"	1-1/2"	1.400	743	950	1.331	3.294
LC976A	LC841B	LC745C	31,5	42	2x 1-3/8"	2-5/8"	1-1/2"	1.400	743	950	1.331	4.694
LC1131A	LC995B	LC857C	42	63	2x 1-3/8"	2-5/8"	1-1/2"	1.400	743	950	1.331	4.694
	LC1113B	LC955C	41,3	55,1	2x 1-3/8"	2-5/8"	1-1/2"	1.400	743	950	1.331	6.094
LC1478A	LC1325B	LC1167C	55,2	82,8	2x 1-3/8"	2-5/8"	1-1/2"	1.400	743	950	1.331	6.094

Nota. (Catalogo evaporador, 2024), [https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap\\_LC.pdf](https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/7.-Evap_LC.pdf).

## Anexo N°15

### Características técnicas del condensador axial modelo HCM52SS

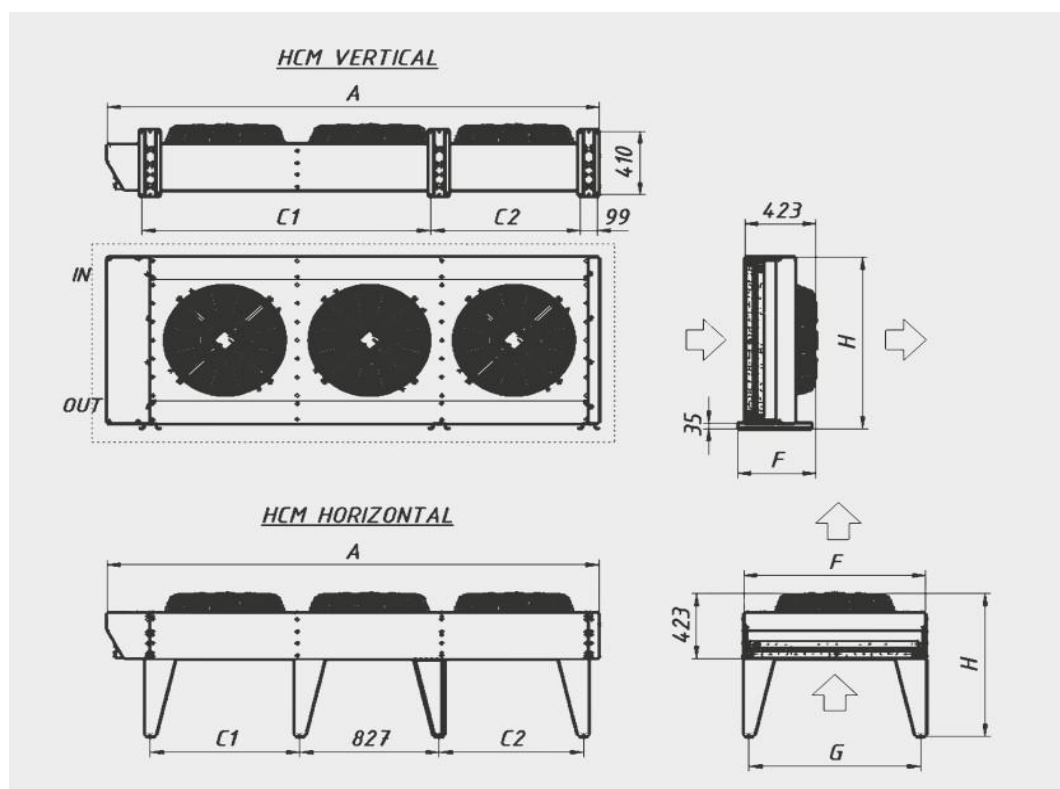
Modelo 8 polos (SS)	Capacidad EN327 (DT15)		Clase Energética	Ventiladores 8 polos (700/500 rpm)								
	X (kW)	Y (kW)		Nº x Ø	X				Y			
					m³/h	kW	A	dB(A) (10m)	m³/h	kW	A	dB(A) (10m)
HCM47SS	27,7	23,5	B	2x500	7.400	0,3	0,6	32	6.000	0,2	0,2	26
HCM52SS	29,8	25,3	A	2x500	7.000	0,3	0,6	32	5.600	0,2	0,2	26
HCM60SS	32,6	27,6	A	2x500	7.400	0,3	0,6	32	6.000	0,2	0,2	26
HCM63SS	31,9	25,4	A	2x500	6.500	0,3	0,6	32	5.000	0,2	0,2	26
HCM65SS	34,8	27,7	A	2x500	7.000	0,3	0,6	32	5.400	0,2	0,2	26
HCM68SS	37,7	32,9	B	2x630	12.800	0,5	1,1	33	10.500	0,3	0,5	27
HCM89SS	46,2	39,0	B	2x630	12.500	0,5	1,1	33	10.000	0,3	0,5	27
HCM92SS	51,5	42,5	B	2x630	12.000	0,5	1,1	33	9.500	0,3	0,5	27
HCM103SS	51,5	43,3	B	2x630	11.000	0,5	1,1	33	9.000	0,3	0,5	27
HCM116SS	53,6	44,4	A	2x630	11.000	0,5	1,1	33	8.900	0,3	0,5	27
HCM125SS	66,0	54,7	B	3x630	18.000	0,7	1,7	34	14.000	0,4	0,8	28
HCM129SS	71,7	59,7	B	3x630	17.000	0,7	1,7	34	13.500	0,4	0,8	28
HCM150SS	78,4	65,3	A	3x630	18.000	0,7	1,7	34	14.400	0,4	0,8	28
HCM151SS	81,6	66,8	A	3x630	17.400	0,7	1,7	34	13.800	0,4	0,8	28
HCM172SS	82,6	67,0	A	3x630	16.800	0,7	1,7	34	13.200	0,4	0,8	28

Nota. (García Cámara Corporation, 2024), <https://garciacamara.com/wp-content/uploads/2021/11/garcia-camara-catalogo-producto.pdf>, p.88.



## Anexo N°16

### Ficha técnica dimensiones del condensador



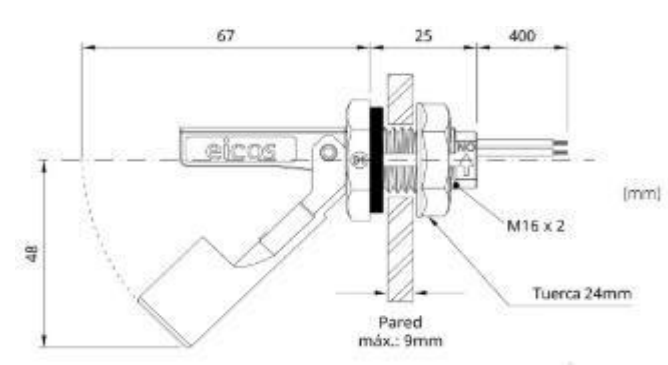
HCM / Datos comunes

Modelo	Área (m²)	Volumen (dm³)	Conexiones		Peso (kg)	Medidas											
			IN (Pulgadas)	OUT (Pulgadas)		HCM Vertical					HCM Horizontal						
						A (mm)	F (mm)	H (mm)	C1 (mm)	C2 (mm)	A (mm)	F (mm)	H (mm)	G (mm)	C1 (mm)	C2 (mm)	
HCM47	61,8	10,4	1-1/8"	7/8"	95	1.920	468	865	1.600	-	1.920	830	925	770	1.570	-	
HCM52	82,4	13,9	1-3/8"	1-1/8"	105	1.920	468	865	1.600	-	1.920	830	925	770	1.570	-	
HCM63	123,7	20,8	1-3/8"	1-1/8"	120	1.920	468	865	1.600	-	1.920	830	925	770	1.570	-	
HCM60	97,9	16,5	1-3/8"	1-1/8"	115	2.220	468	865	1.900	-	2.220	830	925	770	1.870	-	
HCM65	146,7	24,5	1-3/8"	1-1/8"	140	2.220	468	865	1.900	-	2.220	830	925	770	1.870	-	
HCM68	68,0	11,3	1-1/8"	7/8"	160	2.320	466	1.115	2.000	-	2.320	1.080	925	1.020	1.970	-	
HCM89	101,0	16,9	1-3/8"	1-1/8"	165	2.320	466	1.115	2.000	-	2.320	1.080	925	1.020	1.970	-	
HCM92	135,0	22,8	1-3/8"	1-1/8"	172	2.320	466	1.115	2.000	-	2.320	1.080	925	1.020	1.970	-	
HCM103	170,0	28,5	1-3/8"	1-1/8"	180	2.320	466	1.115	2.000	-	2.320	1.080	925	1.020	1.970	-	
HCM116	203,0	34,2	1-3/8"	1-1/8"	190	2.320	466	1.115	2.000	-	2.320	1.080	925	1.020	1.970	-	
HCM125	132,0	22,3	1-3/8"	1-1/8"	220	2.920	466	1.115	1.714	887	2.920	1.080	925	1.020	887	857	
HCM129	176,0	29,7	1-3/8"	1-1/8"	225	2.920	466	1.115	1.714	887	2.920	1.080	925	1.020	887	857	
HCM150	217,7	36,7	1-5/8"	1-3/8"	270	2.920	466	1.365	1.714	887	2.920	1.330	925	1.270	887	857	
HCM151	271,8	45,2	1-5/8"	1-3/8"	280	2.920	466	1.365	1.714	887	2.920	1.330	925	1.270	887	857	
HCM172	326,5	55,1	2-1/8"	1-5/8"	290	2.920	466	1.365	1.714	887	2.920	1.330	925	1.270	887	857	

Nota. (García Cámara Corporation, 2024), <https://garciamacara.com/wp-content/uploads/2021/11/garcia-camara-catalogo-producto.pdf>, p.90

Anexo N°16.1

Sensor de nivel, dimensiones.



Nota. (Catálogo sensor, 2024), <https://www.eicos.com/sensor-de-nivel/montaje-lateral/LA36M-40/>

Anexo N°16.2

Ficha técnica del filtro limpiador de aire

Artículo N°:	K57-A
Espesor opcional:	38 ~ 120 mm
Separador :	Perla termofusible
Junta :	Junta sin fin de PU / EVA / EPDM
Sellador:	Pegamento de poliuretano de dos componentes PU
Marco :	Aluminio / GI / SUS / MDF
Medios de comunicación:	Microfibra de vidrio
Eficiencia :	H13 / H14 / Sub 15 / Sub 16 / Sub 17
Temperatura máxima:	70°C
Humedad máxima:	100%

Modelo NO.	Tamaño real (alto x ancho x profundidad) (mm)	Caudal de aire (m³/h)	Caudal de superficie de medios (m²)	Velocidad (m/s)
K57-B-002	484*484*50	500	4.81	0,55
K57-B-006	610*915*50	1100	11.29	0,55
K57-B-028	305*610*69	500	4.92	0,75
K57-B-031	610*610*69	1000	10	0,75
K57-B-033	610*915*69	1500	14.84	0,75
K57-B-035	610*1220*69	2000	19.68	0,75
K57-B-041	610*915*96	2400	23.19	1.2
K57-B-042	610*1220*96	3200	30.76	1.2
K57-B-051	870*1170*69	2750	27.08	0,75
K57-B-052	1170*1170*69	3700	36.52	0,75

Anexo N°17

Especificaciones técnicas del compresor

Modelo		Cap. nom. a 60 Hz	Capacidad de refrigeración nominal		Potencia absorbida	COP	EER	Volumen barrido	Desplaza- miento ①	Carga de aceite	Peso neto ②
		TR	W	Btu/h	kW	W/W	Btu/h / W	cm³/rev	m³/h	dm³	kg
R22 SINGLE	SM084	7	20 400	69 600	6,12	3,33	11,4	114,5	19,9	3,25	64
	SM090	7,5	21 800	74 400	6,54	3,33	11,4	120,5	21,0	3,25	65
	SM100	8	23 100	78 800	6,96	3,33	11,4	127,2	22,1	3,25	65
	SM110	9	25 900	88 400	7,82	3,32	11,3	144,2	25,1	3,25	73
	SM112	9,5	27 600	94 200	7,92	3,49	11,9	151,5	26,4	3,30	64
	SM120	10	30 100	102 700	8,96	3,36	11,5	166,6	29,0	3,25	73
	SM124	10	31 200	106 500	8,75	3,56	12,2	169,5	29,5	3,30	64
	SM147	12	36 000	122 900	10,08	3,57	12,2	193,5	33,7	3,30	67
	SM148	12	36 100	123 200	10,8	3,34	11,4	199,0	34,6	3,60	88
	SM161	13	39 000	133 100	11,59	3,37	11,5	216,6	37,7	3,60	88
	SM175	14	42 000	143 300	12,47	3,37	11,5	233,0	40,5	6,20	100
	SM/SY185	15	45 500	155 300	13,62	3,34	11,4	249,9	43,5	6,20	100
	SY240	20	61 200	208 900	18,2	3,36	11,5	347,8	60,5	8,00	150
	SY300	25	78 200	266 900	22,83	3,43	11,7	437,5	76,1	8,00	157
	SY380	30	94 500	322 500	27,33	3,46	11,8	531,2	92,4	8,40	158
R407C SINGLE	SZ084	7	19 300	65 900	6,13	3,15	10,8	114,5	19,9	3,25	64
	SZ090	7,5	20 400	69 600	6,45	3,16	10,8	120,5	21,0	3,25	65
	SZ100	8	21 600	73 700	6,84	3,15	10,8	127,2	22,1	3,25	65
	SZ110	9	24 600	84 000	7,76	3,17	10,8	144,2	25,1	3,25	73
	SZ120	10	28 600	97 600	8,99	3,17	10,8	166,6	29,0	3,25	73
	SZ147	12	34 900	119 079	9,92	3,52	12,0	193,5	33,7	3,30	67
	SZ148	12	35 100	119 800	10,99	3,19	10,9	199,0	34,6	3,60	88
	SZ161	13	38 000	129 700	11,84	3,21	11,0	216,6	37,7	3,60	88
	SZ175	14	40 100	136 900	12,67	3,17	10,8	233,0	40,5	6,20	100
	SZ185	15	43 100	147 100	13,62	3,16	10,8	249,9	43,5	6,20	100
	SY240	20	59 100	201 700	18,55	3,19	10,9	347,8	60,5	8,00	150
	SY300	25	72 700	248 100	22,73	3,20	10,9	437,5	76,1	8,00	157
	SY380	30	89 600	305 800	27,59	3,25	11,1	531,2	92,4	8,40	158

Nota. (Danfoss Corporation, 2024), <https://www.danfoss.com/es-mx/>.

Anexo N°18

Información técnica de la válvula seleccionada

Curva de rendimiento	Datos de rendimiento	Selección de códigos	Notas				
Diagrama del sistema	Todos los valores se calculan en función de las condiciones de funcionamiento dadas.						
Detalles del sistema	Caudal másico en compresor: 497.2 kg/h						
ETS 5M30		Temperatura	Presión (a)	Densidad	Entalpía	Entropía	
	Punto	Descripción	[°C]	[bar]	[kg/m^3]	[kJ/kg]	[kJ/(kg·K)]
	1	Aspiración del compresor	15.0	6.448	26.66	418.4	1.779
	2	Descarga del compresor (estimada)	66.0	17.03	64.55	451.6	1.807
	2s	Punto de rocío de condensación	43.9	17.03	76.28	424.6	1.724
	3s	Punto de burbuja de condensación	39.0	17.03	1073	258.5	1.196
	3a	Salida del condensador	36.0	17.03	1088	253.7	1.181
	3	Incluyendo subenfriamiento adicional	36.0	17.03	1088	253.7	1.181
	4	Después de la válvula de expansión	5.4	6.448	110.5	253.7	1.192
	4s	Punto de burbuja de evaporación	4.0	6.448	1222	205.7	1.021
	1s	Punto de rocío de evaporación	10.0	6.448	27.46	413.4	1.762
	1a	Salida del evaporador	15.0	6.448	26.66	418.4	1.779

Nota. Extraído del Software Coolselector.

## Anexo N°19

### *Potencial de agotamiento de ozono y potencial de Calentamiento Global*

Designación de refrigerante ASHRAE	Componentes	PAO	PCG	Seguridad
R-11	CFC-11	1	3500	A1
R-12	CFC-12	1	7300	A1
R-22	HCFC-22	0,05	1500	A1
R-134a	HFC-134a	0	1300	A1
R-290	Propano	0	3	A3
R-404a	R-125/R-143/R-134a	0	3260	A1
R-410A	R-32/R-125	0	1725	A1
R-422A	R-125/R-134a/R-600 (85,1/11,5/3,4)	0	3100	A2
R-422B	R-125/R-134a/R-600 (55,1/42/3)	0	2500	A2
R-600a	Isobutano	0	3	A3
R-717	NH <sub>3</sub> Amoniaco	0	0	B2
R-718	H <sub>2</sub> O Agua	0	0	A1
R-744	CO <sub>2</sub> Dióxido de Carbono	0	1	A1

Nota. La tabla muestra los potenciales de agotamiento de ozono (PAO) y Potencial de Calentamiento Global (PCG) de los refrigerantes según la IPCC. (Román Campos & Zuñiga Gamboa, 2021), p.17.

## Anexo N°20

### Propiedades físicas del R407C

Propiedades físicas	Unidades	R-407C
Peso molecular	(g/mol)	86.2
Punto de ebullición (a 1.013 bar)	(°C)	-43.5
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1.013 bar)	(K)	7.2
Temperatura crítica	(°C)	86.74
Presión crítica	(bar abs)	46.2
Densidad crítica	(Kg/m3)	527
Densidad (líquido) a 25°C	(Kg/m3)	1134
Densidad (líquido) a -25°C	(Kg/m3)	1325
Densidad del vapor saturado (a 1.013 bar)	(Kg/m3)	4.6
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	11.74
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	2.23
Calor latente de vaporización (a 1.013 bar)	(KJ/Kg)	245
Calor específico del líquido (25°C) (1.013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.54
Calor específico del vapor(25°C) (1.013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.83
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mk)	0.082
Conductibilidad térmica del vapor (1.013 bar)	(W/mk)	0.0131
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	Despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(% Vol)	Ninguna
Toxicidad (AEL)	(W/mk)	1000
Potencial de agotamiento del ozono	-	0
Potencial de calentamiento global	-	1774*

Nota. La tabla muestra las propiedades del refrigerante R407C. (Gefrieren Corporation),  
p.2.

## Anexo N°21

### *Grupo de seguridad de los refrigerantes*

Clasificación			Toxicidad	
			Clase A	Clase B
			Baja toxicidad	Alta toxicidad
Flamabilidad	Clase 1	Sin propagación de llama	A1	B1
	Clase 2L	Inflamabilidad baja	A2L	B2L
	Clase 2	Inflamable	A2	B2
	Clase 3	Inflamabilidad alta	A3	B3

Nota. La tabla representa la clasificación de seguridad de los refrigerantes según su flamabilidad y toxicidad. (Román Campos & Zuñiga Gamboa, 2021), p.19.

## Anexo N°22

### *Cuestionario del estudio de mercado para tecnologías AWG*

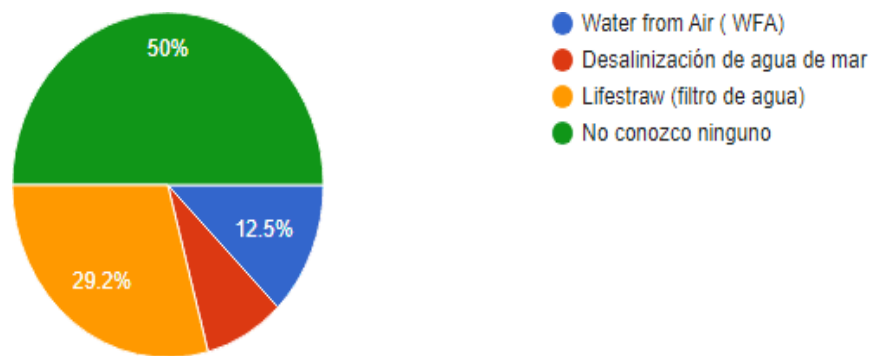
*A continuación, encontrara una serie de preguntas sobre su conocimiento y conformidad de los servicios de agua potable. Favor de responder con sinceridad.*

### **Pregunta N°1**

¿Conoces alguna de las siguientes tecnologías?

- a) Wáter from Air (WFA)
- b) Desalinización de agua de mar
- c) Lifestraw (filtro de agua)
- d) No conozco ninguno

Las respuestas fueron las siguientes:



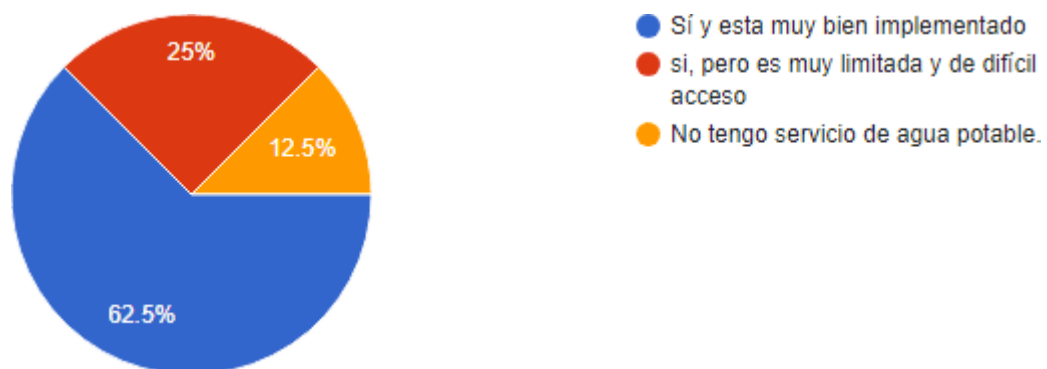
Nota. Elaboración propia

## Pregunta N°2

¿Cuentas con servicio de agua potable?

- a) Sí y está muy bien implementado
- b) Si, pero es muy limitada y de difícil acceso
- c) No tengo servicio de agua potable

Las respuestas fueron las siguientes:



Nota. Elaboración propia

## Pregunta N°3

¿Cuál considerarías como el principal problema con el abastecimiento de agua en tu lugar de residencia?

- a) Es muy cara
- b) El agua llega contaminada
- c) Estoy satisfecho con mi servicio de agua potable.
- d) No todos los días tengo agua

Las respuestas fueron las siguientes:



Nota. Elaboración propia

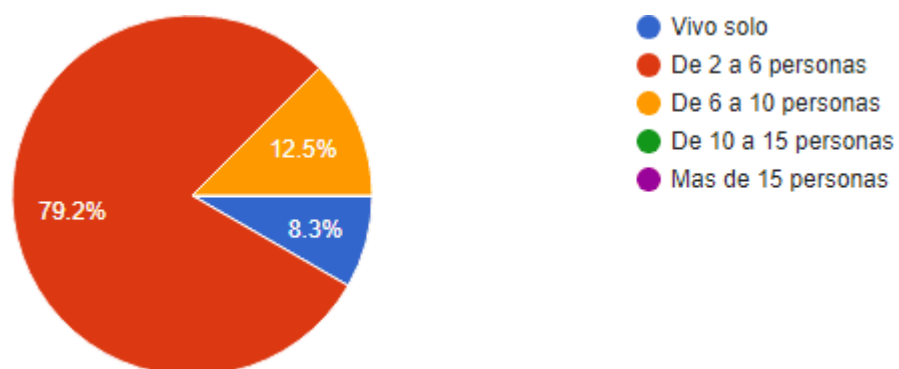
#### Pregunta N°4

¿Cuántas personas viven en tu casa?

- a) Vivo solo
- b) De 2 a 6 personas
- c) De 6 a 10 personas
- d) De 10 a 15 personas
- e) Mas de 15 personas

Las respuestas fueron las siguientes:





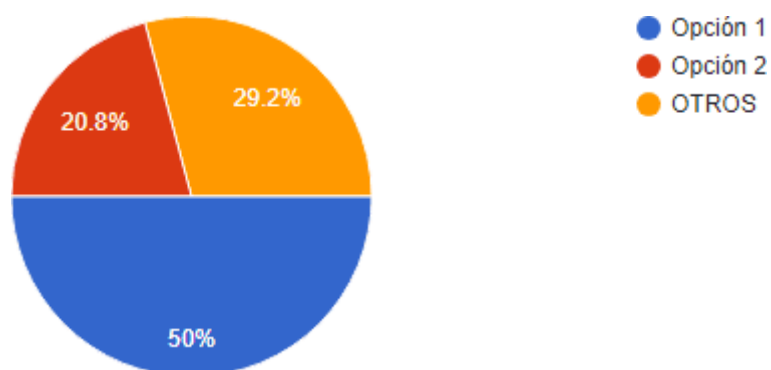
Nota. Elaboración propia

### Pregunta N°5

¿Cuentas con taque de agua?

- a) Tanque (Rotoplas)
- b) Bidones (60L, 120L o 200L)
- c) Otros

Las respuestas fueron las siguientes:



Nota. Elaboración propia

## Anexo N°23

### Matriz de Leopold

FACTORES	ACCIONES		Modificación del régimen	Procesamiento		Renovación de residuos	Emplazamiento y tratamiento de residuos	Resultados		
			Ruido y vibraciones	Generación de energía	Almacenamiento de productos	Reciclaje de residuos	Eliminación de basura	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas	Agregado de impacto
Características físicas y químicas	Atmósfera	Calidad de aire(gases y partículas)		3 4		5 4	-2 1	2	1	
		Temperatura		2 3		5 4	-2 2	2	1	
	Aspectos culturales	Salud y seguridad	-2 4	2 4	5 3	3 4	2 5	4	1	
		Empleo		3 2		3 2	-2 2	2	1	
		Manejo de residuos		3 3		4 2	2 3	3	0	
Resultados		Afectaciones positivas	0	5	1	5	2			
		Afectaciones negativas	1	0	0	0	3			
		Agregado de impacto								

Nota. Elaboración propia

## Anexo N°24

### Resultado de Matriz de Leopold

FACTORES	ACCIONES		Modificación del régimen	Procesamiento		Renovación de residuos	Emplazamiento y tratamiento de residuos	Resultados		
			Ruido y vibraciones	Generación de energía	Almacenamiento de productos	Reciclaje de residuos	Eliminación de basura	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas	Agregado de impacto
Características físicas y químicas	Atmósfera	Calidad de aire(gases y partículas)	0	12	0	20	-2	2	1	30
		Temperatura	0	6	0	20	-4	2	1	22
	Aspectos culturales	Salud y seguridad	-8	8	15	12	10	4	1	37
		Empleo	0	6	0	6	4	2	1	16
		Manejo de residuos	0	9	0	8	6	3	0	23
Resultados		Afectaciones positivas	0	5	1	5	2		Comprobación	
		Afectaciones negativas	1	0	0	0	3			128
		Agregado de impacto	-8	41	15	66	14		128	128

Nota. Elaboración propia

## Anexo N°25

*Intensidad del ruido en decibeles y su valoración subjetiva de percepción*

Nivel de dB	Valoración subjetiva
30	Débil
50-60	Moderado
70-80	Fuerte
90	Muy fuerte
120	Ensordecador
130	Umbral de sensación dolorosa

Nota. La tabla muestra los niveles de ruido que ocasionan daños psicosociales.

(Guia Tecnica de VST expuestos a ruido, 2024),

[http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20VST%20Expuestos%20a%20Ruido.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20VST%20Expuestos%20a%20Ruido.pdf), p.12

## Anexo N°26

### *Factores de Bypass típicos*

---

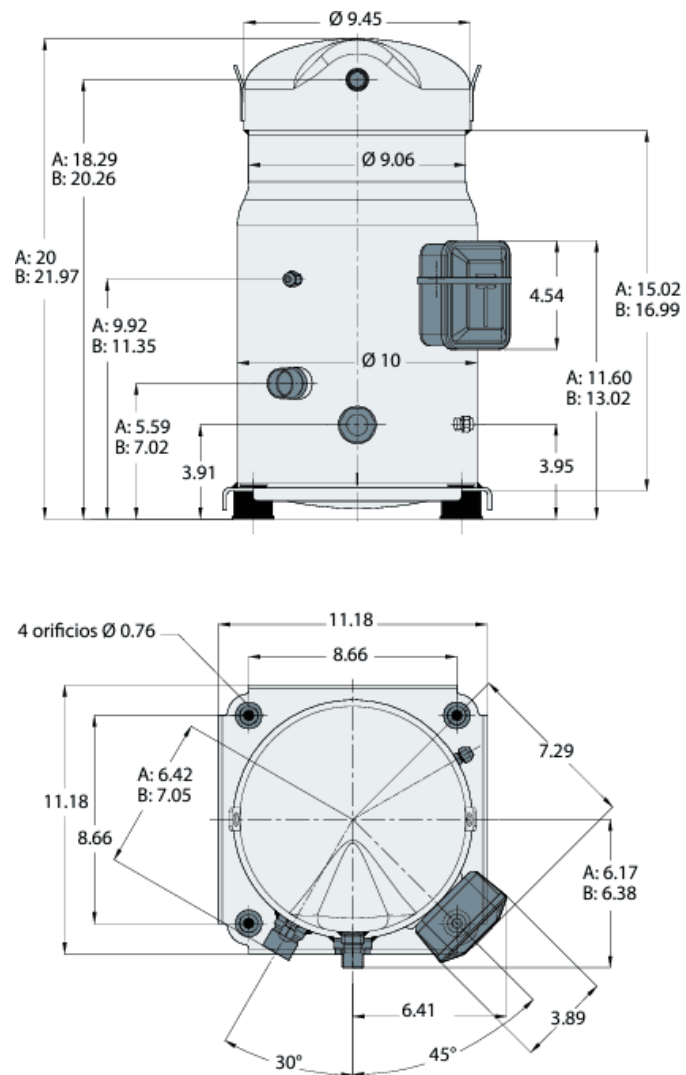
Factores de Bypass	Tipos de aplicaciones	Ejemplos
0.30 – 0.50	Pequeña carga total o carga de un espacio con bajo Calor Sensible (Alta Carga Latente).	Residencias
0.20 – 0.30	Típica ampliación de confort con una carga total relativamente pequeña o bajo factor de Calor Sensible.	Residencias, tiendas pequeñas
0.10 – 0.20	Típicas aplicaciones de confort	Departamentos, Almacenes, Bancos e Industrias.
0.05 – 0.10	Aplicación con Carga Interna Sensible o espacios que requieren una gran cantidad de aire externo por ventilación.	Departamentos, Almacenes, Restaurantes e Industrias
0.00 – 0.10	Todas las aplicaciones de aire externo	Hospitales, Laboratorios, Farmacias e Industrias.

---

Nota. (Enfri Factor Company), <https://enfrifactor.com/psicrometria-calculos-del-serpentin/>

## Anexo N°27

### Dimensiones del Compresor modelo SZ084



Nota. (Danfoss Corporation, 2024), <https://www.danfoss.com/es-mx/>

## Anexo N°28

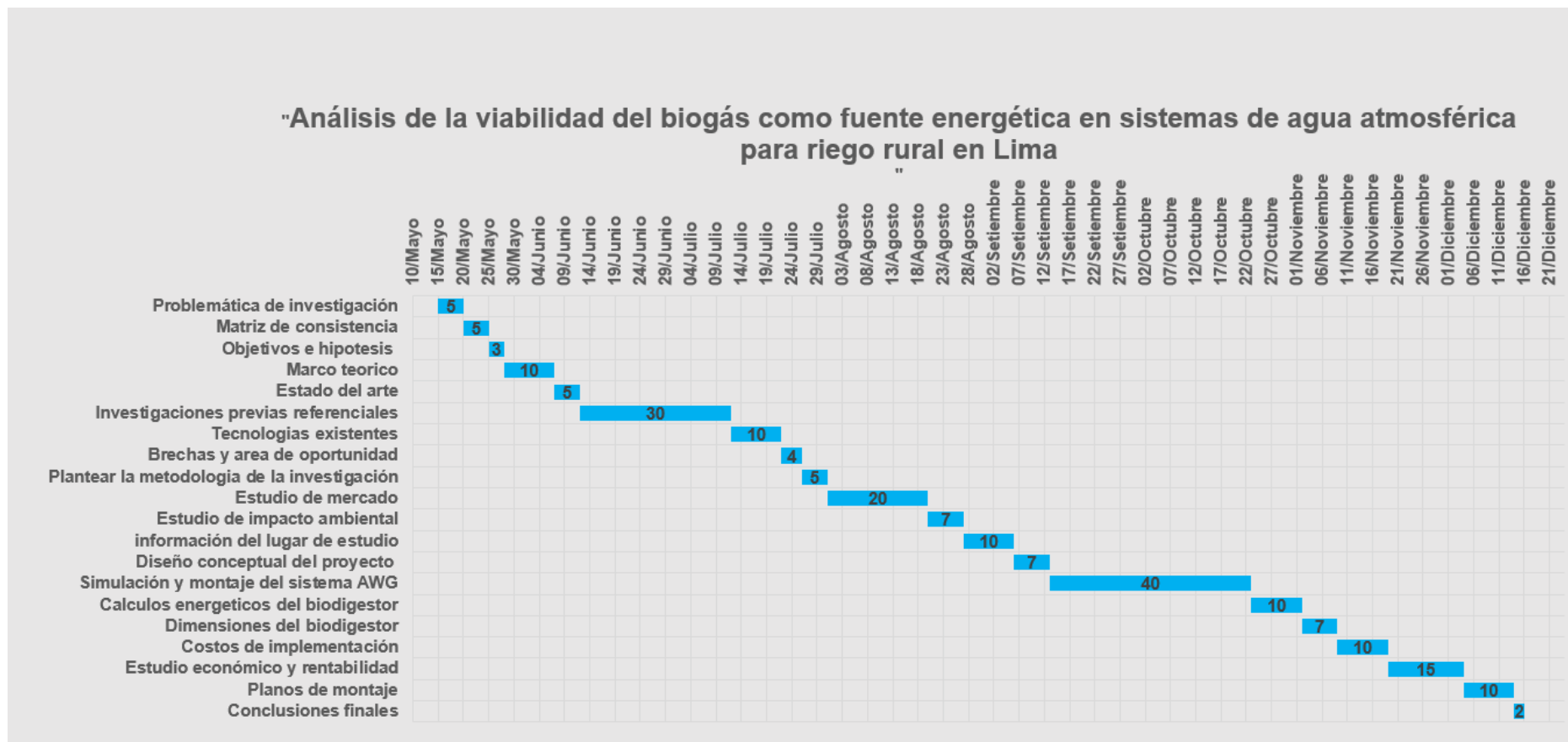
### Poder calorífico de las principales fuentes de energía

Tipo de combustible		PCI (G.J/l)	PCI (kWh/Kg)	PCI (kcal/Kg)	PCI (tep/l)
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo Bruto	42,55	11,82	10.190	1,0190
	Materias primas de refinería	39,88	11,08	9.550	0,9550
	GLP	45,89	12,75	10.990	1,0990
	Propano	46,20	12,83	11.063	1,1063
	Butano	44,78	12,44	10.723	1,0723
	Queroseno	42,89	11,91	10.270	1,0270
	Gasolina	43,89	12,19	10.510	1,0510
	Gasolina aviación	43,89	12,19	10.510	1,0510
	Gasóleo automoción	42,47	11,80	10.170	1,0170
	Otros gasóleos	42,47	11,80	10.170	1,0170
	Fuelóleo	39,88	11,08	9.550	0,9550
	Alquitrán	39,88	11,08	9.550	0,9550
	Nafta	43,89	12,19	10.510	1,0510
	Lubricantes	39,88	11,08	9.550	0,9550
	Coque de petróleo	31,90	8,86	7.640	0,7640
	GNL	45,10	12,53	10.800	1,0800
Gases	Gas natural				
	Metano	50,00	13,89	11.973	1,1973
	Etano	47,51	13,20	11.350	1,1350
	Gas de refinería	49,36	13,71	11.820	1,1820
	Gas de coquería				
	Gas de alto horno				
	Biogases en general				
	Biogás pobre				
	Biogás de vertedero				
	Biogás de depuradora				

Nota. (Eurostat, AIE y resolución de secretaria de los estados de energía, 2013)

## Anexo N°29

Diagrama de Gantt del diseño del proyecto



Nota. Elaboración propia



## Anexo N°30

### Matriz de consistencia del proyecto

Problema de la investigación	Objetivos de la investigación	Hipotesis de la investigación	Metodologia de la investigación	Variables e indicadores
Problemas generales	Objetivos generales	Hipotesis general	M.Cuantitativa y M.cualitativa	Variables
falta de infraestructur adecuada para el suministro de agua.	Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de biogás como combustible para sistemas generadores de agua atmosférica (AWG) destinados al riego de cultivos en zonas rurales de Lima.	El uso de biogas como fuente de energia para sistemas generadores de agua atmosfericas es una solución viable y sostenible para el riego de cultivos en zonas rurales.		V.Independientes
				cantidad de materia orgánica,condiciones climática y composición de material.
				V.Dependientes
				Cantidad de biogás generado, litros de agua por día y impacto ambiental.
Problemas Especificos	Objetivos especificos	Hipotesis especificas		Indicadores
Problemas ambientales por el uso de combustibles fosiles tradicionales.	Investigar y analizar las carateristicas del biogas como fuente de energia renovable, considerando su disponibilidad y potencial de aplicación.	Los sistemas AWG potenciados por biogas pueden proporcionar una cantidad adecuada para el riego de cultivos, incluso en condiciones de disponibilidad limitada de recursos hidricos		Eficiencia del sistema
Problemas de un acceso continuo al recurso hidrico en zonas de cultivo tradicional.	Evaluar el rendimiento del sistema utilizando biogas en terminos de produccion de agua potable y adecuación para el riego de cultivos.	La adopcion de sistemas AWG potenciados por biogas contribuyen a la resiliencia de las comunidades frente a desafios ambientales y socioeconómicos.		Costo por litros de agua
Poca difusión en el uso de tecnologias alternativas ecologicas para la obtenció de agua	Investigar y proponer recomendaciones para la instalación del sistema considerando aspectos tecnicos, sociales, economicos y ambientales.	La utilización de biogas como fuente de energia para sistema AWG puede ser implementada de manera sostenible y replicable en otras regiones rurales del Perú		Rentabilidad
	Analizar el impacto economico del uso de biogas para sistemas AWG en comparación con metodos tradicionales de suministro de agua en la agricultura rural.			

Nota. Elaboración propia

## Anexo N°31

### *Lista de componentes y sus fuentes de cotización*

<b>Componentes</b>	<b>Fuentes de cotización (URL)</b>
Evaporador	(Catalogo de evaporadores, 2024)
Condensador	(Danfoss Corporation, 2024)
Compresor	(Danfoss Corporation, 2024)
Válvula de expansión	<a href="https://listado.mercadolibre.com.pe/valvula-de-expansion-danfoss">https://listado.mercadolibre.com.pe/valvula-de-expansion-danfoss</a>
Tanque Rotoplas (opcional)	<a href="https://www.rotoplas.com.pe/tanques">https://www.rotoplas.com.pe/tanques</a>
Filtro de aire	(Tilley, Ulrich, Luthi, Reymond, & Zurbrugg, 2020)
Filtro secador	<a href="https://www.myw.pe/filtro-secador/">https://www.myw.pe/filtro-secador/</a>
Válvula del tanque	(Catalogo válvula , 2024)
Contactador On/Off	<a href="https://listado.mercadolibre.com.pe/contactores">https://listado.mercadolibre.com.pe/contactores</a>
Sensor de nivel de agua	<a href="https://www.eicos.com/sensor-de-nivel/montaje-lateral/LA36M-40/">https://www.eicos.com/sensor-de-nivel/montaje-lateral/LA36M-40/</a>
Tubería 7/8" Cu	<a href="https://conexperu.com.pe/productos.php?idcat=4">https://conexperu.com.pe/productos.php?idcat=4</a>
Tubería 5/8" Cu	<a href="https://conexperu.com.pe/productos-detalle.php?id=224">https://conexperu.com.pe/productos-detalle.php?id=224</a>
Tubería 3/4" Cu	<a href="https://conexperu.com.pe/productos.php?idcat=4">https://conexperu.com.pe/productos.php?idcat=4</a>
Tubería 1 3/8" Cu	<a href="https://conexperu.com.pe/productos.php?idcat=4">https://conexperu.com.pe/productos.php?idcat=4</a>
Montaje de AWG	<a href="https://homesolution.net/pe/about/preciosreferencia/tecnico-de-aire">https://homesolution.net/pe/about/preciosreferencia/tecnico-de-aire</a>
Cable eléctrico 220 V	<a href="https://www.promart.pe/electricidad/cables-electricos-y-accesorios">https://www.promart.pe/electricidad/cables-electricos-y-accesorios</a>

Nota. Se muestran las fuentes de cotización .

**Anexo N°32***Presupuesto para la instalación del biodigestor*

<b>Componente</b>	<b>Fuentes de cotización (URL)</b>
Sistema de biobolsa 1.25 cm	Proveedor local
Tubo PVC 4"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Tubo PVC 2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Abrazadera 2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Abrazadera 4"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Cinta teflón 1/2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Conector Hembra-Macho 2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Pegamento PVC	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Llave principal 2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Codos de PVC 2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
T de PVC 2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
T de PVC 4"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Loza de concreto 5mm	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Techo de biodigestor 6m x 3m	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Manguera de biogás 1/2 "	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Y de 2" a 1"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Reducción de 1" a 1/2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Niple 1/2"	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Uniones 1/2 "	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Válvula de bola	<a href="https://www.sodimac.com.pe">https://www.sodimac.com.pe</a> , proveedores locales.
Generador	<a href="https://www.edipesa.com.pe/tienda/generadores">https://www.edipesa.com.pe/tienda/generadores</a>
Liga de neumático	Proveedores locales

Nota. Se muestran las fuentes de cotización.

## Anexo N°33

### Estructura tarifaria de servicios de agua potable Sedapal

CLASE CATEGORIA	RANGOS DE CONSUMOS m³/mes	TARIFA (S/ / m³)			
		GRUPO TARIFARIO 1 <sup>(1)</sup>		GRUPO TARIFARIO 2 <sup>(2)</sup>	
		Agua Potable	Alcantarillado <sup>(3)</sup>	Agua Potable	Alcantarillado <sup>(3)</sup>
<b>RESIDENCIAL</b>					
Social	0 a más	1,713	0,802	1,713	0,802
Doméstico No Beneficiario	0 a 20	2,015	1,257	2,862	1,760
	20 a más			7,314	3,486
	20 a 50	2,862	1,760		
	50 a más	7,314	3,486		
Doméstico Beneficiario	0 a 10	1,713	0,802	1,713	0,802
	10 a 20	1,911	0,932	1,911	0,932
	20 a 50	2,862	1,760	2,862	1,760
	50 a más	7,314	3,486	7,314	3,486
<b>NO RESIDENCIAL</b>					
Comercial y Otros	0 a 1000	7,314	3,486	7,314	3,486
	1000 a más	7,846	3,738	7,846	3,738
Industrial	0 a más	7,846	3,738	7,846	3,738
Estatal	0 a más	4,809	2,219	4,809	2,219

- › El Grupo Tarifario 1 comprende a todos los distritos administrados por SEDAPAL S.A. con excepción de los distritos de Punta Negra, Punta Hermosa, San Bartolo y Santa María del Mar
- › El Grupo Tarifario 2 comprende a los distritos de Punta Negra, Punta Hermosa, San Bartolo y Santa María del Mar.
- › Incluye los servicios de recolección y tratamiento de aguas residuales.

Nota. Costos de agua potable Sedapal. (Sedapal, 2024),  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4242599/3989288-estructura-tarifaria-agua-potable-y-alcantarillado-03-01-2024.pdf?v=1704471278>.

## Anexo N°34

Ejemplo, cálculo de consumo de agua

### Ejemplo de aplicación

### Facturar 10 m3

A) Cálculo del importe a facturar por agua:

Rango de m3	S/ m3 unitario	m3	S/ m3 total
<b>0 a 10</b>	<b>1.713</b>	<b>10</b>	<b>17.13</b>
10 a 20	1.911		0
20 a 50	2.862		0
50 a más	7.314		0
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>17.13</b>

Cargo Fijo	6.256
------------	-------

B) Cálculo del importe a facturar por alcantarillado:

Rango de m3	S/ m3 unitario	m3	S/ m3 total
<b>0 a 10</b>	<b>0.802</b>	<b>10</b>	<b>8.02</b>
10 a 20	0.932	0	0
20 a 50	1.760	0	0
50 a más	3.486	0	0
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>8.02</b>

C) Registro en el recibo de consumo de agua y uso de alcantarillado:

ESTRUCTURA TARIFARIA			DETALLE DE FACTURACIÓN	
Rangos	Agua S/ m3	Alcantarillado S/ m3	Concepto	Importe
0 a 10	1.713	0.802	Volumen de Agua Potable	17.13
			Servicio de Alcantarillado	8.02
			Cargo Fijo	6.26
			IGV 18%	5.65
			<b>Total</b>	<b>37.06</b>

Nota. Cálculo de consumo de agua Sedapal. (Sedapal, 2024),

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4242605/3989288-ejemplo-de-aplicacion-de-tarifa-beneficiario.pdf?v=1729263863>.

**Anexo N°35**

*Consumo de agua Sedapal para generar 500L/día (15 m3/ mes)*

Detalles de facturación			
Rango	Agua (Soles/m3)	Alcantarillado (Soles/m3)	
10 a 20	1.911	0.932	
Concepto		Importe	
Volumen de agua potable(15m3)		28.665	
Servicio de alcantarillado		13.98	
Cargo Fijo		6.256	
IGV 18%		8.802	
<b>TOTAL</b>		57.703	
<b>COSTO SOLES/LITRO</b>		<b>0.0038</b>	

Nota. Elaboración propia

**ANEXO N°36**

*Variación de %IPC de los últimos 30 años y sus estimaciones de precios de agua*

Costo en Soles/Litro					
		TESIS	AGUA CIELO	WATERGEN	SERV. PÚBLICO
AÑO	%IPC				
1994	15.4	0.0997	0.292832492	0.146416246	0.0038
1995	10.2	0.0997	0.337928696	0.168964348	0.0038
1996	11.8	0.0997	0.372397423	0.186198711	0.0038
1997	6.5	0.0997	0.416340319	0.208170159	0.0038
1998	6	0.0997	0.443402439	0.22170122	0.0038
1999	3.7	0.0997	0.470006586	0.235003293	0.0038
2000	3.7	0.0997	0.48739683	0.243698415	0.0038
2001	0.1	0.0997	0.505430512	0.252715256	0.0038
2002	1.5	0.0997	0.505935943	0.252967971	0.0038
2003	2.5	0.0997	0.513524982	0.256762491	0.0038
2004	3.5	0.0997	0.526363106	0.263181553	0.0038

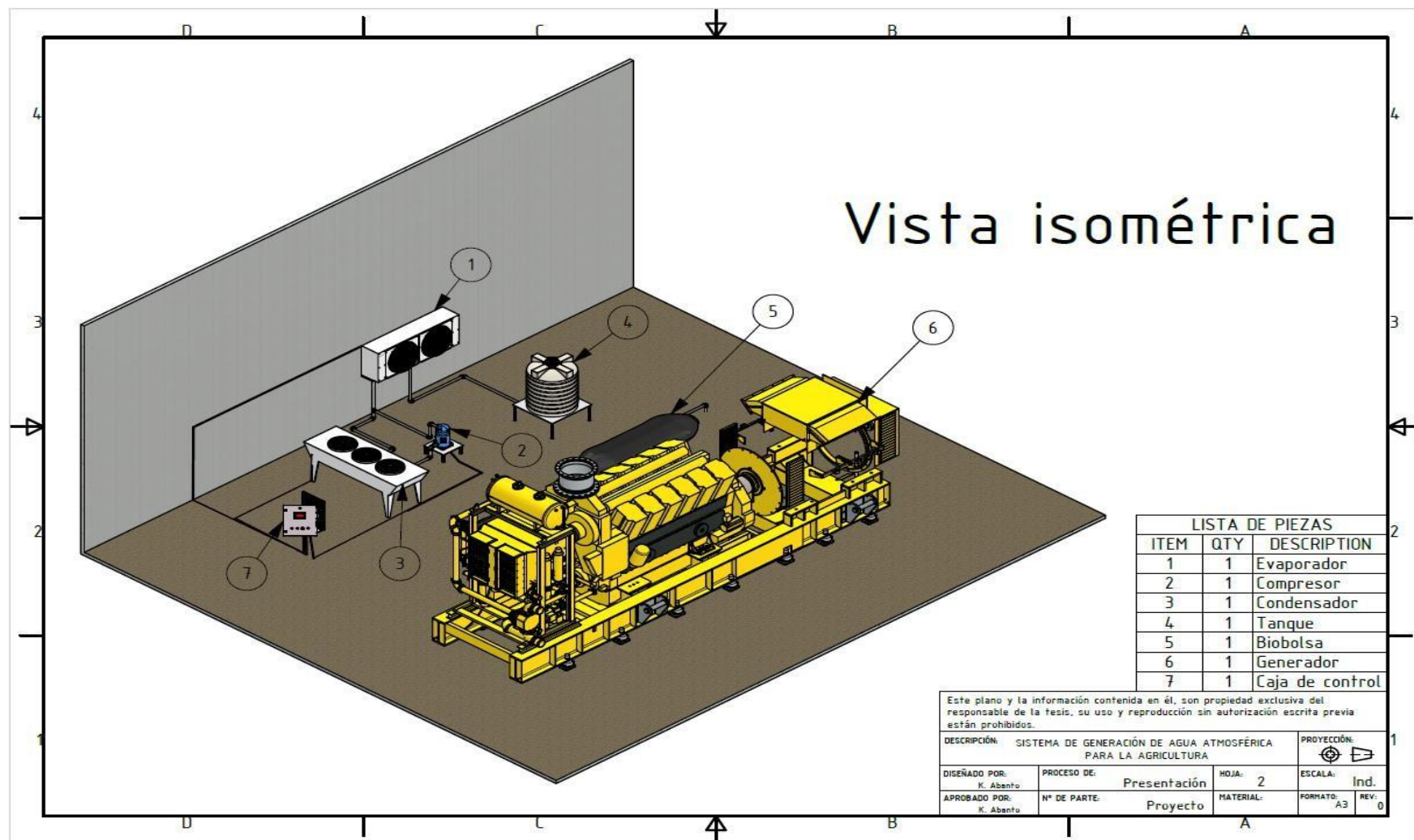
<b>2005</b>	1.5	0.0997	0.544785815	0.272392908	0.0038
<b>2006</b>	1.1	0.0997	0.552957602	0.276478801	0.0038
<b>2007</b>	3.9	0.0997	0.559040136	0.279520068	0.0038
<b>2008</b>	6.7	0.0997	0.580842701	0.290421351	0.0038
<b>2009</b>	0.2	0.0997	0.619759162	0.309879581	0.0038
<b>2010</b>	2.1	0.0997	0.620998681	0.31049934	0.0038
<b>2011</b>	4.7	0.0997	0.634039653	0.317019826	0.0038
<b>2012</b>	2.6	0.0997	0.663839517	0.331919758	0.0038
<b>2013</b>	2.9	0.0997	0.681099344	0.340549672	0.0038
<b>2014</b>	3.2	0.0997	0.700851225	0.350425612	0.0038
<b>2015</b>	4.4	0.0997	0.723278464	0.361639232	0.0038
<b>2016</b>	3.2	0.0997	0.755102717	0.377551358	0.0038
<b>2017</b>	1.4	0.0997	0.779266004	0.389633002	0.0038
<b>2018</b>	2.2	0.0997	0.790175728	0.395087864	0.0038
<b>2019</b>	1.9	0.0997	0.807559594	0.403779797	0.0038
<b>2020</b>	2	0.0997	0.822903226	0.411451613	0.0038
<b>2021</b>	6.4	0.0997	0.83936129	0.419680645	0.0038
<b>2022</b>	8.5	0.0997	0.893080413	0.446540206	0.0038
<b>2023</b>	3.2	0.0997	0.968992248	0.484496124	0.0038
<b>2024</b>	1.86	0.0997	1	0.5	0.0038

---

Nota. Los valores de %IPC se obtuvieron de la SUNAT y los precios se calcularon de forma estimada. (SUNAT, 2024), <https://www.sunat.gob.pe/indicestasa/>

## Anexo N°37

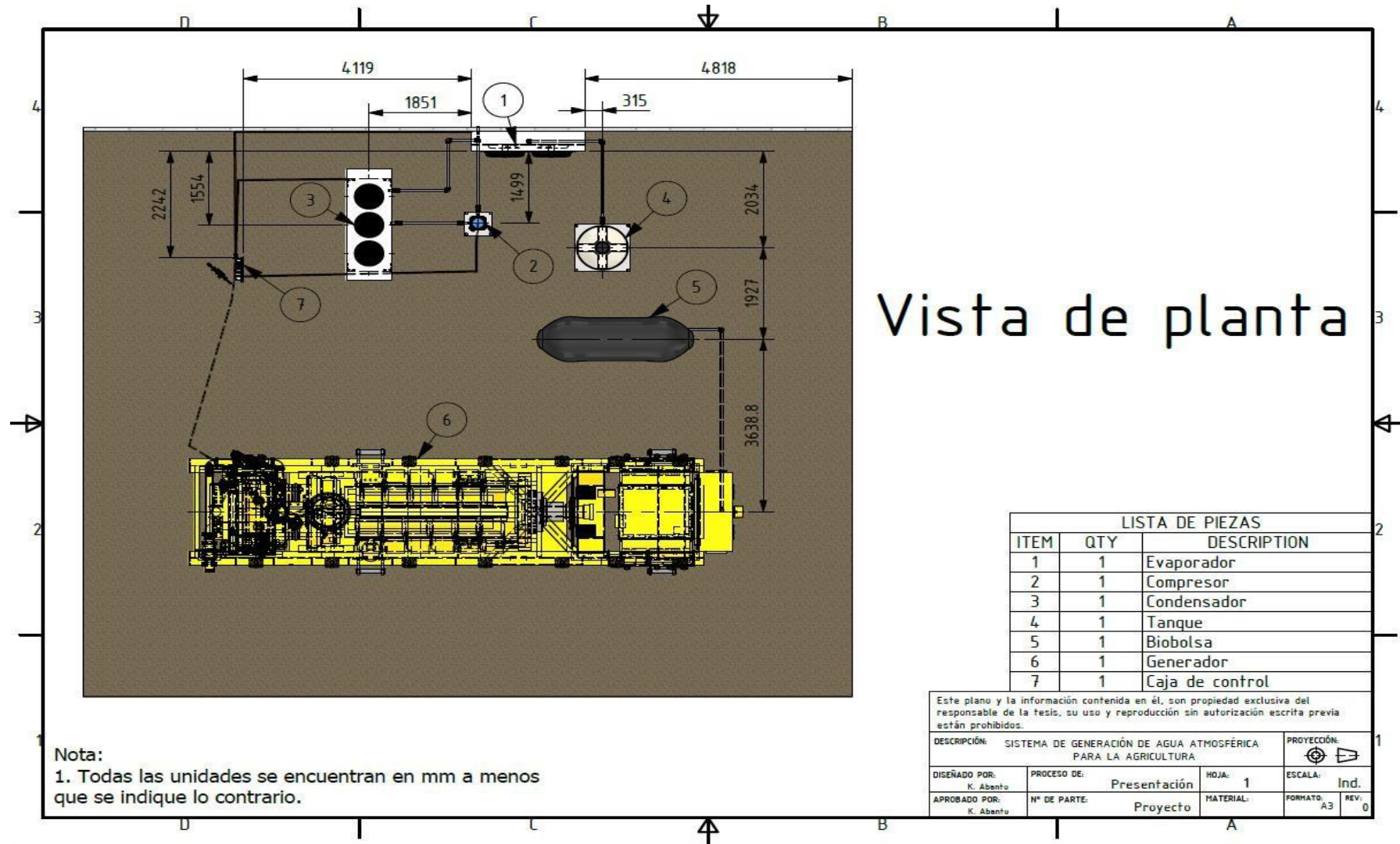
### Vista Isométrica





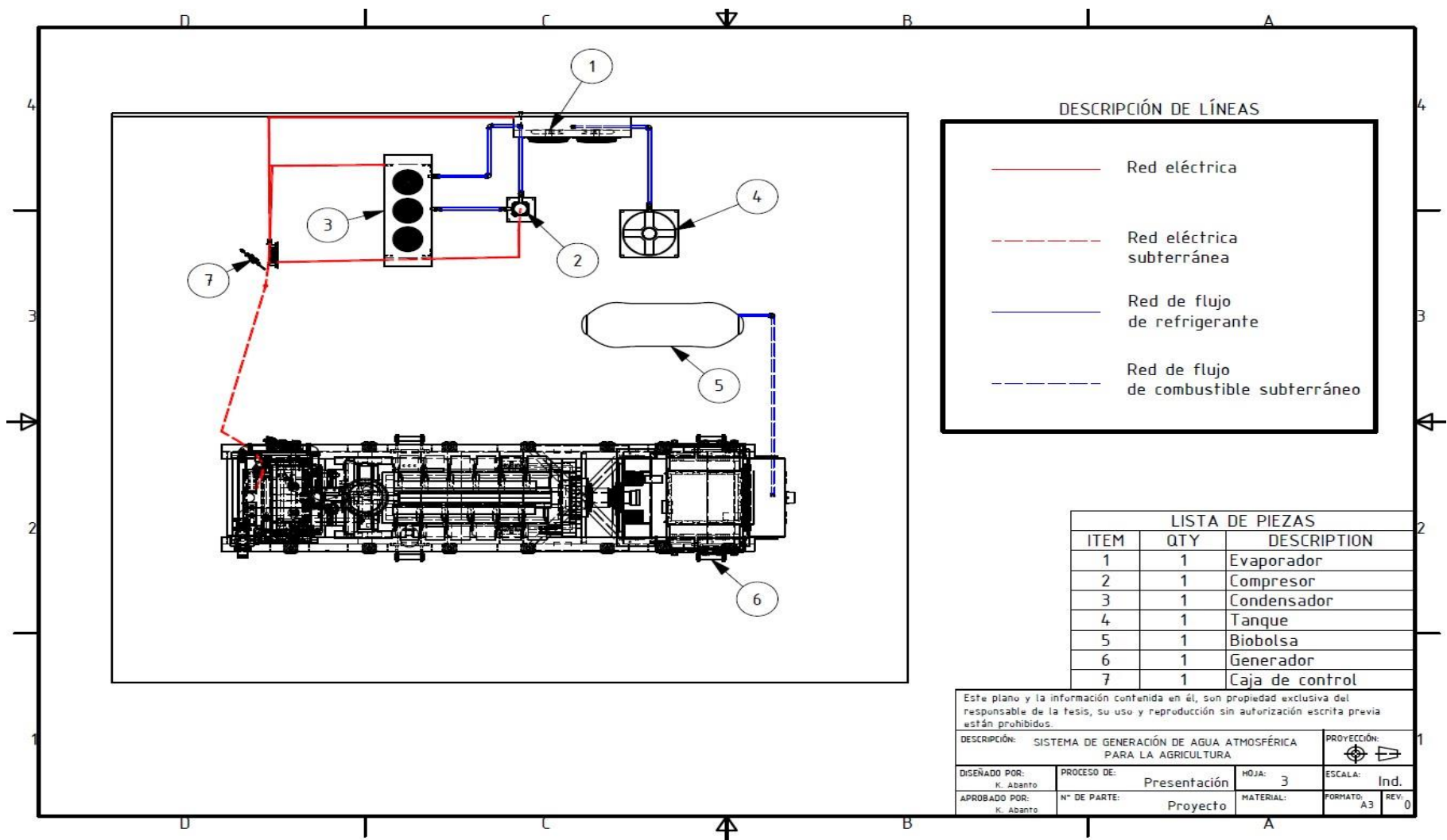
## Anexo N°38

### Vista de Planta



Anexo N°39

Plano



**ANEXO N° 40***Cronograma de implementación del proyecto*

ID	ACTIVIDADES	PREDECESORA	Media (Semanas)
A	Selección del terreno		1.5
B	Contratacion de personal		3.3
C	Compra de terrenos	A	2.8
D	Compra de material de construcción	C	1.7
E	Alquiler de maquianaria pesada		2.3
F	Compra de Equipos y maquinarias		2.3
G	Construccion de la infraestructura	B,D y E	8.3
H	implementacion de equipos	G	4.3
I	Capacitacion de personal	B	1.0
J	Elaboracion de procedimientos de trabajo y seguridad	I	1.5
K	Comprar equipos informaticos	B,F	1.8
L	Logistica de distribución de agua	H,J y K	3.3
M	Construir el sistema de distribucion de agua a regadios	L	3.3

## ANEXO N°41

### Ruta Crítica

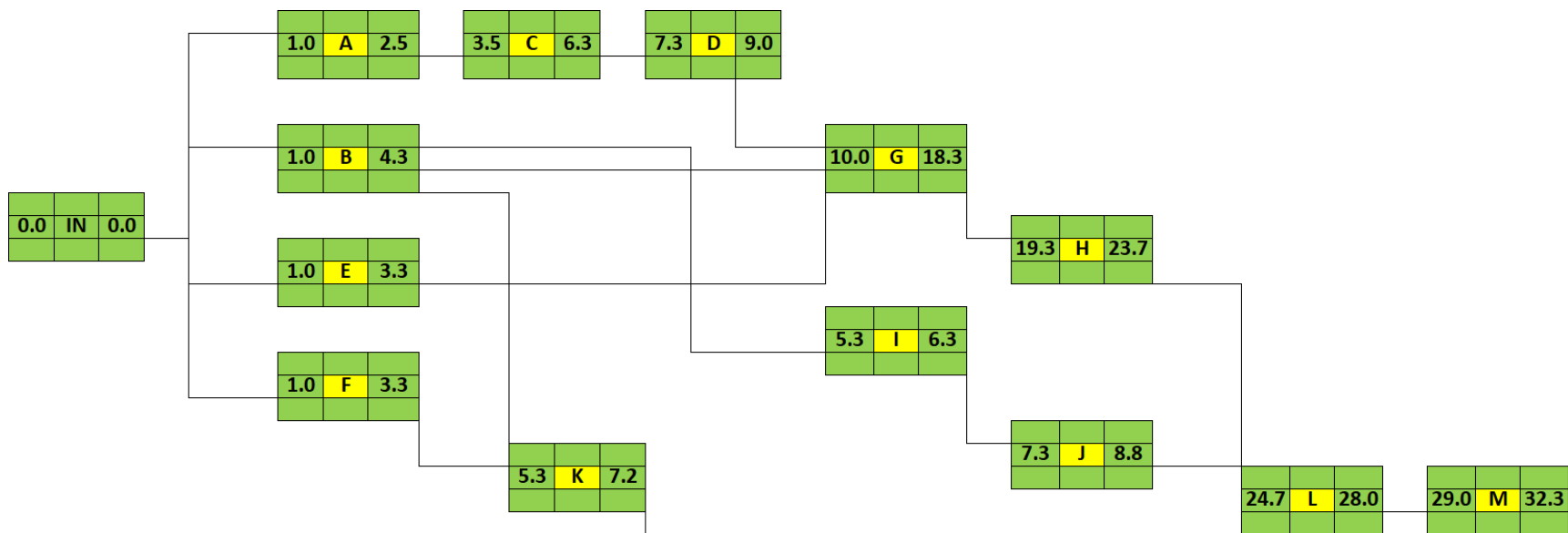


DIAGRAMA DE RED CPM(RUTA CRÍTICA)