

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN UTILIZANDO
GASES EMITIDOS POR LA ISLA ESPINAR”**

Presentada por:

JUAN CARLOS VILCA AYMA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Puno-Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

BORRADOR DE TESIS

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN UTILIZANDO GASES
EMITIDOS POR LA ISLA ESPINAR”

PRESENTADA POR:

JUAN CARLOS VILCA AYMA



PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 07-12-2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFIRMADO POR:

PRESIDENTE:

DR. MARCO ANTONIO QUISPE BARRA

PRIMER MIEMBRO:

M.SC. DAVID SALINAS MENDOZA

SEGUNDO MIEMBRO:

ING. JESÚS VIDAL LÓPEZ FLORES

DIRECTOR / ASESOR:

M.SC. GAVINO JOSÉ FLORES CHIPANA

Área : Automatización e instrumentación
Tema : Aplicaciones Energéticas

Agradecimientos

A mi madre

Por siempre apoyarme en todo momento, enseñarme a no rendirme por más difícil que sea la situación y brindarme el cariño (Clemencia).

A mi padre

Por darme un gran consejo cuando más lo necesitaba (Ronnie).

A mi hermano

Por ser un gran amigo desde mi niñez y brindarme alegrías a cada momento (Jhonatan).

A mis tíos

Por enseñarme la responsabilidad y brindarme cariño, para continuar mi camino (Milagros, Medalit, Christian).

A mis abuelos

Por estar a mi lado dándome los consejos para la vida y prepararme para cualquier reto (Ernesto y Bertha).

Al Dr. Marco A. Quispe

Por brindarme consejos y apoyo para mi vida después de la etapa Universitaria.

Al M.Sc. David Salinas

Por su apoyo durante la elaboración de mi proyecto, y por brindarme grandes enseñanzas como estudiante.

Al Ing. Jesus V. López

Por su apoyo durante la elaboración de mi proyecto de investigación y los conocimientos para mejorarlo.

Al M.Sc. Gavino J. Flores

Por su apoyo para la culminación de mi proyecto, y darme las soluciones para algunos de los problemas de este.

A mis amigos

Romulo, Luis, Jose y Dayner por su gran amistad desde el colegio, y ayudarme para acelerar mi investigación.

Dedicatoria

A la memoria de mis bisabuelos, que desde el cielo me guían y protegen. Con infinito amor a mis padres Ronnie Efrain Vilca Miranda y Clemencia Ayma Ccama, mi segunda madre Milagros, mi hermano Jhonatan, a mis tios Christian y Medalit como también a mis abuelos Ernesto y Bertha, a los mejores amigos Romulo, Luis, Dayner.

ÍNDICE

Agradecimientos	3
Dedicatoria.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	13
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE ANEXOS.....	18
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
INTRODUCCIÓN.....	21
CAPÍTULO I	23
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	23
1.1 Descripción del problema de investigación	23
1.2 Formulación del problema	24
1.2.1 Problema general	24
1.2.2 Problema específico	24
1.3 Justificación.....	24
1.3.1. Justificación técnica	25
1.3.2. Justificación social	25
1.3.3. Justificación económica	25
1.4 Objetivos de la investigación	26
1.4.1 Objetivo General	26
1.4.2 Objetivos específicos.....	26

CAPÍTULO II:	27
2. MARCO TEORICO.....	27
2.1 Marco teórico.....	27
2.1.1 Definición y generalidades.....	27
2.1.1.1 Definición de Energía	27
2.1.1.2 Trabajo, potencia y sus unidades de medida.....	28
2.1.1.3 El calor.....	29
2.1.1.4 Energía interna, entalpía y leyes de la termodinámica.....	29
2.1.1.4.1 La termodinámica	29
2.1.1.4.2 La energía interna	29
2.1.1.4.3 La entalpía.....	30
2.1.1.5 Principio de la energía eléctrica en alternadores	31
2.1.1.6 Ciclos termodinámicos.....	32
2.1.1.6.1 Ciclo de Brayton	32
2.1.1.6.1 Ciclo ideal para las turbinas de gas.....	33
2.1.1.6.2 Eficiencia térmica del ciclo Brayton	35
2.1.1.6.2.1 Análisis termodinámico.....	36
2.1.1.6.2 El ciclo de vapor de Carnot	39
2.1.1.6.2.1 El ciclo de Carnot con un gas perfecto.....	39
2.1.1.6.3 El ciclo de Rankine.....	44
2.1.1.6.3.1 Análisis de energía del ciclo <i>Rankine</i> Ideal.....	45
2.1.2 Energía a partir de aguas residuales	47
2.1.2.1 Tratamiento de aguas residuales.....	48
2.1.2.2 El problema ambiental. Impactos:	50

2.1.2.2.1 Impactos Directos.	50
2.1.2.2.2 Impactos Indirectos.....	51
2.1.2.2.3 Impactos Estéticos	51
2.1.2.2.4 Medición de impactos.....	51
2.1.2.2.5 Cuadro de contaminantes típicos del agua.....	52
2.1.2.3 Biogás	53
2.1.2.3.1 Proceso de formación del biogás.....	54
2.1.2.3.2 Composición del biogás	55
2.1.2.3.3 Características del biogás.....	56
2.1.2.3.4 Rendimientos de producción de biogás.....	58
2.1.2.3.5 Primeros usos del biogás.....	59
2.1.2.3.6 Ventajas y desventajas en emplear biogás	60
2.1.3 Fundamentos del sistema de cogeneración	61
2.1.3.1 Definición y generalidades	61
2.1.3.2 Orígenes de la cogeneración.....	65
2.1.3.3. Aplicación de sistemas de cogeneración	68
2.1.3.3.1 Clasificación según la producción de energía eléctrica y energía térmica	68
2.1.3.3.1.1 Sistemas superiores (TOPPING CYCLES).....	68
2.1.3.3.1.2 Sistemas inferiores (BOTTOMING CYCLES)	70
2.1.3.3.2 Sistemas de cogeneración según el tipo de motor primario	70
2.1.3.3.2.1 Sistemas de cogeneración con turbinas de gas	71
2.1.3.3.2.2 Sistemas de cogeneración con turbinas de vapor:	73
2.1.3.3.2.3 Sistema de cogeneración con ciclo combinado	76
2.1.3.3.2.4 Sistema de cogeneración con motores alternativos de combustión interna	78

2.1.3.4 Concepto de generación distribuida.....	81
2.1.3.5 Beneficios de un sistema de cogeneración.....	82
2.2 Antecedentes de la investigación	83
2.2.1 Antecedentes internacionales	83
2.2.1.1 Situación en México	83
2.2.1.2 Situación en España	86
2.2.2 Antecedentes nacionales	90
2.3 Sustento teórico.....	93
2.3.1 Cogeneración en plantas de tratamiento	93
2.3.2 Potencial de distintas biomásas disponibles.....	93
2.3.3 Cantidad y potencial de biogás a partir de lodos de PTA.....	95
2.3.4 Biogás	95
2.3.5.1 Composición.....	96
2.3.5.1.1 Agua	96
2.3.5.1.1.1 Volumen del agua	96
2.3.5.1.2 CO ₂	97
2.4 Hipótesis y variables.....	98
2.4.1 Hipótesis general	98
2.4.2 Hipótesis específicas	98
2.5 Operacionalización de variables	98
CAPITULO III	99
3. METODOLOGIA O DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION	99
3.1 Tipo y diseño de investigación	99
3.2 Población y muestra de investigación.....	99

3.3 Ubicación y descripción de la población	99
3.3.1 Ubicación geográfica	100
3.3.2 Ubicación política	100
3.4 Material experimental (intervenciones experimentales)	100
3.5 Técnicas e instrumentos para recolectar información	100
3.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	101
3.6.1 Procesamiento de datos	101
3.6.2 Análisis de datos.....	101
3.7 Procedimiento del experimento	101
3.7.1 Fase 1	101
3.7.2 Fase 2	102
3.7.3 Fase 3	102
3.7.4 Fase 4	102
3.7.5 Fase 5	102
3.7.6 Fase 6	102
3.8 Método para la obtención de resultados.....	103
3.8.1 Generalidades	103
3.8.2 Obtención de biogás	104
3.8.2.1 Cantidad de materia orgánica.....	104
3.8.2.2 Potencial de metano	105
3.8.3 Procedimiento de cálculo de la energía cogenerada a partir de biogás.....	106
3.8.3.1 Compresor.....	106
3.8.3.1 Turbina de gas.....	106
3.8.3.1.1 Energía eléctrica.....	106

3.8.3.1.2 Energía térmica	108
3.8.3.2 Generador de vapor por recuperación de calor	111
3.8.3.3 Turbina de vapor	114
3.8.3.3.1 Energía eléctrica.....	115
3.8.3.3.2 Energía térmica	119
3.8.4 Software para facilitación de obtención de resultados	126
3.9 Análisis estadístico para prueba de hipótesis	137
3.9.1 Energía eléctrica.....	137
3.9.1.1 Hipótesis nula.....	137
3.9.1.2 Hipótesis alternativa	137
3.9.1.3 Desarrollo del análisis estadístico	137
3.9.1.4 Decisión:.....	139
3.9.1.5 Conclusión:.....	139
3.9.2 Energía térmica	139
3.9.2.1 Hipótesis nula.....	139
3.9.2.2 Hipótesis alternativa	140
3.9.2.3 Desarrollo del análisis estadístico	140
3.9.2.4 Decisión:.....	141
3.9.2.5 Conclusión:.....	141
3.10 Plan de tratamiento de datos	142
CAPITULO IV	143
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	143
4.1 Análisis de datos.....	143
4.1.1 Resultados del primer análisis realizado con una temperatura promedio de 10°C.....	143

4.1.2 Resultados del segundo análisis realizado con una temperatura a las 01:00 horas.....	144
4.1.3 Resultados del tercer análisis realizado con una temperatura a las 04:00 horas.....	144
4.1.4 Resultados del cuarto análisis realizado con una temperatura a las 06:00 horas.....	145
4.1.5 Resultados del quinto análisis realizado con una temperatura a las 12:00 horas.....	145
4.1.6 Resultados del sexto análisis realizado con la temperatura más baja durante el día.	146
4.1.7 Resultados del séptimo análisis realizado con la temperatura más alta durante el día..	147
4.1.8 Resultados del octavo análisis realizado con la población de Puno	148
4.1.9 Resultados del noveno análisis realizado con la población de Juliaca.....	148
4.1.10 Resultados del décimo análisis realizado con la población de Cerro de Pasco	149
4.1.11 Resultados del décimo primero análisis realizado con la población de Pisco	149
4.2 Comparación con motor de combustión interna.....	150
4.2.1 Resultados del primer análisis realizado para un motor de combustión interna.....	151
4.2.2 Resultados del segundo análisis realizado para un motor de combustión interna.....	151
4.2.3 Resultados del tercer análisis realizado para un motor de combustión interna	152
4.3 Análisis de cantidad de agua.....	153
4.3.1 Resultado del primer análisis	154
4.3.2 Resultado del segundo análisis	154
4.3.3 Resultado del tercer análisis	155
4.3.4 Resultado del cuarto análisis	155
4.3.5 Resultado del quinto análisis	156
4.3.6 Resultado del sexto análisis	156
4.4 Cantidad de energía eléctrica y térmica	157
4.4.1 Energía eléctrica.....	157
4.4.2 Energía térmica	159

CONCLUSIONES	161
RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	162
BIBLIOGRAFÍA.....	163
ANEXOS	166

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2:

<i>TABLA N° 2. 1: Generación por transformación de energía</i>	27
<i>TABLA N° 2. 2: Típicos contaminantes del agua</i>	52
<i>TABLA N° 2. 3: Composición del biogás.....</i>	55
<i>TABLA N° 2. 4: Equivalencias por m³ de biogás.....</i>	56
<i>TABLA N° 2. 5: Generación por metro cubico de biogás</i>	57
<i>TABLA N° 2. 6: Comparación de eficiencias de los principales sistemas de cogeneración</i>	81
<i>TABLA N° 2. 7: Factores de conversión utilizados en el cálculo del potencial de biogás</i>	94

CAPÍTULO 3:

<i>TABLA N° 3. 1: Generación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas domésticas tipo lodos activos de la isla espinar.....</i>	105
<i>TABLA N° 3. 2 Generación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas domésticas tipo lodos activos.....</i>	105
<i>TABLA N° 3. 3 Potencial de biogás generado a partir de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas servidas.....</i>	105
<i>TABLA N° 3. 4: Valores a la salida de la turbina</i>	111
<i>TABLA N° 3. 5: Valores a la salida del HRSG y a la entrada de la turbina</i>	114
<i>TABLA N° 3. 6: Datos de la turbina de vapor SST-300.....</i>	115

CAPÍTULO 4:

<i>TABLA N° 4. 1: Análisis 01.....</i>	143
<i>TABLA N° 4. 2: Análisis 02.....</i>	144
<i>TABLA N° 4. 3: Análisis 03.....</i>	144
<i>TABLA N° 4. 4: Análisis 04.....</i>	145
<i>TABLA N° 4. 5: Análisis 05.....</i>	145
<i>TABLA N° 4. 6: Análisis 06.....</i>	146
<i>TABLA N° 4. 7: Análisis 07.....</i>	147
<i>TABLA N° 4. 8: Análisis 08.....</i>	148
<i>TABLA N° 4. 9: Análisis 09.....</i>	148
<i>TABLA N° 4. 10: Análisis 10</i>	149

<i>TABLA N° 4. 11: Análisis 11</i>	149
<i>TABLA N° 4. 12: Análisis 12</i>	151
<i>TABLA N° 4. 13: Análisis 13</i>	151
<i>TABLA N° 4. 14: Análisis 14</i>	152
<i>TABLA N° 4. 15: Análisis 15</i>	154
<i>TABLA N° 4. 16: Análisis 16</i>	154
<i>TABLA N° 4. 17: Análisis 17</i>	155
<i>TABLA N° 4. 18: Análisis 18</i>	155
<i>TABLA N° 4. 19: Análisis 19</i>	156
<i>TABLA N° 4. 20: Análisis 20</i>	156

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

<i>Figura 2. 2 Partes de un generador</i>	31
<i>Figura 2. 3 Funcionamiento de un una turbina con un motor.....</i>	31
<i>Figura 2. 4 Turbina de gas en ciclo abierto.....</i>	33
<i>Figura 2. 5 Turbina de gas en ciclo cerrado</i>	34
<i>Figura 2. 6 Diagramas Presión-Volumen y Temperatura-Entropía.....</i>	35
<i>Figura 2. 7 Diagrama Presión – Volumen detallado.....</i>	36
<i>Figura 2. 8 Eficiencia térmica de un ciclo Brayton ideal como función de la relación de presiones.....</i>	38
<i>Figura 2. 9 Ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano Pv.....</i>	39
<i>Figura 2. 10 Proceso 2-3 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.</i>	40
<i>Figura 2. 11 Proceso 3-4 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.</i>	41
<i>Figura 2. 12 Proceso 4-1 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.</i>	42
<i>Figura 2. 13 Proceso 1-2 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.</i>	43
<i>Figura 2. 14 Ciclo Rankine ideal simple</i>	44
<i>Figura 2. 15 Ciclo Rankine ideal simple detallado.....</i>	45
<i>Figura 2. 16 Esquema de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales.....</i>	49
<i>Figura 2. 17 Representación esquemática de la descomposición anaeróbica</i>	54
<i>Figura 2. 18 Chimenea voladora</i>	66
<i>Figura 2. 19 Sistema superior trabajando con turbina de combustión.....</i>	69
<i>Figura 2. 20 Sistema superior trabajando con turbina de vapor.....</i>	69
<i>Figura 2. 21 Esquema de sistema inferior trabajando con turbina de vapor</i>	70
<i>Figura 2. 22 Sistema de turbina de gas.....</i>	71
<i>Figura 2. 23 Sistema de cogeneración con turbina de gas</i>	72
<i>Figura 2. 24 Sistema de turbina de vapor</i>	74
<i>Figura 2. 25 Sistema de cogeneración con turbina de vapor.....</i>	75
<i>Figura 2. 26 Sistema de cogeneración con ciclo combinado.....</i>	77
<i>Figura 2. 27 Motor térmico alternativo</i>	78
<i>Figura 2. 28 Sistema de cogeneración con motor alternativo.....</i>	80
<i>Figura 2. 29 Equivalencia del agua</i>	96

<i>Figura 2. 30 Equivalencia del agua Kg a litro</i>	<i>97</i>
CAPÍTULO 3	
<i>Figura 3. 1 Turbina de gas industrial SGT – 750</i>	<i>107</i>
<i>Figura 3. 2 Ciclo de brayton para turbina de gas</i>	<i>108</i>
<i>Figura 3. 3 Análisis en el HRSG</i>	<i>113</i>
<i>Figura 3. 4 Turbina SST-300.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 3. 5 Diagrama de Mollier.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 3. 6 Diagrama de potencia</i>	<i>117</i>
<i>Figura 3. 7 Primer paso para el cálculo de eficiencia térmica.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 3. 8 Segundo paso para el cálculo de eficiencia térmica.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 3. 9 Valores ingresados en el punto S1</i>	<i>121</i>
<i>Figura 3. 10 Valores ingresados en el punto S2</i>	<i>121</i>
<i>Figura 3. 11 Valores ingresados en el punto S3</i>	<i>122</i>
<i>Figura 3. 12 Valores ingresados en el punto S4</i>	<i>122</i>
<i>Figura 3. 13 Comportamiento del HRSG.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 3. 14 Comportamiento de la turbina.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 3. 15 Comportamiento del condensador</i>	<i>124</i>
<i>Figura 3. 16 Comportamiento de la bomba.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 3. 17 Resultados del ciclo de la turbina de vapor</i>	<i>125</i>
<i>Figura 3. 18 Pantalla TESIS-UNAP-2016</i>	<i>127</i>
<i>Figura 3. 19 Pantalla Datos Iniciales del Lugar.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 3. 20 Pantalla Biogás y metano.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 3. 21 Pantalla Biogás y metano.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 3. 22 Pantalla biogás y metano</i>	<i>129</i>
<i>Figura 3. 23 Pantalla Energía Eléctrica y térmica.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 3. 24 Pantalla Energía Eléctrica y térmica</i>	<i>130</i>
<i>Figura 3. 25 Pantalla Ciclo Combinado</i>	<i>130</i>
<i>Figura 3. 26 Pantalla Ciclo Combinado</i>	<i>131</i>
<i>Figura 3. 27 Pantalla Ciclo Combinado</i>	<i>131</i>
<i>Figura 3. 28 Pantalla Energía Eléctrica y térmica</i>	<i>132</i>
<i>Figura 3. 29 Pantalla Motor de combustión interna</i>	<i>132</i>
<i>Figura 3. 30 Pantalla Energía Eléctrica y térmica</i>	<i>133</i>

<i>Figura 3. 31 Pantalla Visualización</i>	<i>134</i>
<i>Figura 3. 32 Pantalla Visualización</i>	<i>135</i>
<i>Figura 3. 33 Pantalla Error.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 3. 34 Distribución Normal Estándar 5%</i>	<i>138</i>
<i>Figura 3. 35 Distribución Normal Estándar 0.05%.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 3. 36 Distribución Normal Estándar 5%</i>	<i>140</i>
CAPÍTULO 4	
<i>Figura 4. 1 Distribución Normal Estándar 5%.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 4. 2 Distribución Normal Estándar 0.05%.....</i>	<i>159</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1 Cartografía de la ubicación de la ciudad de Puno.....</i>	<i>166</i>
<i>Anexo 2 Población en la ciudad de Puno INEI.....</i>	<i>167</i>
<i>Anexo 3 Ecuación de Antoine.....</i>	<i>168</i>
<i>Anexo 4 Planos de Sistema de Cogeneración.....</i>	<i>169</i>
<i>Anexo 5 Código de programa para cálculo automatizado.....</i>	<i>172</i>
<i>Anexo 6 Base de Datos Obtenida por Software.....</i>	<i>221</i>

RESUMEN

El presente trabajo de investigación realiza el diseño y evaluación de un sistema de cogeneración empleando instrumentos como turbinas. Para obtener conocimientos acerca de la generación de energía eléctrica a partir de residuos orgánicos que llegan a parar a la isla espinar, para el cual se investigó partiendo de dicha Isla espinar analizando la situación actual, páginas web de entidades como Electro puno, EMSA Puno, INEI, para tener conocimiento de la cantidad de sustancias que se desembocan, así como también los conocimientos para el aprovechamiento de dichas sustancias, y acerca de la producción simultánea de dos o más tipos de energía a partir de un mismo combustible o fuente de energía primaria como es en nuestro caso el biogás, teniendo en cuenta sus potenciales energéticos, la cantidad de metano en porcentajes, continuando con el análisis eléctrico como térmico para cada uno de los elementos de nuestro sistema de cogeneración, a la vez eligiendo entre cuál de todas las opciones posibles es la más adecuada y reconociendo las ventajas de cada una. Para finalizar indicando la cantidad de energía eléctrica y térmica posible con un sistema de cogeneración.

PALABRAS CLAVES: Cogeneración, turbinas, biogás, metano.

ABSTRACT

This research makes the design and evaluation of a cogeneration system using instruments such as turbines. To gain knowledge about the generation of electricity from organic waste going to stop the espinar island, which was investigated based on said island espinar analyzing the current situation, websites of organizations such as Electro puno, EMSA Puno, INEI, to be aware of the amount of substances flow, as well as knowledge for the use of such substances, and about the simultaneous production of two or more types of energy from a single fuel or primary energy source as in our case biogas, considering its energy potential, the amount of methane in percentages, continuing the electrical and thermal analysis for each of the elements of our cogeneration system, to see by choosing from which all possible options is the most appropriate and recognizing the advantages of each. To end indicating the amount of electrical and thermal energy possible with a cogeneration system.

KEYWORDS: Cogeneration, turbines, biogas, methane.

INTRODUCCIÓN

La demanda creciente energética mundial va en crecimiento, así como la preocupación por el medio ambiente y el calentamiento global que se originan hoy en día por el consumo de combustibles por lo que se crean nuevas tecnologías para el uso de energías renovables que son mejores para el medio ambiente.

Los sistemas de Cogeneración permiten aprovechar parte del calor emanado por las industrias, en forma combinada de calor y electricidad. Si, además, la industria requiere de refrigeración, entonces al adicionarla a la Cogeneración es conocido como Trigeneración.

Con este sistema se pretende el aprovechamiento de los residuos del pozo de oxidación y a su vez la optimización durante todo el proceso generando mayores ingresos y mejor servicio eléctrico. La estructura del presente proyecto de investigación es el siguiente

En el **Capítulo I**: se presenta los lineamientos generales que comprende el planteamiento del problema, y los objetivos del presente proyecto de tesis.

En el **Capítulo II**: se fundamenta los conceptos básicos de energía a partir de aguas residuales, conocimientos acerca de los sistemas de cogeneración, biomasa, biogás, los antecedentes de la investigación. Por otro lado, se describe la hipótesis de la investigación.

En el **Capítulo III**: aborda la metodología, donde se describe el tipo, nivel, método y diseño de la investigación. También se presenta el desarrollo del proyecto, como el diseño del sistema de cogeneración.

En el **Capítulo IV**: Desarrolla el análisis del sistema de cogeneración, así como los resultados obtenidos, así como la elección de la turbina de gas y la

turbina de vapor y cuanta eficiencia se tiene con cada una de estas partiendo también a partir de la cantidad de sustancias percibidas por la isla espinar

El trabajo finaliza presentado las conclusiones obtenidas a partir de los datos obtenidos realizadas.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 Descripción del problema de investigación

Puno una de las ciudades más importantes del Perú que recibe diariamente un gran número de visitantes tanto Peruanos como extranjeros, por dos motivos importantes, cuenta con muchos lugares turísticos cerca de la ciudad además en este se encuentra el lago navegable más alto del mundo “Lago Titicaca ” , lo otro se refleja en febrero que es el mes donde se percibe una mayor concentración de visitantes por el motivo de que se festeja la parada en honor a la Virgen de la Candelaria que además hoy en día es considerado patrimonio cultural inmaterial de la humanidad.

La emisión de olores nauseabundos generados por la acumulación de diversos residuos tóxicos provenientes de la ciudad de puno, viene generando contaminación y malestar a la población de nuestra ciudad siendo un punto altamente contaminante; por lo que urge plantear soluciones inmediatas para contribuir a la minimización de la contaminación del medio ambiente usando tecnologías adecuadas como es el caso de la utilización de dichos olores para la generación de energía eléctrica.

La falta de conocimiento sobre la cogeneración, y las Smart Grid en el Perú, aumentado a la baja difusión y los pocos incentivos por parte del gobierno regional y nacional para proyectos de este tipo, es un problema pues permite la falta de estudios serios por parte de la población, acerca de los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables. Otro de los problemas que se une a los ya mencionados, se trata del ya conocido, desconocimiento de la tecnología y resistencia a ella, aunque no es para nada algo nuevo en nuestro país.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar un sistema de cogeneración usando biogás emitido en la isla espinar?

1.2.2 Problema específico

- ¿Qué tanto de energía eléctrica obtengo utilizando un sistema de cogeneración?
- ¿Qué tanto de energía térmica obtengo utilizando un sistema de cogeneración?

1.3 Justificación

El sistema de cogeneración es un tipo de generación eléctrica muy poco conocido y con poca difusión también por la poca incentivación por parte del gobierno central para realizar este tipo de proyectos, teniendo también una gran población y por los rasgos geográficos se puede realizar un pre diseño que podría ser el inicio para un gran proyecto en la ciudad de Puno.

El sistema de cogeneración aparte de ser una buena opción para la generación de energía es también útil para la agricultura ya que el residuo de lodo se convierte en fango que tiene un gran poder energético casi de la mitad del carbón que se utiliza en la agricultura y que podría utilizarse también grandes industrias que son grandes contaminantes y el reemplazo del carbón por el fango procesado contribuye a la lucha contra el medio ambiente.

Ya que se trata de un sistema que se puede aplicar sobre una planta de tratamiento de aguas residuales nos ayuda también al proceso de las aguas que llegan mediante alcantarillados y desagües provenientes de las viviendas e incluso de las lluvias para que al final del proceso estas aguas nos sirvan para

el proceso de irrigación en zonas cercanas a la ciudad de Puno ya que son grandes espacios de agricultura y ganadería.

1.3.1. Justificación técnica

Con el presente proyecto se pretende realizar y comprender un sistema de cogeneración y determinar cuál de los métodos es el más conveniente para la ciudad de Puno y cual daría mayores cantidades de electricidad y temperatura realizando los pasos pertinentes, así como las pruebas que se tienen que realizar.

1.3.2. Justificación social

El presente proyecto permitirá minimizar la emisión de fuertes olores tóxicos para la población, en especial para los barrios cercanos a la planta de tratamiento de estabilización (Av. Primavera, UGEL, Av. Simón Bolívar, etc.), también pretende propiciar el uso de energía eléctrica generada a partir de desechos sólidos y aguas residuales que se vierten a la isla espinar los cuales provienen de la ciudad de Puno.

Asimismo, mejorar el aspecto de la bahía del Titicaca con respecto a turistas nacionales e internacionales que visitan a nuestra ciudad.

1.3.3. Justificación económica

Con la generación de energía eléctrica y térmica gracias a una energía renovable como es el caso de biogás, generaría un ahorro para la población puneña, puesto que se obtendría la cogeneración cerca de la ciudad con materia prima al alcance de la planta y sin costo, por otro lado, el ahorro se daría también en el transporte de la energía producida.

Al finalizar todo el proceso se llega a obtener fango que también puede ser vendido a fábricas o lugares donde haya agricultura obteniéndose de esta una ganancia adicional.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de cogeneración utilizando gas emitido en la isla espinar.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de energía eléctrica generada por un sistema de cogeneración utilizando la mayor cantidad de biogás.
- Determinar la cantidad de energía térmica generada por un sistema de cogeneración utilizando la mayor cantidad de biogás.

CAPÍTULO II:

2. MARCO TEORICO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Definición y generalidades

2.1.1.1 Definición de Energía

La energía es una propiedad asociada a la materia y a la vez se llama energía de un sistema a la capacidad de dicho sistema para realizar un trabajo. La energía se halla en muy diversas formas más o menos fáciles de observar, estas pueden ser (García Garrido & Fraile Chico, 2008):

Energía mecánica, energía térmica, energía eléctrica

TABLA N° 2. 1: Generación por transformación de energía

Aparato	Energía inicial	Energía final
Motor eléctrico	Eléctrica	Mecánica
Motor de combustión	Química	Mecánica
Estufa eléctrica	Eléctrica	Térmica
Cocina de gas	Química	Térmica
Panel solar	Luminosa	Eléctrica
Pila	Química	Eléctrica
Central térmica	Química	Eléctrica

Fuente: Cogeneración diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración

La verdadera naturaleza de la energía no se conoce por ende no se puede medir directamente.

2.1.1.2 Trabajo, potencia y sus unidades de medida

El trabajo es el resultado del valor de una fuerza, que se aplica sobre cualquier cuerpo, por el valor de la distancia recorrida por dicho cuerpo.

El trabajo se define por:

$$W = \int_i^f \vec{f} \cdot d\vec{r} \quad (2.1)$$

$$W = \int_i^f (f_x dx + f_y dy + f_z dz) \quad (2.2)$$

Esta ecuación indica el trabajo que realiza una fuerza para trasladar una partícula desde i hasta f .

Como por definición sus unidades en el sistema internacional son N.m, que se denomina joule o julio. Recibe el nombre de potencia al trabajo realizado por unidad de tiempo y se define por:

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.3)$$

Su unidad de medida es el vatio, equivalente a un julio por segundo (1J/s).

Otra unidad muy utilizada es el caballo de vapor (CV). Un caballo de vapor equivale a 736 W y es la potencia necesaria para subir un peso de 75 kg, un metro, en un segundo.

A partir del vatio se define una unidad de trabajo muy utilizada, el kw.h:

$$1kw.h = \frac{1000J}{s} * 3600s = 3.6 * 10^6J \quad (2.4)$$

2.1.1.3 El calor

En la naturaleza se observa con frecuencia que determinados cuerpos llamados vulgarmente cuerpos calientes ejercen cierta influencia sobre otros, llamados fríos, variando alguna de sus características, como forma, volumen, color o energía. Se observa que esta influencia puede originar un trabajo, es decir que tiene carácter energético.

Se llama calor a la influencia que se transmite de un cuerpo a otro al ponerse en contacto, por el hecho de poseer diferente temperatura. (García Garrido & Fraile Chico, 2008)

2.1.1.4 Energía interna, entalpia y leyes de la termodinámica

2.1.1.4.1 La termodinámica

Es una ciencia experimental que estudia las transformaciones energéticas, en que intervienen el trabajo y/o el calor. Es la disciplina que rige todos los principios básicos de las plantas energéticas y en concreto de cogeneración. (García Garrido & Fraile Chico, 2008)

2.1.1.4.2 La energía interna

Es la suma de la energía contenida en cada una de las moléculas del mismo dicho de otra manera es la energía total de un sistema.

Como bien se sabe el cambio de energía interna (ΔE) es la diferencia entre la energía interna del sistema al término de un proceso y la que tenía al principio.

$$\Delta E = E_{inicial} - E_{final} \quad (2.5)$$

En el caso de los gases es interesante estudiar los efectos de la presión sobre los mismos y se define otra propiedad de los mismos que se llama entalpía (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

2.1.1.4.3 La entalpía

Se puede definir como la suma de la energía interna de un cuerpo y de la energía de presión del mismo (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

Primera ley de la termodinámica llamada también, ley de conservación de energía, donde la energía ni se crea ni se destruye, es decir que la energía al final de una transformación es igual a la que había antes, más la aportada desde el exterior y menos la cedida al exterior (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

De esta ley se deduce que cuando cedemos calor o trabajo a un sistema, éste aumenta su energía en esa magnitud. Por el contrario, el trabajo aportado a un compresor se emplea en aumentar la entalpía del fluido. En el caso de una bomba de agua, el trabajo aportado se utiliza en aumentar la energía potencial del agua, por ejemplo, para elevarlo (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

También se ha observado que en una transformación se puede transformar todo el trabajo en calor, pero nunca todo el calor en trabajo. La consecuencia del segundo principio es que no es posible crear un motor térmico que tenga rendimiento del 100 %. El rendimiento límite, al cual no puede llegarse, viene dado por la expresión (García Garrido & Fraile Chico, 2008)

$$n_{max} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2.6)$$

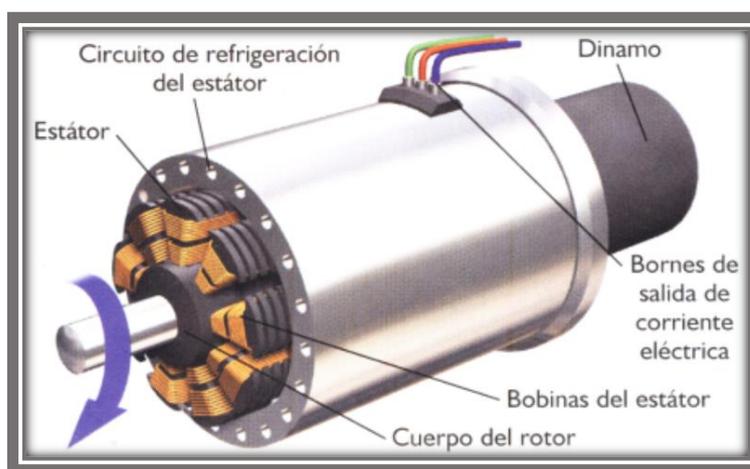
Siendo T_2 y T_1 , la temperatura absoluta del foco frío y caliente respectivamente.

2.1.1.5 Principio de la energía eléctrica en alternadores

Para poder generar energía eléctrica, las más conocidas son: manera química y la más usada la física la cual consiste en la “inducción” electromagnética.

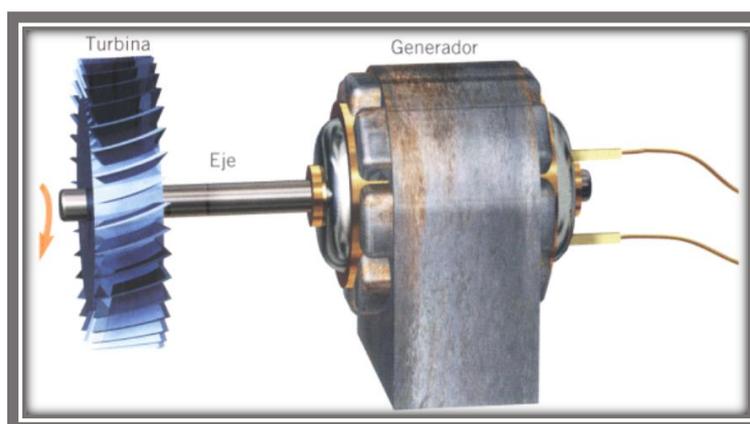
Este ejemplo se muestra en las figuras 2.1 y 2.2.

Figura 2. 1 Partes de un generador



Fuente: I.E.S. Antonio González González

Figura 2. 2 Funcionamiento de un una turbina con un motor



Fuente: I.E.S. Antonio González González

El rotor excita al estator generando un campo magnético es esa la razón por la cual la energía eléctrica en los hogares es alterna el rotor puede ser movido por ser por turbinas de centrales hidroeléctricas, eólicas, etc.

2.1.1.6 Ciclos termodinámicos

En termodinámica hay dos importantes áreas de aplicación, la generación de potencia y la refrigeración. Los ciclos termodinámicos de potencia se categorizan como ciclos de gas o ciclos de vapor, dependiendo de la fase del fluido de trabajo (Cifuentes Villatoro, 2011). En los ciclos de gas el fluido de trabajo permanece en la fase gaseosa por todo el ciclo, en tanto que en los de vapor el fluido de trabajo existe en la fase de vapor durante una parte del ciclo y en la fase líquida durante otra parte (Cifuentes Villatoro, 2011).

Para todo ciclo se cumple que:

$$\Delta U = 0 ; Q = W$$

Los principales ciclos son:

- **De potencia**

- Ideal de Carnot
- Rankine
- Brayton

- **De refrigeración**

- De Carnot inverso
- Refrigeración por compresión
- Por absorción

2.1.1.6.1 Ciclo de Brayton

El ciclo Brayton fue propuesto por vez primera por George Brayton para emplearlo en el motor recíprocante que quemaba aceite que construyó en 1870. (Cifuentes Villatoro, 2011)

Es un proceso cíclico asociado generalmente a una turbina a gas. Al igual que otros ciclos de potencia de combustión interna, el ciclo Brayton es un sistema

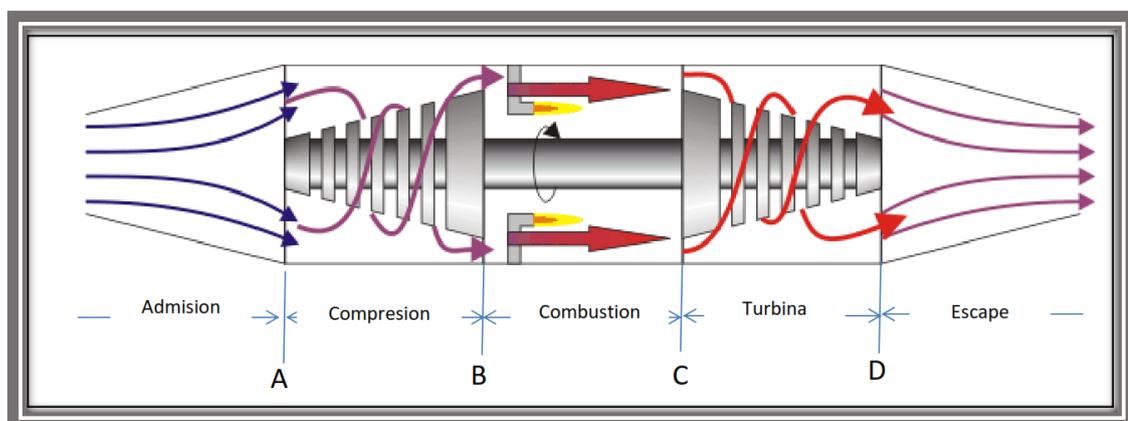
abierto, aunque para un análisis termodinámico es conveniente asumir que los gases de escape son reutilizados en el ingreso, permitiendo el análisis como sistema cerrado. (Rivera Chávez, 2009).

Hoy día se utiliza en turbinas de gas donde los procesos, tanto de compresión como de expansión, suceden en maquinaria rotatoria; pertenece a la categoría de los ciclos de gas. (Cifuentes Villatoro, 2011).

2.1.1.6.1 Ciclo ideal para las turbinas de gas

Las turbinas de gas generalmente operan en un ciclo abierto, como se observa en la figura 2.3. Aire fresco en condiciones ambiente se introduce dentro del compresor donde su temperatura y presión se eleva. El aire de alta presión sigue hacia la cámara de combustión donde el combustible se quema a presión constante. (Cifuentes Villatoro, 2011). Luego los gases de alta temperatura que resultan entran a la turbina, donde se expanden hasta la presión atmosférica, de tal forma que producen potencia. Los gases de escape que salen de la turbina se expulsan hacia fuera (no se recirculan), lo que provoca que el ciclo se clasifique como un ciclo abierto. (Cifuentes Villatoro, 2011)

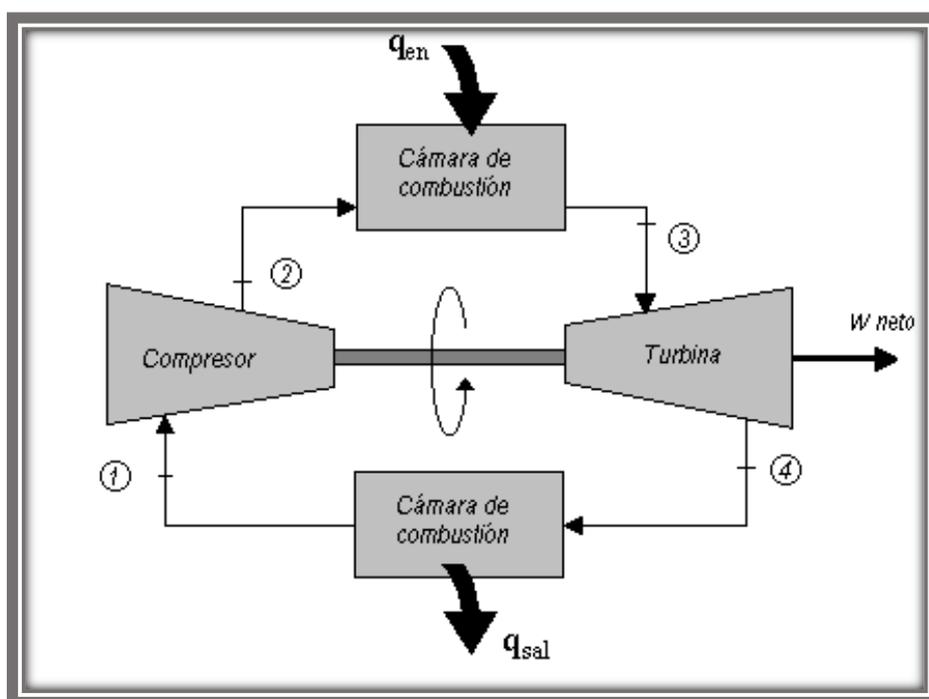
Figura 2. 3 Turbina de gas en ciclo abierto



Fuente: Ciclos termodinámicos 2011-2012

El ciclo de turbina de gas abierto recién descrito puede modelarse como un ciclo cerrado, del modo que se indica en la figura 2.4, mediante las suposiciones de aire estándar. En este caso los procesos de compresión y expansión permanecen iguales, pero el proceso de combustión se sustituye por un proceso de adición de calor a presión constante de una fuente externa, y el proceso de escape se reemplaza por uno de rechazo de calor a presión constante hacia el aire ambiente. (Cifuentes Villatoro, 2011).

Figura 2. 4 Turbina de gas en ciclo cerrado



Fuente: Yunus y Michael. Termodinámica.

El ciclo ideal que el fluido de trabajo experimenta en este ciclo cerrado es el ciclo Brayton, que está integrado por cuatro procesos internamente reversibles:

1-2 Compresión isoentrópica o adiabática (en un compresor)

2-3 Adición de calor a presión constante

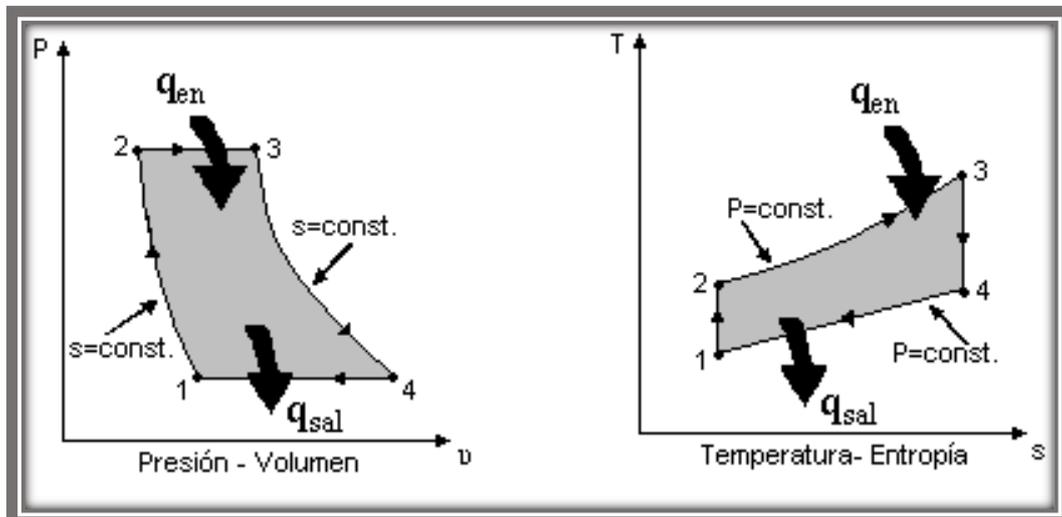
3-4 Expansión isoentrópica o adiabática (en una turbina)

4-1 Rechazo de calor a presión constante

2.1.1.6.2 Eficiencia térmica del ciclo Brayton

Los diagramas T-s y P-v de un ciclo Brayton ideal se muestran en la figura 2.5. Advierta que los cuatro procesos del ciclo Brayton se ejecutan en dispositivos de flujo estable; de esa manera deben analizarse como procesos de flujo estable. (Cifuentes Villatoro, 2011).

Figura 2. 5 Diagramas Presión-Volumen y Temperatura-Entropía



Fuente: Yunus y Michael Termodinámica.

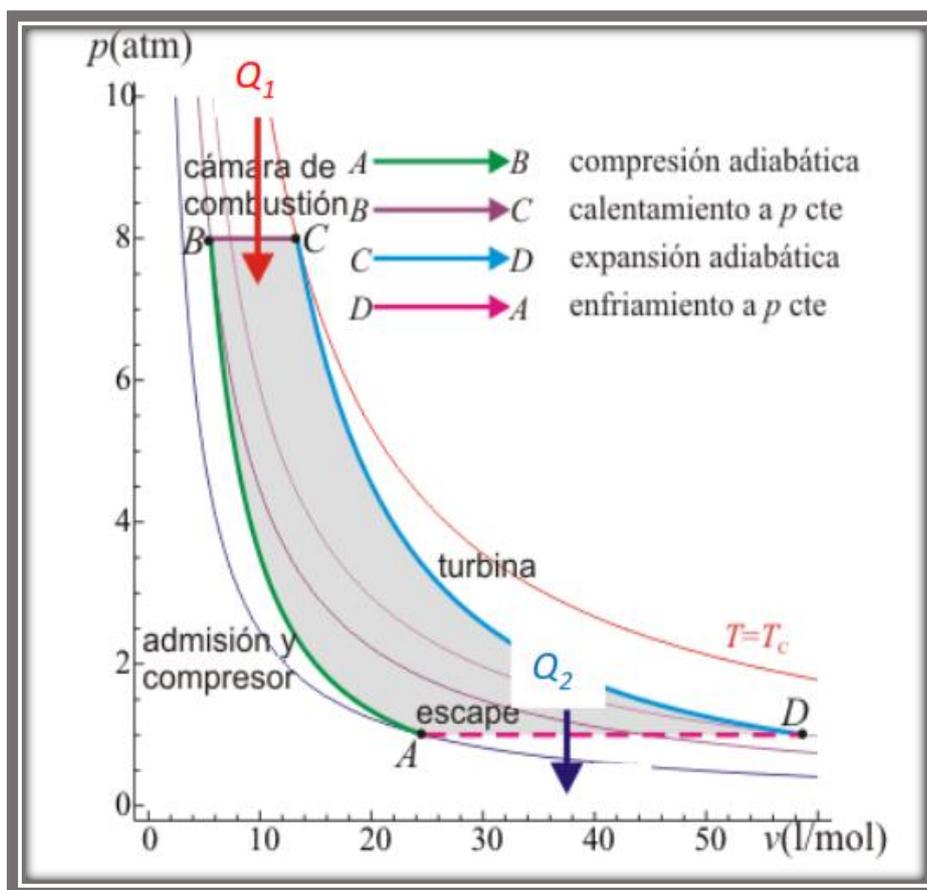
Es un motor térmico que produce trabajo por intercambio de calor con dos focos, térmicos a distinta temperatura

El rendimiento viene dado por:

$$n = \frac{W_{neto}}{Q_{absorbido}} = \frac{|Q_{foco\ caliente}| - |Q_{foco\ frio}|}{|Q_{foco\ caliente}|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \quad (2.7)$$

2.1.1.6.2.1 Análisis termodinámico

Figura 2. 6 Diagrama Presión – Volumen detallado



Fuente: Ciclos termodinámicos 2011-2012

Procesos isobáricos

$$p_A = p_D \tag{2.8}$$

$$p_B = p_C \tag{2.9}$$

Procesos isoentropicos

$$p_A T_A = p_B T_B \tag{2.10}$$

$$p_C T_C = p_D T_D \tag{2.11}$$

De las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10, 2.11

$$\frac{T_D}{T_A} = \frac{T_C}{T_B} \quad (2.12)$$

Restando una unidad a cada lado

$$\frac{T_D}{T_A} - 1 = \frac{T_C}{T_B} - 1 \quad (2.13)$$

Se obtiene

$$\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = \frac{T_A}{T_B} \quad (2.14)$$

Calor neto en el ciclo

El calor neto viene definido por las siguientes ecuaciones:

$$|Q_1| = Q_{B \rightarrow C} = c_p |T_C - T_B| \quad (2.15)$$

$$|Q_2| = Q_{D \rightarrow A} = c_p |T_A - T_D| \quad (2.16)$$

De estas dos ecuaciones se obtiene el trabajo neto

$$Q_{neto} = |Q_1| - |Q_2| \quad (2.17)$$

De esto el rendimiento en función de las temperaturas podrán expresarse de la siguiente manera

$$n = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} \quad (2.18)$$

Para simplificar esto se hace el rendimiento en función de la razón de compresión "r"

$$n = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} = 1 - \left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (2.19)$$

Definiendo la razón de compresión “r” como:

$$r = \frac{p_B}{p_A} > 1 \quad (2.20)$$

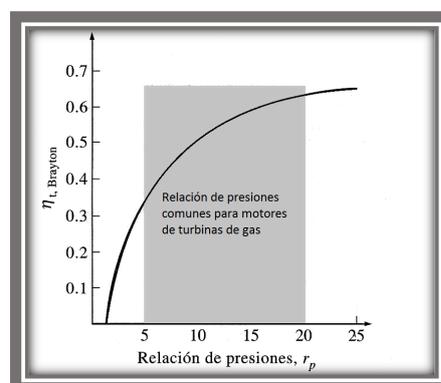
La ecuación de rendimiento se transforma a:

$$n = 1 - \frac{1}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (2.21)$$

Con: r la relación de presiones γ coeficiente adiabático o la relación de calores específicos.

Con la Ecuación 2.21 muestra que la eficiencia térmica de un ciclo de brayton ideal depende únicamente de la relación de presiones y la relación de calores específicos del fluido de trabajo La eficiencia térmica aumenta con estos dos parámetros, que es también el caso para las turbinas de gas reales. En la figura 2.7 se presenta una gráfica de la eficiencia térmica en función de la relación de presiones para $k= 1,4$, que es el valor de la relación de calores específicos del aire a temperatura ambiente.

Figura 2. 7 Eficiencia térmica de un ciclo Brayton ideal como función de la relación de presiones



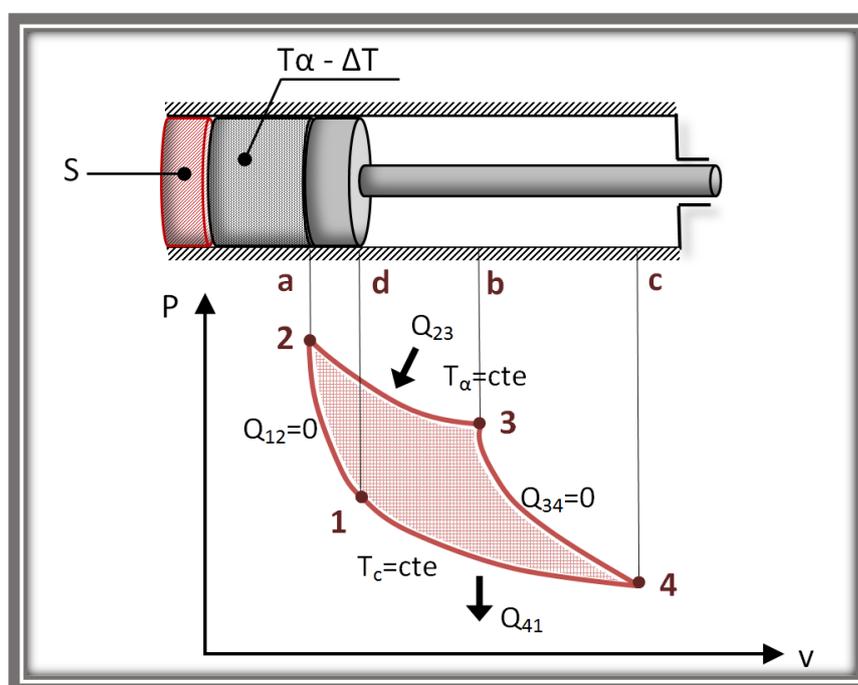
Fuente: Yunus y Michael Termodinámica.

2.1.1.6.2 El ciclo de vapor de Carnot

2.1.1.6.2.1 El ciclo de Carnot con un gas perfecto

El Ciclo de Carnot, representado en el plano Pv en la figura 2.8, que puede funcionar como sistema cerrado o como sistema de flujo en régimen estacionario, está compuesto por dos procesos isotérmicos e internamente reversibles y dos procesos adiabáticos e internamente reversibles (Fuste Paredes, 2015).

Figura 2. 8 Ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano Pv .



Fuente: Análisis termodinámico de los ciclos de rankine

2-3 Expansión isotérmica, $Q_{23} > 0$

3-4 Expansión adiabática, $Q_{34} = 0$

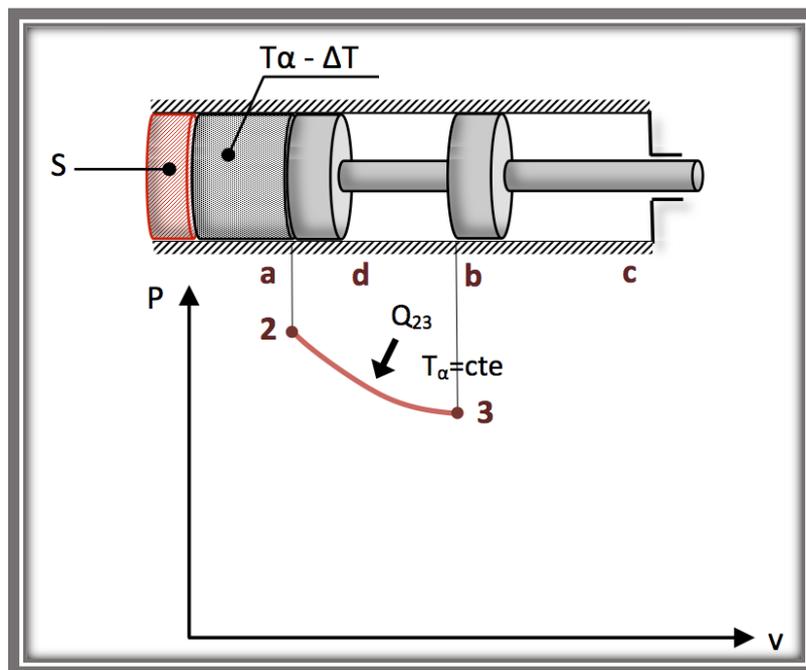
4-1 Compresión isotérmica, $Q_{41} < 0$

1-2 Compresión adiabática, $Q_{12} = 0$

Supongamos en primer lugar que el ciclo de Carnot es realizado por un gas perfecto. El cilindro de la figura está lleno de 1kg de gas siendo, por tanto, el volumen limitado por las paredes del cilindro y del émbolo igual al volumen específico en cada instante. El cilindro es perfectamente adiabático, excepto en la culata S, que puede ponerse en contacto con depósitos que proporcionan transferencia de calor o mantenerse adiabática. (Fuste Paredes, 2015).

- En la expansión isotérmica 2-3 figura (2.9): la temperatura del gas es T_α y la culata del cilindro está en contacto con una fuente de calor de gran capacidad para que la temperatura T_α del gas se mantenga constante en dicho proceso. Cuando el gas se expande lentamente, la temperatura tendería a disminuir $T_\alpha - \Delta T$, donde $\Delta T \rightarrow 0$, condición necesaria para que el proceso sea reversible. La cantidad de calor total transferido al gas durante el proceso 2-3 es Q_{23} .

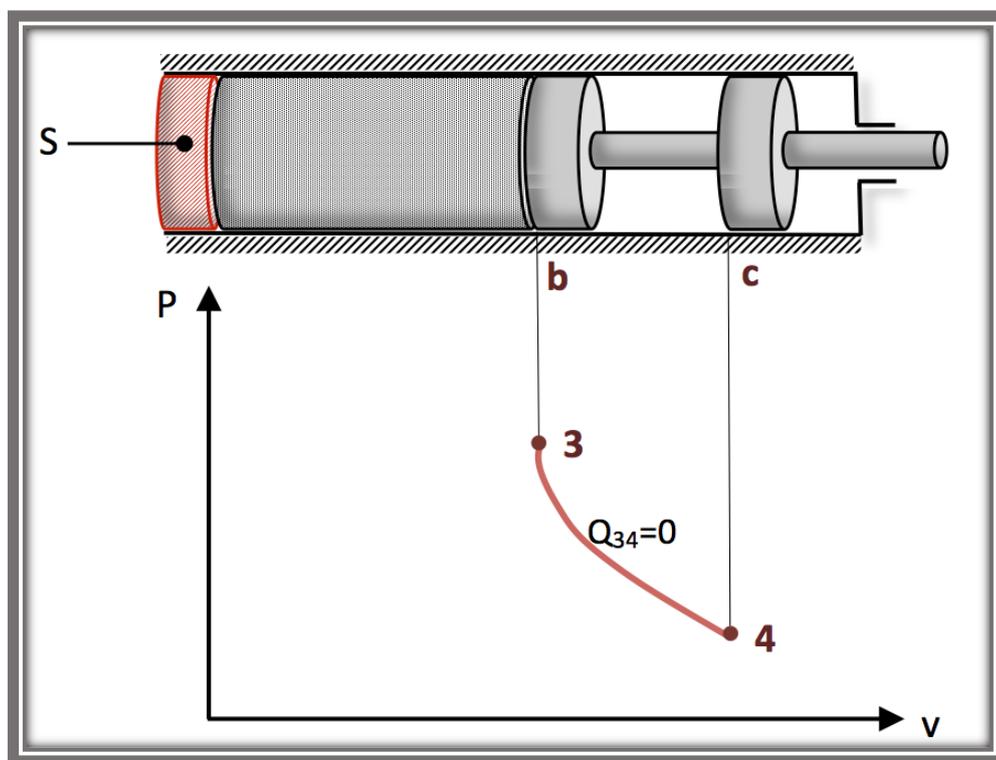
Figura 2. 9 Proceso 2-3 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.



Fuente: Análisis termodinámico de los ciclos de rankine

- En la expansión adiabática 3-4 figura (2.10): En este caso la fuente de calor se elimina y se aísla la culata de manera que el proceso sea adiabático. El gas continúa expandiéndose y realiza trabajo sobre los alrededores hasta que su temperatura disminuye hasta T_c . El émbolo no experimenta fricción, de modo que el proceso es reversible y adiabático.

Figura 2. 10 Proceso 3-4 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.



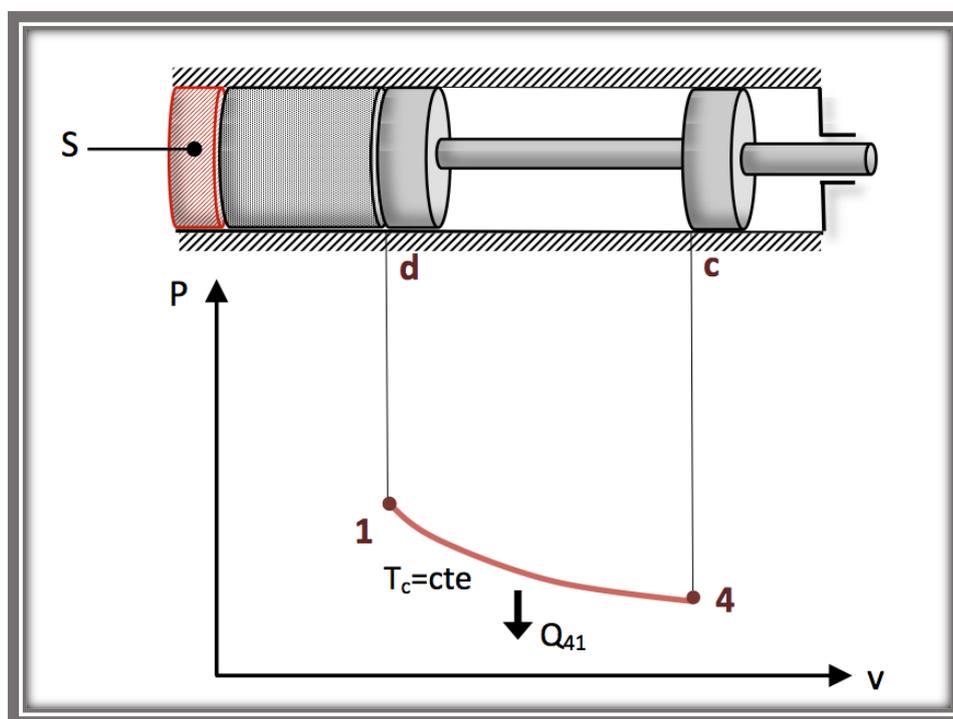
Fuente: Análisis termodinámico de los ciclos de Rankine

Tanto la expansión isotérmica 2-3 como en la adiabática 3-4, el gas realiza trabajo exterior, siendo $W_{24} = \int_2^4 p \, dv > 0$

- En la compresión isotérmica 4-1 figura (2.11): Se retira el aislamiento de la culata y el sistema se pone en contacto con una fuente fría también de gran capacidad y, por tanto, de temperatura

constante T_c . El calor fluye del gas a la fuente fría durante el proceso 4-1 y a medida que el gas se comprime su temperatura tiende a incrementarse, pero al estar en contacto con la fuente fría, esto no ocurre. El proceso será reversible, porque también ahora $\Delta T \rightarrow 0$. La cantidad de calor rechazado del gas durante el proceso es Q_{41} .

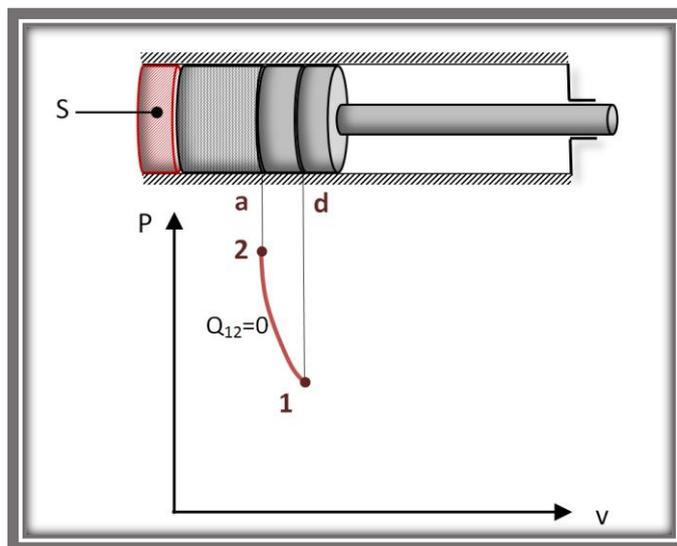
Figura 2. 11 Proceso 4-1 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.



Fuente: Análisis termodinámico de los ciclos de Rankine

- En la compresión adiabática 1-2 figura (2.12): Se retira la fuente de baja temperatura, se aísla el sistema a través de la culata del cilindro y se comprime el gas de manera reversible, de esta forma el gas vuelve a su estado inicial T_a . Este proceso de compresión adiabático y reversible completa el ciclo.

Figura 2. 12 Proceso 1-2 del ciclo de Carnot para un gas perfecto en el plano.



Fuente: Análisis termodinámico de los ciclos de rankine

Ambos procesos de compresión isotérmica 4-1 y de compresión adiabática 1-2 absorben trabajo exterior

$$W_{42} = \int_4^2 p \, dv < 0 \quad (2.22)$$

Si suponemos que el ciclo se recorre en sentido de las agujas del reloj, la suma algebraica $W = W_{24} + W_{42} > 0$ es el trabajo exterior útil del ciclo y la suma algebraica $Q = Q_{23} + Q_{41} > 0$ el calor transformado en trabajo. Verificando según el primer principio de la termodinámica:

$$W = Q \quad (2.23)$$

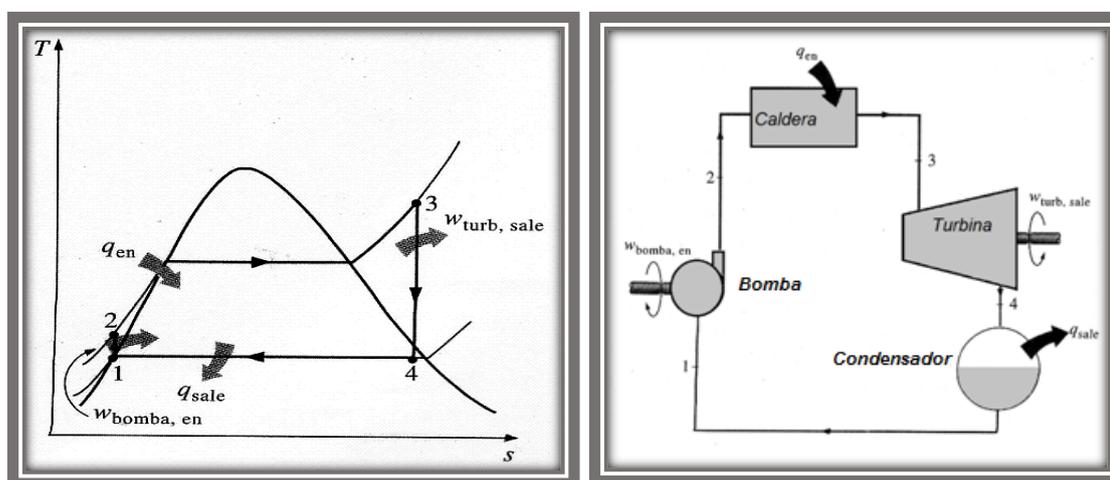
Al ser un ciclo reversible, el de Carnot es el más eficiente que opera entre dos límites de temperatura especificados y exige que en ninguno de los cuatro procesos exista rozamiento alguno. Aun cuando el ciclo de Carnot no se puede lograr en la realidad, la eficiencia de los ciclos reales se mejora al intentar aproximarse al máximo a él.

2.1.1.6.3 El ciclo de Rankine

El ciclo de Rankine es el ciclo ideal que sirve de base al funcionamiento de las centrales térmicas con turbinas de vapor, las cuales producen actualmente la mayor parte de la energía eléctrica que se consume en el mundo. La evolución de las centrales térmicas ha estado condicionada por la búsqueda de mejoras en el rendimiento térmico del ciclo termodinámico, ya que incluso pequeñas mejoras en el rendimiento significan grandes ahorros en los requerimientos del combustible. (Departamento de Física Aplicada I - E.U.P.)

El calor suministrado por una fuente externa se convierte parcialmente en trabajo utilizando normalmente agua. Se aprovecha la entalpía de cambio de fase. (Departamento de Física Aplicada I - E.U.P.). El ciclo de Rankine está compuesto por los cuatro siguientes procesos que se muestra en la figura 2.13:

Figura 2. 13 Ciclo Rankine ideal simple



Fuente: Yunus y Michael A. Boles. *Termodinámica*. 4a ed. p. 501.

1-2 Compresión isentrópica en una bomba

2-3 Adición de calor a presión constante en una caldera

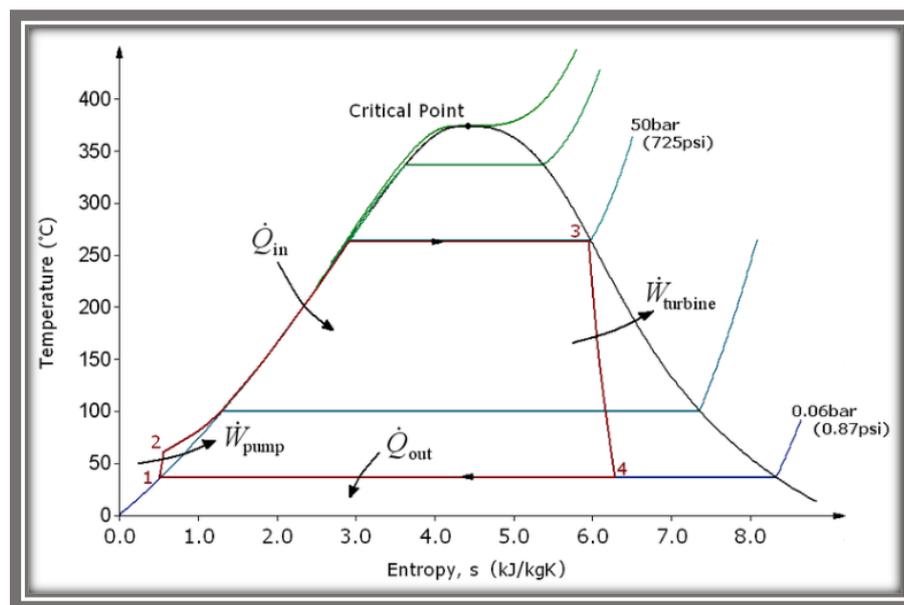
3-4 Expansión isoentrópica en una turbina

4-1 Rechazo de calor a presión constante en un condensador

2.1.1.6.3.1 Análisis de energía del ciclo Rankine Ideal

Los componentes asociados con el ciclo Rankine (bomba, caldera, turbina, y condensador) son dispositivos de flujo estable; por ello es posible analizar los cuatro procesos que conforman el ciclo Rankine como procesos de flujo estable. Los cambios en la energía cinética y potencial del vapor suelen ser pequeños respecto de los términos de trabajo y de transferencia de calor y, por consiguiente, casi siempre se ignoran.

Figura 2. 14 Ciclo Rankine ideal simple detallado



Fuente: Ciclos termodinámicos 2011-2012

De ese modo, la ecuación de energía de flujo estable por unidad de masa de vapor se reduce a:

$$(q_{entra} - q_{sale}) + (w_{entra} - w_{sale}) = h_e - h_i \tag{2.24}$$

La caldera y el condensador no incluyen ningún trabajo, y se supone que la bomba y la turbina son isoentrópicas. En ese caso la relación de la conservación de la energía para cada dispositivo se expresa como sigue:

Bomba ($q = 0$)

$$w_{bomba,en} = h_2 - h_1 \quad (2.25)$$

ó,

$$w_{bomba,en} = v(P_2 - P_1) \quad (2.26)$$

Donde, Caldera ($w = 0$)

$$q_{en} = h_3 - h_2 \quad (2.27)$$

Turbina ($q = 0$)

$$w_{turb,sal} = h_3 - h_4 \quad (2.28)$$

Condensador ($w = 0$)

$$q_{sal} = h_4 - h_1 \quad (2.29)$$

La eficiencia térmica del ciclo de Rankine se determina a partir de:

$$n_t = \frac{w_{neto}}{q_{en}} = 1 - \frac{q_{sal}}{q_{en}} \quad (2.30)$$

Donde

$$w_{neto} = q_{en} - q_{sal} = W_{turb,sal} - w_{bomb,en} \quad (2.31)$$

En Estados Unidos la eficiencia de conversión de las centrales de potencia suele expresarse en términos de la tasa térmica, que es la cantidad de

calor suministrada, en Btu, para generar 1 kWh de electricidad. Cuanto menor es la tasa térmica, tanto más grande será la eficiencia. Si se considera que 1 kWh = 3 412 Btu, e ignorando las pérdidas asociadas con la conversión de la potencia de la barra en potencia eléctrica, la relación entre la tasa térmica y la eficiencia térmica se expresa como:

$$n_t = \frac{3412(Btu/kWh)}{tasa\ termica(Btu/kWh)} \quad (2.32)$$

Por ejemplo, una tasa térmica de 11 363 Btu/kWh es equivalente a una eficiencia térmica de 30%.

La eficiencia térmica también se interpreta como la relación entre el área encerrada por el ciclo en un diagrama T-s y el área bajo el proceso de adición de calor.

2.1.2 Energía a partir de aguas residuales

El agua residual, también llamada negra o fecal, es la que usada por el hombre ha quedado contaminada. Lleva en suspensión una combinación de heces fecales y orina, de las aguas procedentes del lavado con detergentes del cuerpo humano, de su vestimenta y de la limpieza, de desperdicios de cocina y domésticos, etc. (Pistonesi, Haure, & D'Elmar, 2010).

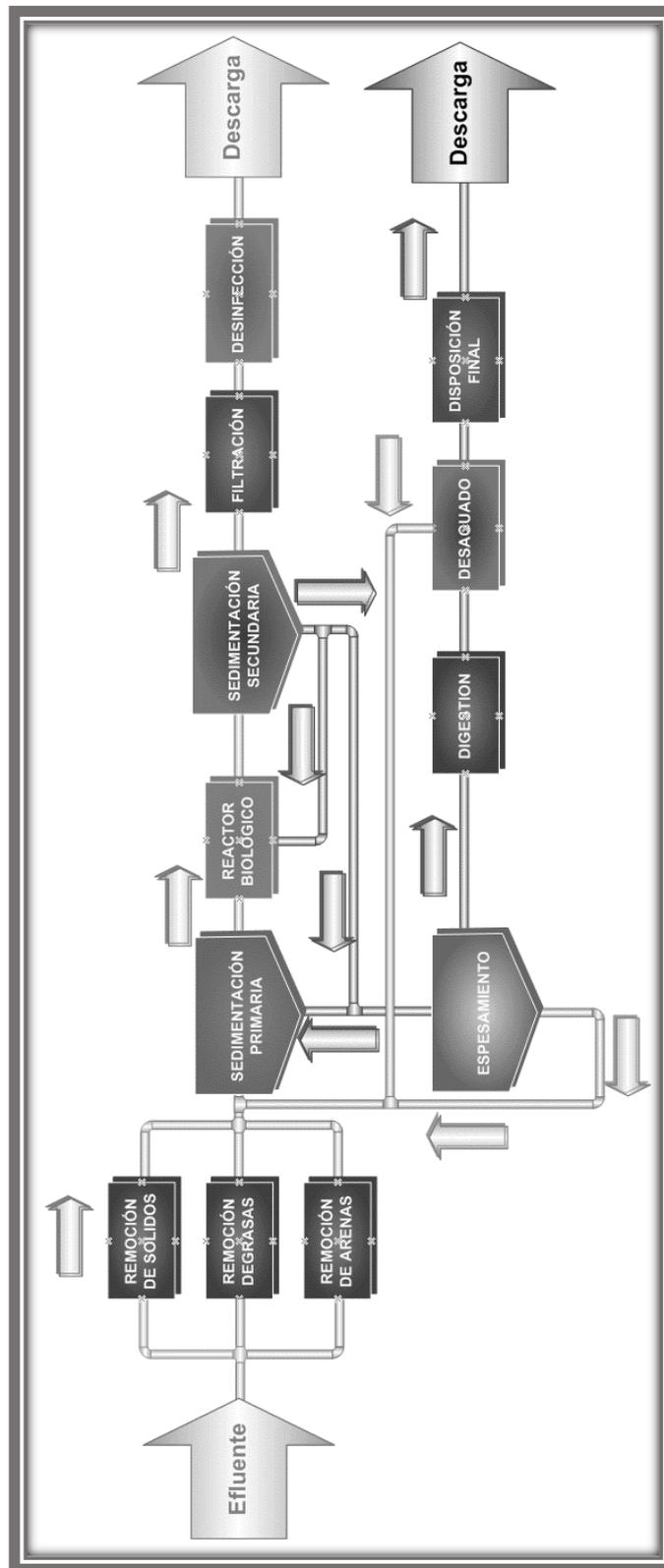
También recibe ese nombre los residuos generados en la industria. El crecimiento de las ciudades y las fábricas, ha contribuido a la magnitud y complejidad del problema de la contaminación ambiental, generando situaciones de costosa corrección, poniendo en peligro la salud pública, encareciendo el proceso de potabilización y degradando el medio (Pistonesi, Haure, & D'Elmar, 2010).

2.1.2.1 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado bio- sólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. (Pistonesi, Haure, & D'Elmar, 2010).

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separa los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. A continuación, sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada, en la figura 2.15 se puede ver un esquema típico de tratamiento de aguas (Pistonesi, Haure, & D'Elmar, 2010).

Figura 2. 15 Esquema de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Energía a partir de las aguas residuales pág. 5

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos)
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente)
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección)

El tratamiento de las aguas residuales, a nivel del tratamiento secundario se revela como un campo promisor a la disposición de los ingenieros e investigadores, principalmente los sistemas de bajo costo de implantación, para competir con el grave panorama de la polución de los cuerpos receptores de agua, o también del reúso inadecuado de los desagües crudos, en los países en desarrollo (Pistonesi, Haure, & D'Elmar, 2010).

2.1.2.2 El problema ambiental. Impactos:

Los problemas básicos que genera la contaminación del agua los podemos agrupar en tres tipos:

2.1.2.2.1 Impactos Directos.

Transmisión de enfermedades.

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas.

Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado.

Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes.

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras.

2.1.2.2.2 Impactos Indirectos

Cuando las aguas servidas son recolectadas, pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (ejm. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos). (Pistonesi, Haure, & D'Elmar, 2010).

2.1.2.2.3 Impactos Estéticos

Va a existir una alteración del aspecto naturalmente agradable que debe presentar el cuerpo superficial, e imposibilidad de usarlo con fines recreativos.

2.1.2.2.4 Medición de impactos

De éstos, varios potenciales impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como

mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. (Pistonesi, Haure, & D´Elmar, 2010).

2.1.2.2.5 Cuadro de contaminantes típicos del agua

Es necesario conocer los distintos tipos de contaminantes que encontramos en las aguas residuales y los efectos que estos causan en el cuerpo de vertido. Los mismos los encontramos descriptos en la Tabla 2.2:

TABLA N° 2. 2: Típicos contaminantes del agua

Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos	Los sólidos sedimentables pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaeróbicas Cuando e Vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. O en el caso de Que sean sólidos suspendidos pueden causar turbiedad e incluso impedir el ingreso de los rayos solares a los cuerpos de agua.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasa y aceites... Si los efluentes se descargan al entorno sin tratar, puede llevar al Agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como del fósforo, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer al crecimiento desmedido de una vida acuática no deseada. Cuando se Vierten al terreno en cantidades excesivas también puede provocar la contaminación del agua.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente añadidos al agua residual como excedente de ciertas actividades

	industriales, estos metales presentan distintos niveles de toxicidad.
Sustancias inorgánicas disueltas	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio, magnesio, potasio, sulfatos y otros pueden estar presentes en el agua como desecho de algunas actividades estos compuestos pueden ser tóxicos o darle ciertas características al agua no siempre deseada por lo que en muchas ocasiones deben ser removidos.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual. Proviene fundamentalmente de las redes cloacales y de alcantarillado.

Fuente: Energía a partir de aguas residuales

2.1.2.3 Biogás

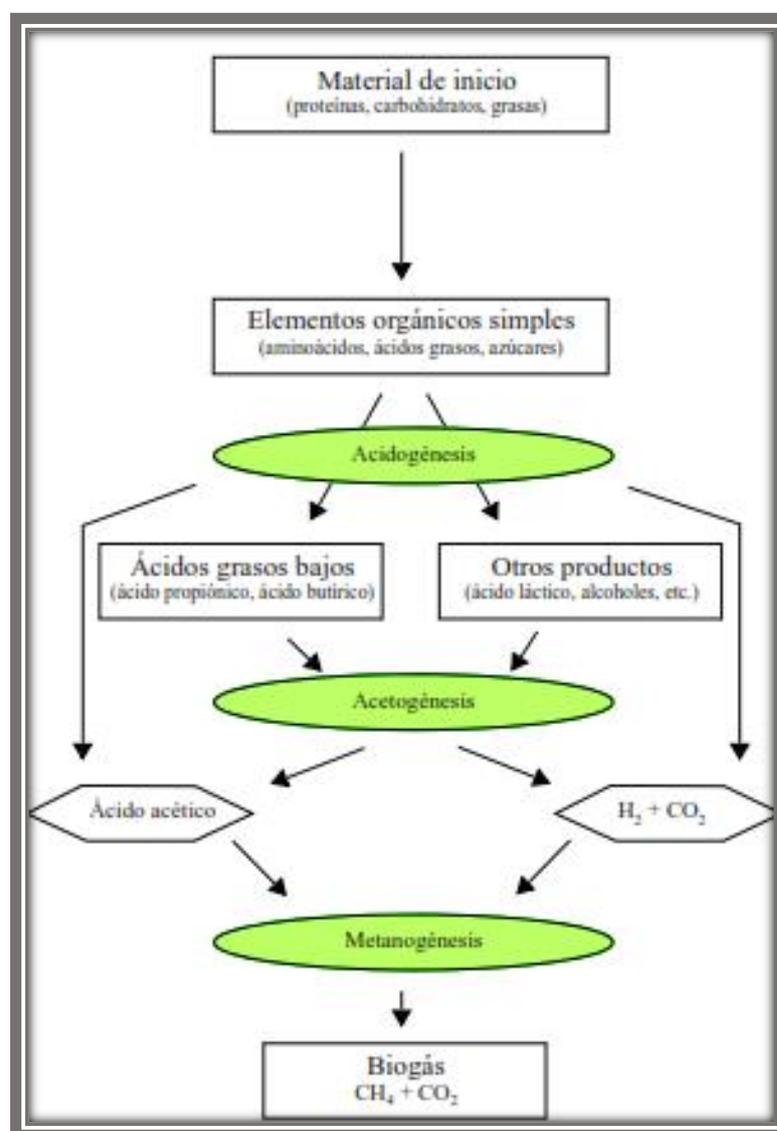
El biogás es un producto proveniente de ciertos fenómenos naturales que pueden darse sin la intervención del hombre. La principal característica para que este gas se produzca, es que debe estar en ausencia de oxígeno. El nombre de biogás, se deriva principalmente porque proviene de la biodegradación de materia orgánica a través de procesos anaerobios, este sistema se lleva a cabo por la interacción de los microorganismos en el interior de la materia orgánica. (Vera Romero, 2011).

Ese proceso se encuentra ampliamente en la naturaleza y ocurre, por ejemplo, en los páramos o en el fondo de los lagos en pozos de lodo líquido y en el rumen de los rumiantes. La materia orgánica se convierte casi enteramente en biogás gracias a la acción de una gama de distintos microorganismos. También se genera energía (calor y nueva biomasa). (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 2016).

2.1.2.3.1 Proceso de formación del biogás

El proceso por el que se forma el biogás puede dividirse en una serie de pasos que se observan en la figura 2.16. Las etapas individuales de descomposición (degradación) deben coordinarse y armonizarse entre sí de la mejor manera posible para asegurar que el proceso en conjunto se desarrolle sin tropiezos.

Figura 2. 16 Representación esquemática de la descomposición anaeróbica



Elaboración Propia

Los procesos son:

- Hidrólisis
- Acidogénesis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

2.1.2.3.2 Composición del biogás

Este biogás, está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), y por otros gases en menor proporción el porcentaje se muestra en la tabla 2.3. Este gas posee un poder calorífico suficiente como para sustituir otros combustibles. El biogás puede emplearse en la generación de energía eléctrica, calefacción, cocción de alimentos, evaporación de agua, hornos, estufas, secadores, calderas y otros sistemas de combustión. (Vera Romero, 2011).

TABLA N° 2. 3: Composición del biogás

Componentes	Formula química	Porcentaje
Metano	CH_4	60-70
Gas carbónico	CO_2	30-40
Hidrógeno	H_2	1.0
Nitrógeno	N_2	0.5
Monóxido de carbono	CO	1.0
Oxígeno	O_2	1.0
Ácido sulfhídrico	H_2S	1.0

Fuente: Energía a partir de aguas residuales

2.1.2.3.3 Características del biogás

El biogás presenta algunas características que deben ser tomadas muy en cuenta cuando se pretenda sustituir este energético por uno convencional, ya que sus propiedades lo hacen exclusivo en su uso, y deben de tomarse en cuenta las modificaciones a los quemadores y/o motores donde se lleve a cabo la combustión, salvo las turbinas las cuales están diseñadas para trabajar con biogás. (Vera Romero, 2011).

En cuanto a la sustitución se refiere, se debe tomar en cuenta también, que el biogás es un gas equivalente y solo se puede sustituir comparativamente con el energético a reemplazar, por lo que el biogás no tiene un costo de extracción, transporte y distribución, que pueda. Este costo tanto económico como energético que tomará el biogás deberá de provenir de un esquema de equivalencias, como se muestra en la tabla 2.4. (Vera Romero, 2011).

TABLA N° 2. 4: Equivalencias por m^3 de biogás

Equivalencias por cada m^3 de biogás generado	
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.8 litros
Gas-oíl	0.65 litros
Gas Natural	0.76 m^3
Carbón de piedra	1.5 kg
Electricidad	2.2 kW/h
Diésel	0.55 litros

Gas LP	0.488 kg
Gas LP	0.884 lt
Madera	1.3 kg
Estiércol de vaca seco	1.2 kg
Residuos de plantas	1.3 kg

Fuente: Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de micro generación

Existen discrepancias entre algunas equivalencias, principalmente en cuanto a la generación de electricidad, ya que este valor depende de las eficiencias de los motores y de la calidad del biogás, sin embargo en la tabla 2.5 se muestra una equivalencia con la que se propuso un proyecto en Argentina, para el reciclaje de 1 toneladas de basura al día. (Mendez, 2015)

TABLA N° 2. 5: Generación por metro cubico de biogás

<i>Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:</i>
1 Generar 1.25 kW/h de electricidad.
2 Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 Watts.
3 Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora.
4 Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas

Fuente: Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de micro generación

2.1.2.3.4 Rendimientos de producción de biogás

En cuanto a la producción de biogás, se debe tomar en cuenta que la producción depende de variables tales como:

- Temperatura ambiente
- Temperatura interna del biodigestor
- Altura del lugar
- Material de alimentación (sustancia orgánica)
- Relación de sólido/líquido
- Acidez
- Tóxico
- Agitación

De las cuales solo dos de ellas se consideran fáciles de controlar, tales como, la temperatura interna del biodigestor y la relación de sólido/líquido. Por otra parte, las demás variables, difícilmente se pueden cambiar, por lo que se toman como constantes en la evaluación de un sistema de generación de biogás y es el diseño de la planta el que se tiene que adaptar a las variables de su entorno.

Por tal razón, ninguna planta de biogás se puede construirse de la misma manera, y aunque así fuera, los rendimientos en la producción de biogás no pueden ser los mismos para diferentes condiciones.

La producción del biogás hasta el momento se ha llevado a cabo mediante residuos orgánicos urbanos, así como excretas de animales principalmente de granjas y casas, tales como:

- Vacuno

- Porcino
- Conejos
- Pollos

Sin embargo, existen pocos estudios donde se involucren la generación de biogás a través de excretas de origen humano. A pesar de ello la generación de biogás de esta forma permitiría disminuir los contaminantes vertidos a los afluentes locales, así como los olores producidos por la descomposición en las tuberías del drenaje.

La generación de biogás a través excretas humanas disminuiría al mismo tiempo los consumos de gas natural o gas LP en zona habitacionales u hoteles. Por lo que no se descarta su aplicación más extensa en un futuro.

El biogás se obtiene a través de un proceso de digestión anaeróbica. Además de ser una fermentación natural que forma parte del ciclo biológico, por lo que los residuos se consideran no contaminantes. (Botero & Preston, 2009)

2.1.2.3.5 Primeros usos del biogás

El primero indicio de la utilización de biogás data antes del XX cuando era quemado para dar iluminación en Inglaterra, sin embargo, con la explotación del petróleo crudo y sus derivados a gran escala, a partir de los años 1930's el uso del biogás se dejó a un lado por mucho tiempo. Debido a la crisis de los 1970's el uso del biogás se intensificó y hoy en día representa una forma de sustentabilidad para campesinos y ganaderos en muchas partes del mundo, principalmente en China, India, EU., Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, Filipinas y Alemania. (Vera Romero, 2011)

2.1.2.3.6 Ventajas y desventajas en emplear biogás

Los beneficios finales de utilizar estas fuentes de combustibles son varios y diversos entre sí, como bien se muestran a continuación:

- Disminución de la cantidad de contaminantes a la atmósfera.
- Disminución de la concentración de contaminantes en los ríos y canales locales.
- Disminución de contaminación en los mantos freáticos.
- Autosuficiencia en el consumo de energía eléctrica.
- Autosuficiencia en el consumo de calor.
- Alta rentabilidad en el proyecto.
- Biofertilizante de alto nivel nutrimental para los cultivos.
- Independencia de los mercados de fertilizantes de origen químico.
- Venta de biofertilizante.
- Beneficios por el mercado de bonos de carbono a través de los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- Tiempo de recuperación de la inversión no mayor a 3 años en la mayoría de los casos.
- Tasa interna de retorno muy atractiva para los inversionistas.

Entre algunas desventajas que se pueden atañer a esta tecnología, se encuentran las siguientes:

- Modificaciones estructurales in situ.
- Disponibilidad de espacio suficiente.
- Falta de educación y resistencia a la tecnología propuesta.

- Falta de leyes y/o reglamentos a nivel nacional o municipal para la introducción de esta tecnología con mayor facilidad.
- Pocos estímulos económicos empresariales y/o gubernamentales para promover estas tecnologías.
- Desconocimiento general de esta tecnología.
- Falta de organismos encargados a difundir, apoyar y llevar a cabo empresas de soporte técnico.

2.1.3 Fundamentos del sistema de cogeneración

2.1.3.1 Definición y generalidades

El termino cogeneración puede parecer nuevo para muchas personas, sin embargo, el número de procesos y sistemas de cogeneración usados en diferentes países del mundo son diversos y con muy buenos resultados. Por esta razón, se estudiarán los tipos que se utilizan con mayor frecuencia

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica a partir de una misma fuente de energía primaria, y es hoy, una alternativa como método de conservación de energía, es decir en un verdadero sistema de cogeneración una porción importante del calor generado o recuperado debe ser destinado a procesos térmicos.

Por ejemplo, cuando una persona viaja desde Puno hacia otra ciudad durante la noche o incluso durante el día muchas veces se siente el frio que puede afectar nuestra salud el conductor generalmente prende el calefactor, en ese instante se convierte en cogenerador. El calor de desecho del motor que normalmente se disipa a través del radiador, se lleva a un sistema de calefacción interno para brindar una sensación de bienestar a los pasajeros que están en el

interior del vehículo. En este ejemplo, el combustible del vehículo se utiliza para generar el movimiento correspondiente del carro, y el calor del calentador.

Con este ejemplo se puede decir que el combustible que utiliza el carro es la fuente primaria y las energías que se generan son la energía mecánica para el movimiento y luego la energía térmica que entra en forma de calor.

La producción simultánea supone que puede ser utilizada simultáneamente, lo que implica proximidad de la planta generadora a los consumos, en contraposición al sistema convencional de producción de electricidad en centrales independientes, donde también se desprende calor, pero no se aprovecha sino que se elimina al ambiente. (Fraile, 2007)

Recordemos que la termodinámica obliga a la evacuación de una cierta cantidad de calor en todo proceso térmico de producción de electricidad, ya que todo el calor absorbido no puede transformarse en trabajo, y el objetivo de la cogeneración es que no se pierda esta gran cantidad de energía.

Analizando lo que antecede podemos señalar las principales características diferenciales de la cogeneración, a saber:

a) Se aprovechan varios tipos de energía, por lo que tiene **un potencial de rendimiento mayor que una central convencional**. A su vez este mayor rendimiento da origen a tres de sus mayores ventajas: menor dependencia de los combustibles, coste de producción menor y menor impacto ambiental.

b) **Se produce la energía donde se consume**, por lo que hay menores pérdidas por transporte y aumenta la autonomía de las fábricas.

En los sistemas de cogeneración se tiene como una de las salidas la energía eléctrica y la energía térmica por lo que los sistemas de cogeneración han de ser diseñados para que sean capaces de generar la demanda térmica mínima del consumidor, como también la energía eléctrica, que puede ser utilizada por el productor o incluso comercializarla con otros consumidores dependiendo de la cantidad que se genere. (Fraile, 2007).

Por ende, si se habla de cogeneración y sus aplicaciones, ya sea en una instalación concreta o en general, siempre se suele comenzar por el elemento primario; esto es, el motor, la turbina de gas o de vapor. Por el contrario, cuando se estudia, cuando se gesta el proyecto, cuando se analizan las diferentes posibilidades, ha de hacerse al revés. Debe comenzarse por las necesidades de calor del proceso, tanto en cantidades como en el tipo (nivel de temperatura, fluido calo portador, etc.) Para a partir de ahí determinar el tipo de máquinas y su tamaño que puede proporcionarnos esta energía térmica. Como resultado tendremos una o varias instalaciones que, para esa energía térmica, producen diferentes cantidades de electricidad y con diferente rendimiento y que por tanto tendrán diferente rentabilidad económica. (Fraile, 2007).

Un sistema de cogeneración brinda al propietario un carácter de independencia, ya que puede generar su propia energía eléctrica como térmica. Un ejemplo claro, es que en Europa muchos edificios cuentan con un equipo de cogeneración, que contiene un sistema de calefacción, y uno eléctrico; y en caso éste último sea insuficiente se compra energía eléctrica de la red nacional. Claramente, se puede demostrar que lo que se paga será mucho menor de lo que costaría en caso no se cogenera. (Quispe Chanampa, 2010)

Con los ejemplos antes mencionados, se puede afirmar que un sistema de cogeneración puede ir desde una aplicación bastante simple y pequeña, hasta grandes y enormes sistemas de cogeneración para plantas industriales, con requerimientos eléctricos y térmicos bajo forma de vapor, logrando un cierto ahorro económico. (Quispe Chanampa, 2010)

Ya que en los últimos años las industrias han hecho frente a costos en crecimiento rápido para todas las formas de la energía, inclusive el carbón mineral, el gas natural, el combustible diésel y la electricidad. El costo de los tipos principales de combustibles que utiliza la industria se ha duplicado desde 1975. (Cifuentes Villatoro, 2011).

Aunque el costo de la electricidad haya ido históricamente al alza respecto a la elevación de otros costos de la energía, y es actualmente, en algunas áreas, igual en términos reales a lo que era en 1960, se espera que el costo de la electricidad aumente rápidamente en la próxima década. Al igual que las interrupciones de las fuentes de energía de suministro a corto plazo, como el petróleo y el gas natural, que han experimentado algunas industrias en años recientes, la disponibilidad a largo plazo de varios combustibles fósiles no se ve muy clara en el presente. (Cifuentes Villatoro, 2011).

Estos factores han tenido, y puede esperarse que continuarán teniendo, un impacto significativo en la capacidad de muchos negocios para seguir operando con utilidades. También se ve afectada su capacidad para atacar proyectos de inversión a largo plazo. (Cifuentes Villatoro, 2011).

Aunque varias compañías han reconocido e implantado en estos últimos años medidas de control en la utilización de la energía para regular en alguna

forma el alza de los costos, el reto que espera a los gerentes de negocios en los años por venir continúa siendo cómo operar con utilidades frente a los precios crecientes de la energía. En muchos casos, la cogeneración de energía y vapor no es sólo una inversión económicamente fundada en los días actuales, sino también una barrera contra la inflación futura. (Cifuentes Villatoro, 2011)

Por eso es que cada día parece evidente que el mundo no camina por una senda que conduzca a un futuro energéticamente sostenible, por lo que la cogeneración puede ser vista como un ahorro de energía, es decir como una herramienta idónea para los países en sus políticas de energía nacional.

2.1.3.2 Orígenes de la cogeneración

El término cogeneración recién empezó a usarse a finales de la década de los setenta del siglo XX, con la producción en conjunto de electricidad y calor, sin embargo, desde hace mucho tiempo se generaba calor y potencia mecánica, tanto por separado como en conjunto. De aquí se afirma que el término cogeneración nace con la producción de electricidad, pero como proceso tuvo algunos antecedentes en épocas pasadas. (Petchers, 2003)

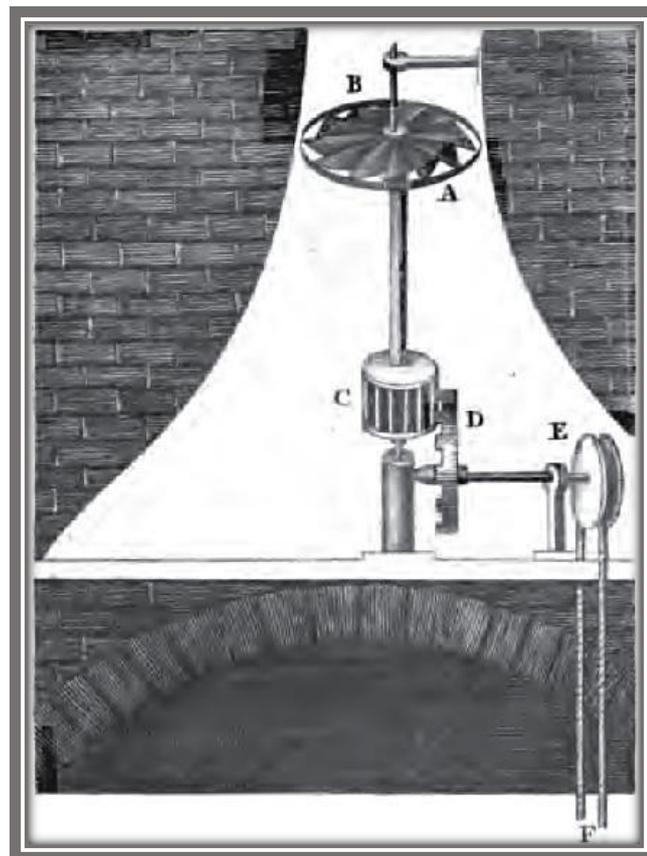
La generación de calor data de los tiempos romanos, cuando agua caliente era transportada a través de ductos para calentar sus edificaciones. Bajo este principio a finales del siglo XIX aparecen los sistemas de calefacción. (Petchers, 2003)

La forma más antigua que se conoce de cogeneración es la producción conjunta de calor y potencia mecánica, la cual era desarrollada por la denominada chimenea de Jack o la chimenea voladora, o más conocida como

“smokejack” (ver figura 2.17). Este dispositivo fue desarrollado en el siglo XV en el Tíbet para mover las ruedas de oraciones en ceremonias religiosas.

Tártaros y fue Leonardo Da Vinci quien bosquejó por primera vez este mecanismo.

Figura 2. 17 Chimenea voladora



Fuente: www.google.com

Este mecanismo consistía básicamente en pequeños molinos de viento, colocados al interior de una chimenea y que giraban a medida que ascendían los gases calientes; los movimientos giratorios de las aspas activaban, generalmente, un torno.

Entre los siglos XV y XVIII, con la revolución industrial, se requería de nuevas fuentes de energía por la demanda que existía. A pesar que el viento y

el agua habían sido útiles anteriormente, la solución resultó la generación de vapor para la potencia mecánica.

En el año 1784, Sutton Thomas Wood tuvo la idea de usar el vapor desechado de un proceso industrial para accionar un motor, la cual llevó a la práctica. Después en 1812 en una fábrica de hilos en Connecticut, el vapor generado era usado para mantener cálidos los cuartos en la época de invierno. Luego en 1832, Charles Busby mejoró el “smokejack” aplicándolo en mover una bomba para circular agua a través de tuberías y poder calentar el aire en el interior de edificios. En la década de 1840, una empresa francesa de alimentos empleaba la salida de vapor para secar piñas. (Kolanowski, 2003).

Como se puede apreciar con los ejemplos mencionados, la idea de generación de calor y potencia mecánica se desarrolló alrededor de los siglos XVIII e inicios del XIX. (Kolanowski, 2003).

Es justamente por estas fechas que cobra importancia y apogeo la energía eléctrica con los descubrimientos de Thomas Edison. Empezaron a aparecer las plantas generadoras de energía eléctrica, mientras se extendían las redes eléctricas.

Al inicio de estos cambios sociales, a una empresa le resultaba más conveniente comprar electricidad que generarla, por el costo de la instalación de los equipos. Los pagos a los vendedores de energía eléctrica eran pequeños ya que por esas épocas el costo del barril de petróleo era menor a un dólar. Sin embargo, esto no iba a permanecer así para siempre, ya que en 1973 se presentó la primera crisis mundial de petróleo y los costos de compra de energía eléctrica aumentaron considerablemente. (Quispe Chanampa, 2010).

Con el costo de la electricidad sujeto al precio del petróleo, muchas industrias que ya contaban con dispositivos de generación de vapor, se inclinaron por tener su propio sistema de generación eléctrica. De esta forma, es que se da la evolución de la cogeneración, ya que empezaron a combinar los procesos, es decir la potencia mecánica que antes producían la usaban para accionar alternadores o generadores eléctricos. (Petchers, 2003)

2.1.3.3. Aplicación de sistemas de cogeneración

2.1.3.3.1 Clasificación según la producción de energía eléctrica y energía térmica

Los dos tipos de sistemas de cogeneración; estos se clasifican depende de qué tipo de energía quieres que sea primera, la energía eléctrica o térmica.

En uno, el sistema de cogeneración de ciclo superior o sistema superior (primero energía eléctrica). Un sistema de cogeneración de ciclo inferior, o sistema inferior (primero energía térmica).

2.1.3.3.1.1 Sistemas superiores (TOPPING CYCLES)

En los sistemas superiores se emplea una turbina de vapor o un motor de combustión interna para mover un generador y producir electricidad como se muestra en las figuras 2.18 y 2.19. (Cifuentes Villatoro, 2011) El recurso de calor de desecho es ya sea (1) vapor procedente del escape de la turbina o (2) gases de escape o calor de chaquetas recuperado de los motores de combustión interna. Estos recursos de calor se utilizan entonces directamente para procesos tales como los siguientes:

- Secado de madera u otros materiales de construcción
- Recalentamiento de metales

- Cocinado de alguna fruta o productos

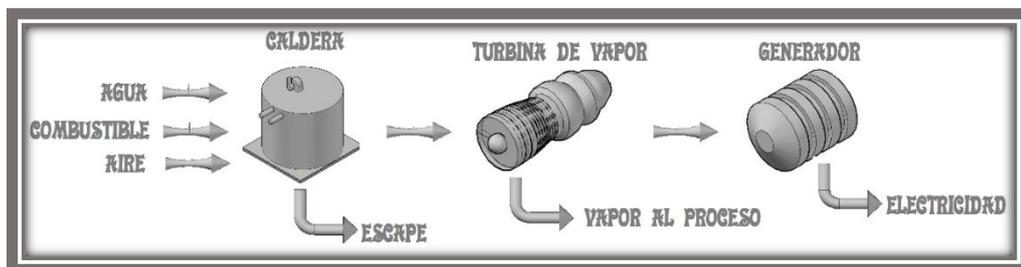
Este tipo de sistemas se utiliza principalmente en la industria textil, petrolera, celulosa y papel, cervecera, alimenticia, azucarera, entre otras, donde sus requerimientos de calor son moderados o bajos con temperaturas de 250°C a 600 °C. (Cifuentes Villatoro, 2011)

Figura 2. 18 Sistema superior trabajando con turbina de combustión



Elaboración propia

Figura 2. 19 Sistema superior trabajando con turbina de vapor



Elaboración propia

2.1.3.3.1.2 Sistemas inferiores (BOTTOMING CYCLES)

El calor de desecho para los sistemas inferiores puede obtenerse del escape de hornos, estufas, prensas de vapor de alta presión. Probablemente el sistema inferior más común utiliza el calor de desecho para generar vapor en una caldera de recuperación con objeto de mover una turbina o un generador como se muestra en la figura 2.20, pero es limitada la experiencia comercial con esta clase de sistemas. Uno de estos sistemas tiene la ventaja de no requerir combustible adicional alguno para generar la electricidad, y debe ser de alta confiabilidad porque trabaja, quedando igual todo lo demás, a temperaturas más bajas que los sistemas superiores. (Cifuentes Villatoro, 2011).

Figura 2. 20 Esquema de sistema inferior trabajando con turbina de vapor



Elaboración propia

2.1.3.3.2 Sistemas de cogeneración según el tipo de motor primario

En la actualidad, como ya se ha mencionado los TOPPING CYCLES son más difundidos por la importancia que tiene la electricidad, la misma que se requiere en mayores cantidades y por tener mayor rendimiento.

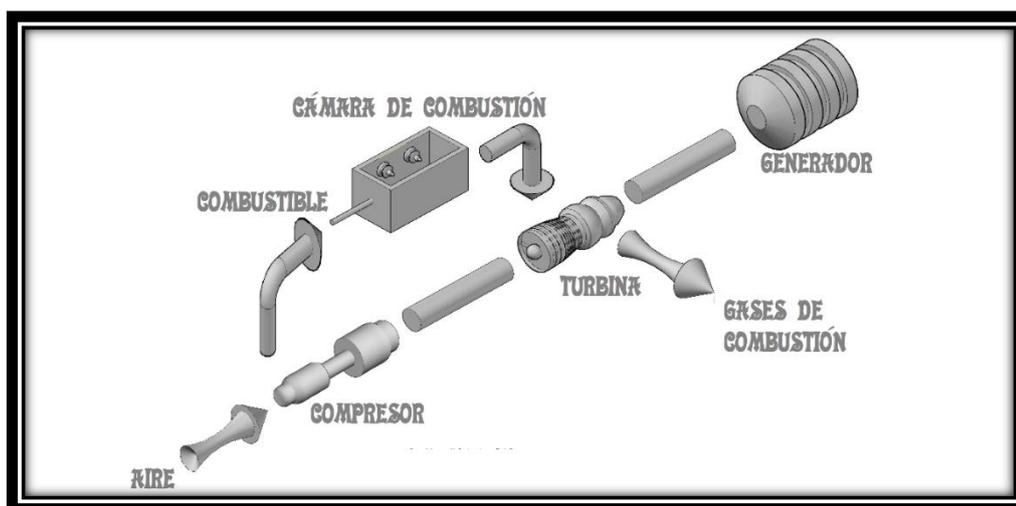
Mientras que los segundos son usados en situaciones más específicas en las que existan procesos a mayores temperaturas.

Centrándose en la primera clase de sistemas, se describirá los principales sistemas de cogeneración usados en la actualidad, así como sus aplicaciones, ventajas, inconvenientes y rango de operación:

2.1.3.3.2.1 Sistemas de cogeneración con turbinas de gas

Primeramente, en las plantas con turbina de gas que se muestra en la figura 2.21 tanto sus componentes como su esquema se puede apreciar que únicamente genera energía eléctrica y además es uno de los más usados en las centrales de generación de energía eléctrica.

Figura 2. 21 Sistema de turbina de gas



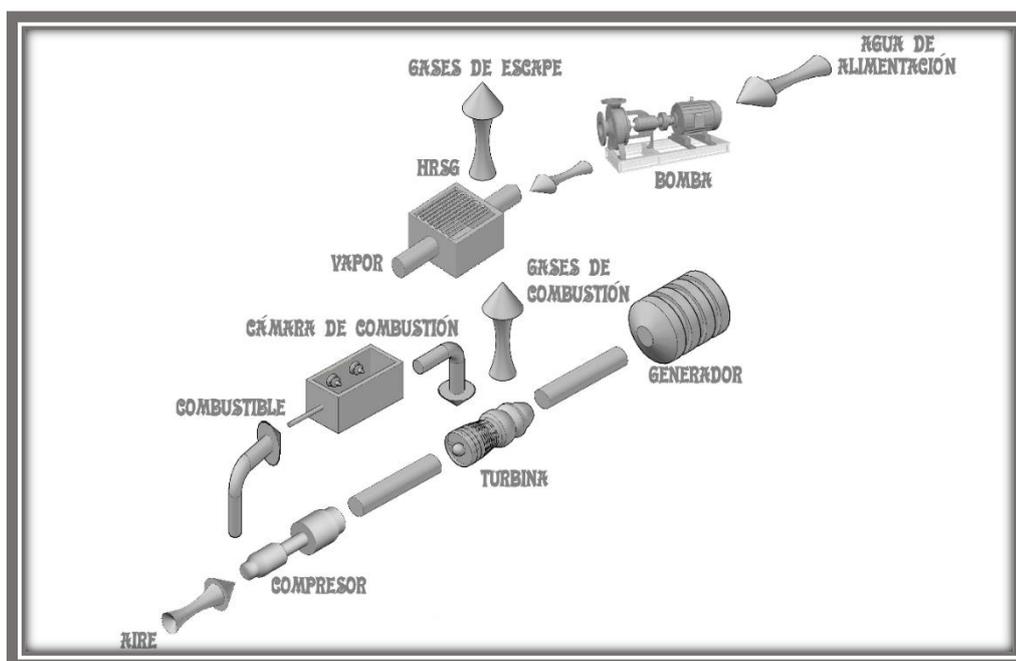
Elaboración propia

En este sistema, el aire ingresa de la atmósfera al compresor, pasando previamente por un filtro de aire. En el compresor, se hace circular el aire aumentando su densidad, temperatura y lógicamente su presión. Luego, el aire ingresa a la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible, es decir, el combustible al encontrarse en un medio a temperaturas altas, reacciona químicamente con el oxígeno del aire, liberando su energía química que se convierte en energía térmica, la cual se manifiesta en un aumento de

temperatura en los productos de combustión. Estos a su vez, son enviados a la turbina, que se encarga de expandirlos disminuyendo su temperatura, presión y densidad, entregando trabajo, es decir, convierte la energía del fluido en potencia mecánica que sirve para accionar tanto el generador eléctrico, como el compresor, debido a que la turbina y el compresor están sobre un mismo eje. Por último, a la salida de la turbina los productos de combustión son expulsados a la atmósfera por medio de una chimenea, estos están a una temperatura aproximadamente entre 400°C y 600°C.

Este sistema puede adaptarse a uno de cogeneración aprovechando estos gases en la salida de la turbina; ya que estos gases son relativamente limpios ya que tienen un contenido de oxígeno alrededor del 15% - 16% y además estas temperaturas son idóneas para producir vapor en una caldera de recuperación

Figura 2. 22 Sistema de cogeneración con turbina de gas



Elaboración propia

En la figura 2.22 el intercambiador de calor recibe el nombre de generador de vapor por recuperación de calor (HRSG, heat recovery steam generator por sus siglas en inglés). Este dispositivo tiene la función de transferir calor por convección desde los gases de escape de la turbina hacia el agua, para convertirla en vapor y tener alguna aplicación posterior. El agua para ingresar al generador de vapor es impulsada por una bomba de alimentación que extrae el agua de un tanque de almacenamiento, generalmente.

Este sistema de cogeneración puede trabajar para potencias desde algunos kW hasta cientos de MW, y es aplicado, principalmente, cuando la carga es variable o tiene ciertos picos, es decir que la demanda de energía eléctrica fluctúa en ciertos rangos. Una turbina de gas que no cogenere tiene una eficiencia térmica entre 30 y 40%, en cambio al agregarle el HRSG puede aumentar hasta 60%.

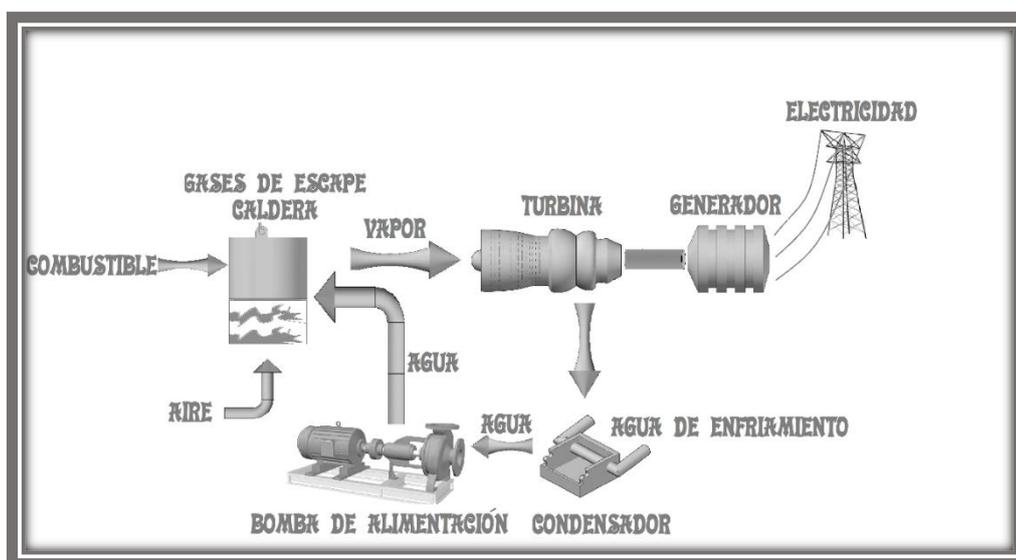
2.1.3.3.2 Sistemas de cogeneración con turbinas de vapor:

Los ciclos de vapor son usados, principalmente, para la generación de energía eléctrica. Se caracterizan por ser sistemas cerrados donde el fluido de trabajo es agua que va cambiando de fase a lo largo del proceso. Sus componentes básicos son caldera, turbina, condensador y bomba, los cuales están representados en la figura 2.23.

La bomba de alimentación se encarga de transportar el agua hacia la caldera, además de aumentar su presión. En la caldera es quemado el combustible con el aire, la cual cede el calor suficiente al agua para que se evapore y aumente su temperatura. A diferencia del ciclo anterior, la turbina de gas mezcla aire y combustible, mientras que la turbina de vapor no lo hace, sino

que la transferencia de calor se da por convección, es decir el agua circula por el interior de un haz de tubos, mientras que los gases de combustión circulan exteriormente a ellos. El vapor sobrecalentado atraviesa la turbina, quien se encarga de generar la energía eléctrica. Al ser un ciclo cerrado, el vapor a la salida de la turbina, que ha disminuido su presión y temperatura, es llevado a un condensador para retornar a la fase líquida. En el condensador, la energía térmica extraída es cedida a una corriente de agua fría, para luego ser desechada a una fuente térmica.

Figura 2. 23 Sistema de turbina de vapor

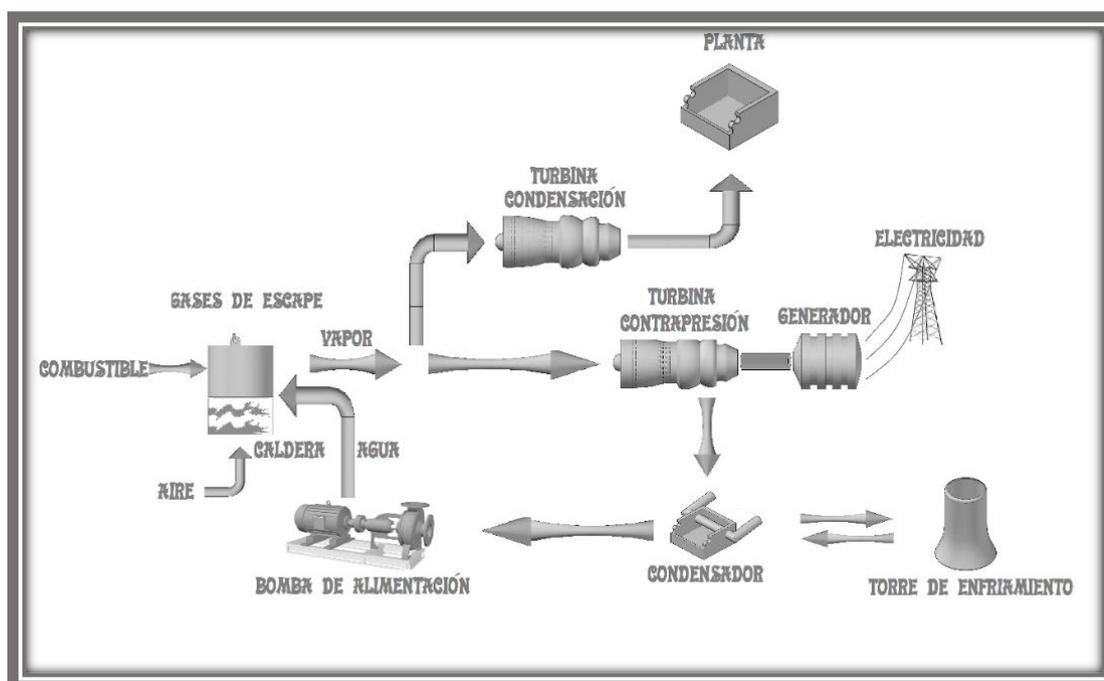


Elaboración propia

Este ciclo también se aplica en cogeneración, usado para producir electricidad y vapor, que cubran las demandas de una planta. Es importante mencionar que, en estos sistemas, lo que se consideraba antes como turbina, realmente son dos: una turbina de condensación y otra de contrapresión, para que la primera pueda extraer vapor a una cierta presión y sea utilizado en la planta, mientras que la segunda, principalmente, para accionar el alternador.

Otra particularidad que tienen estos sistemas es que la corriente de agua fría que absorbe el calor cedido en el condensador se lleva a una torre de enfriamiento, con el propósito de disminuir la contaminación térmica, ya que el agua desechada a la fuente no tendrá temperaturas altas. Dicho sistema de cogeneración está representado en la figura 2.24.

Figura 2. 24 Sistema de cogeneración con turbina de vapor



Elaboración propia

Este sistema de cogeneración tiene un proceso de instalación más complicado que el anterior, ya que requiere de mayor número de componentes.

Su rendimiento termodinámico está en el rango de 35 y 45%. Sin embargo, es ligeramente superior a un ciclo de gas. Los rangos de potencia generada son variados.

Otro aspecto positivo es el uso de biocombustibles, además que puede tener un control mayor sobre la energía producida porque el vapor extraído de la

turbina está a una presión intermedia respecto a todo el proceso, la cual puede ser seleccionada.

2.1.3.3.2.3 Sistema de cogeneración con ciclo combinado

Un ciclo combinado hace referencia a un sistema que trabaja en conjunto con una turbina de gas y una de vapor, hoy en día este sistema está tomando un auge. En resumen, en este sistema se genera vapor a alta presión, utilizando los gases de escape de la turbina de gas, y el cual se expansiona en una turbina de vapor de contrapresión, generándose energía eléctrica en ambas turbinas y obteniéndose vapor de baja presión para el proceso. Actualmente se considera que ésta es una de las mejores soluciones para tener excedentes de energía eléctrica a un buen costo, siempre que se tenga un buen acoplamiento de la energía térmica.

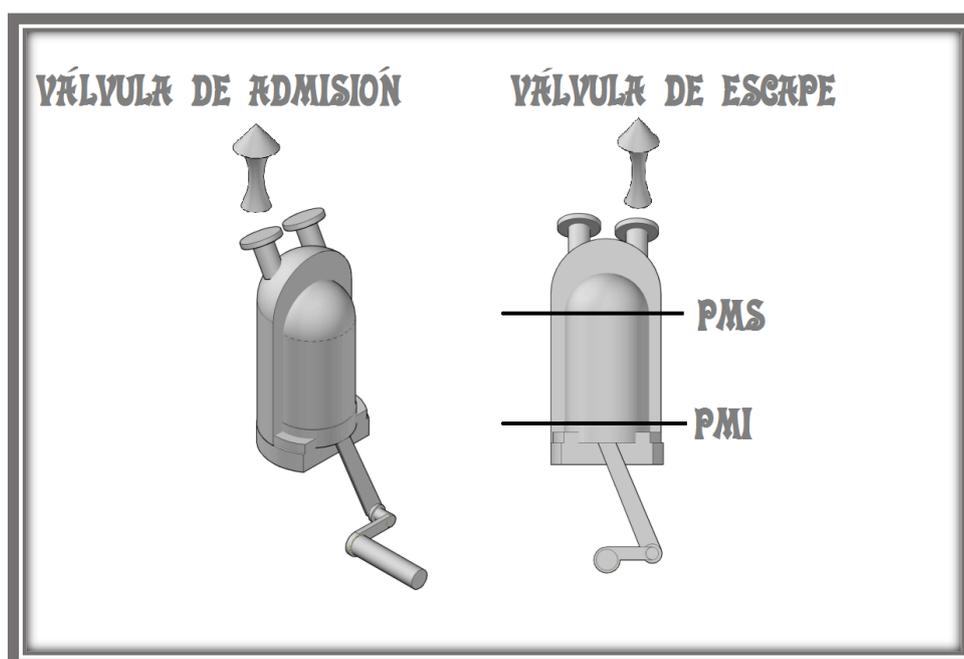
Su modo de operación consiste en que el HRSG de la cogeneración con turbina de gas, cumpla al mismo tiempo la función de la caldera en un ciclo de vapor, es decir, que la salida de vapor de dicho intercambiador de calor ingresa a las turbinas de condensado y contrapresión. La forma como se acoplan ambos sistemas está esquematizada en la figura 2.25, y como se puede apreciar la generación de energía eléctrica es mucho mayor, ya que cada turbina aporta una parte. También hay que indicar que este sistema combinado es posible, ya que los ciclos simples trabajan en distintos rangos de temperatura y permiten operar al generador de vapor. Pero a la vez se requiere una ingeniería apropiada capaz de diseñar procesos adaptados al consumo de la planta que está asociada a la cogeneración.

Este nuevo sistema de cogeneración, junta todos los beneficios de cada uno de los ciclos simples mencionados anteriormente, y además aumenta significativamente el rendimiento termodinámico, porque con la misma cantidad de combustible se produce vapor y energía eléctrica en 2 generadores. La eficiencia térmica de esta combinación supera el 50%. Además, puede alcanzar potencias de salida de unos cientos de MW.

2.1.3.3.2.4 Sistema de cogeneración con motores alternativos de combustión interna

Se conoce como motores térmicos alternativos a los dispositivos de cilindro-émbolo o como máquinas de desplazamiento positivo. Dichos motores tal vez tengan la mayor aplicación en el mundo para generar potencia, por lo que son muy accesibles para aplicarlos en cogeneración. Su esquema se presenta en la figura 2.26.

Figura 2. 26 Motor térmico alternativo



Elaboración propia

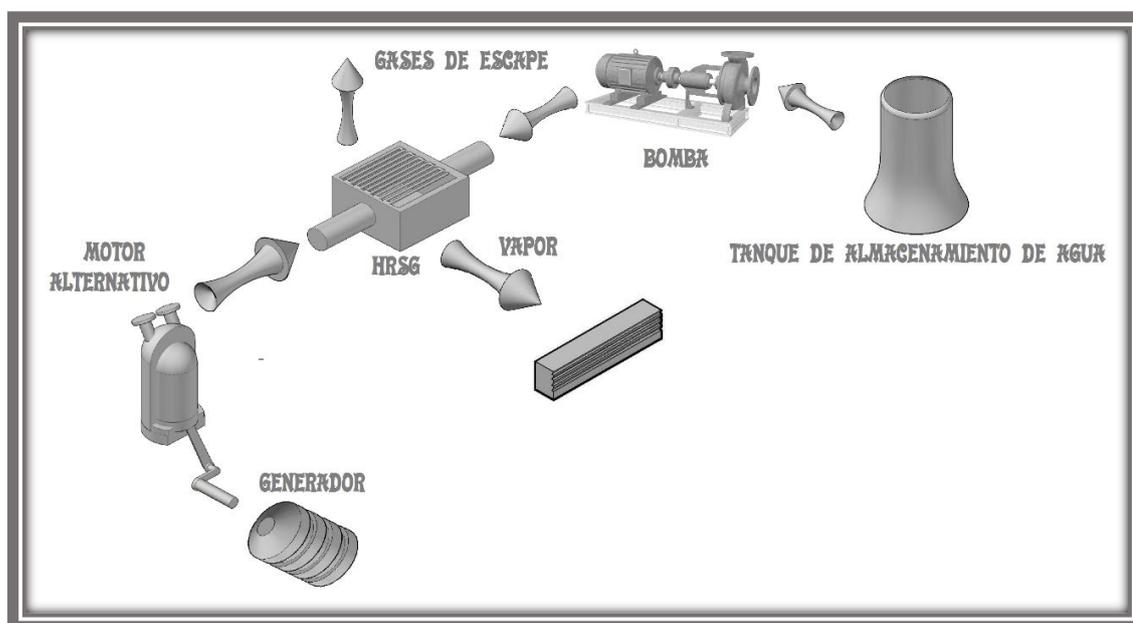
Los componentes básicos de un motor alternativo son el émbolo, cilindros, válvulas de admisión y escape. Pueden ser de dos tipos: los de encendido por chispa (ECH) y los de encendido por compresión (EC). Por la válvula de admisión ingresa aire, para los de EC, o mezcla de aire-combustible si es el caso de ECH. El fluido de trabajo en el cilindro es comprimido, al desplazarse el émbolo desde el punto muerto inferior al superior. Luego se lleva a cabo la combustión que es producida por la chispa de la bujía en un motor de ECH, mientras que en uno de EC, después de inyectar el combustible la mezcla se auto enciende como resultado de que el aire se encuentra por encima de su temperatura de ignición. La combustión es exotérmica y hace que el émbolo descienda al punto muerto inferior. Luego la válvula de escape se abre expulsando los productos de la combustión y al mismo tiempo por la de admisión empieza a ingresar fluido para repetir el ciclo.

Estos motores transforman el movimiento lineal del émbolo en un movimiento rotatorio que acciona al cigüeñal, que puede servir para conectarse a un generador eléctrico y producir electricidad. Además, se caracterizan por ser máquinas de flujo intermitente, es decir, que el ingreso de fluido a los cilindros no es continuo o constante, sino que se da por ciclo.

En un sistema de cogeneración utilizan gas, gasóleo o fuel-oil como combustible. En general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares) esta razón se debe a que en estos sistemas la temperatura de los gases de escape liberados por los motores son inferiores a los de las turbinas de gas. Razón por la cual estos motores ofrecen posibilidades para el secado de materias primas, para calefacción de espacios o en aplicaciones que requieran vapor de baja calidad.

Para aplicar este sistema a uno de cogeneración, se debe colocar un HRSG a la salida del motor, para que los gases de escape o productos de combustión que salen a temperaturas relativamente altas puedan ceder calor al agua bombeada desde un tanque de almacenamiento y convertirla en vapor para una aplicación posterior. Su esquema viene representado en la figura 2.27.

Figura 2. 27 Sistema de cogeneración con motor alternativo



Elaboración propia

Esta aplicación es el más conocido y usado para cogenerar, por lo difundido y el amplio rango de trabajo de los motores alternativos. Además, su instalación es más factible que las turbinas simples o ciclos combinados, por lo que es más viable para usuarios con requerimientos más pequeños de vapor y electricidad. Su rendimiento térmico se encuentra entre 40 y 55% y cubre amplios rangos de potencia por la variedad de motores existentes.

Más adelante en otro capítulo se presentará un resumen de los diferentes tipos de tecnologías de cogeneración en la cual se puede comparar las eficiencias de cada uno.

Con todo lo dicho anteriormente en la tabla 2.6 nos muestra la comparación de eficiencias de los principales sistemas de cogeneración

TABLA N° 2. 6: Comparación de eficiencias de los principales sistemas de cogeneración

<i>Tecnología de cogeneración</i>	<i>Eficiencia eléctrica (%)</i>	<i>Eficiencia térmica (%)</i>
Turbinas de vapor	33	52
Turbinas de gas	38	47
Ciclo combinado	57	33
Micro turbina	30	50

Fuente: Optimización del Diseño y Operación de Sistemas de Cogeneración para el Sector Residencial Comercial

2.1.3.4 Concepto de generación distribuida

Como se indicó anteriormente la cogeneración nos brinda una gran cantidad de energía eléctrica y térmica para poder operar la planta de tratamiento de aguas residuales, pero nos da también existe la posibilidad, en caso de sobreproducción de energía eléctrica venderla a un consumidor o a la red. A esta acción se le denomina generación distribuida.

La utilización de la generación en sitio, tanto en el ámbito nacional como internacional, es impulsada por diversos factores ambientales, tecnológicos y

económicos, pero, sobre todo, de confiabilidad. Entre ellos destacan los siguientes:

- El desarrollo tecnológico de generación en pequeña escala, con base al uso de combustibles limpios y energía renovable.
- La progresiva disminución en la disponibilidad de las centrales de generación y distribución en operación.
- La dificultad en la localización de sitios y derechos de vía para construir nuevas centrales y redes de transmisión.
- La necesidad de disminuir pérdidas de transmisión y distribución.

2.1.3.5 Beneficios de un sistema de cogeneración

Los beneficios al utilizar un sistema de cogeneración son los siguientes:

Para el país y la sociedad

- Ahorro de energía primaria
- Disminución de emisiones contaminantes
- Desarrollo regional y creación de empleos

Para el usuario

- Mayor eficiencia y confiabilidad
- Cumplimiento de la normatividad ambiental
- Disminución de la factura energética (electricidad + combustible)
- Mejor calidad de energía, de acuerdo al proceso
- Incremento de competitividad por reducción de costos de producción

Para la empresa eléctrica suministradora

- Costos evitados por generación, transmisión y distribución
- Diferir inversión en nuevas instalaciones
- Mayor margen de planeación del sector eléctrico
- Reducción de pérdidas de transmisión, transformación y distribución
- Liberación de capacidad de la red y de las subestaciones eléctricas
- Mejoramiento de la calidad del servicio por la compensación de reactivos

Para las industrias

- Ahorro económico para los propietarios.
- La eficiencia de un sistema aumenta considerablemente.
- Evita los problemas de caída de tensión.
- Conservación del medio ambiente.
- Conservar los recursos energéticos.
- La población recibirá tendrá un mayor acceso a electricidad ya que las empresas no las utilizaran.
- Ganancia por la distribución de energía eléctrica

2.2 Antecedentes de la investigación

2.2.1 Antecedentes internacionales

2.2.1.1 Situación en México

- Tesis
 - Vera, I. (2011). DESARROLLO METODOLOGICO PARA EL ANALISIS DE LA VIABILIDAD DE UN PROYECTO DE

MICROGENERACION. México: Editorial de la Universidad Autónoma de México.

Y como conclusiones llego

El mostrar los resultados del análisis de una manera conjunta familiarizará al usuario del programa MTG, para poder comparar el análisis convencional con el análisis de energía, así como para comparar los costos exergo económico con los costos económicos e energía eléctrica y del calor proporcionado para el proceso.

La aplicación de las micro turbinas en la zona centro del país, principalmente en la ciudad de México, ayudará a cumplir con las cada vez más exigentes normas ambientales. Además de proporcionar energía eléctrica por una vía más limpia de generación, garantizando de energía continua y segura.

Las micro turbinas muestran un gran potencial para su aplicación a niveles comerciales e industriales con demandas no mayores a 2.6 MW.

La utilización del programa MTG que analice de manera conjunta los balances de masa y energía, así como el balance de energía de un sistema de cogeneración, proporciona grandes ventajas para los análisis preliminares, así como estimar los beneficios de usar distintas fuentes de energía. Esta herramienta no solo servirá para el caso de las micro turbinas, ya que no presenta mayores restricciones más que las temperaturas de trabajo, por lo que se puede utilizar dicho programa a turbinas de mayor grande envergadura. Sin embargo, en los arreglos internos no se podrá considerar enfriamiento en el compresor o en los primeros pasos del rotor de la turbina.

En los casos donde se implementó el biodigestor y que se sustituyó el combustible el cual fue gas LP, los beneficios de implementarlo arrojaron un

tiempo de retorno de la inversión poco arriba de un año aproximadamente, en esta evaluación no se tomaron en cuenta la venta del biofertilizante ni los bonos de carbono, con una TIR del 74.37%. Cuando se varía el costo de venta del biogás en decrementos partiendo del costo del gas LP se obtiene una TIR entre 74.37% y 8.33% cuando el precio de venta del biogás es de 1.96 \$/L.

Cuando se le asigna un valor de venta al biofertilizante y se obtienen los beneficios de los bonos de carbono, el tiempo de retorno de la inversión se reduce en menos de un año para la mayoría de los casos analizados, es decir, dándole valores de venta al gas LP por debajo de su costo actual de 4.96 pesos por cada litro, con un intervalo de la tasa de recuperación de la inversión entre 174% y 66.6 %.

Se muestra que el costo de la energía eléctrica generada es más bajo que si se comprara a la de red cuando se emplea gas natural, siempre y cuando el costo de tarifa sea de 3.37 pesos/kW y la energía sea totalmente de autoconsumo.

A pesar de ello, si el costo de las tarifas bajase y la energía se quisiera vender a la red, se tendría un beneficio hasta antes de 2.9 pesos/kW con una amortización cercana a los 6 años.

- **Proyectos**

- ICA, infraestructura (2014). PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. México:

Y como estudios se llegó:

Mas el 60% de las aguas residuales que se generan en la República Mexicana, se generan en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Al implementarse se generarán de forma inmediata, importantes beneficios en la salud de miles de personas que habitan en esta cuenca.

El riego de miles de hectáreas de cultivos dejará de hacerse con aguas negras y se realizará con agua tratada.

Al concluirse este proyecto, conjuntamente con otras PTARs, unas ya construidas y otras en construcción, México alcanzará una cobertura de Saneamiento de más del 80%.

Generará importantes beneficios al medio ambiente al lograrse el saneamiento de los cuerpos superficiales de agua en ésta cuenca.

2.2.1.2 Situación en España

- **Tesis**
 - Cisneros, D. (2003). INTEGRACION DE LA COGENERACION EN EL MERCADO ELECTRICO. Sevilla:

Y como conclusiones llego:

En el capítulo 1^o, se planteaba un triple objetivo en la elaboración de este proyecto, el primero de ellos era tratar de dar una visión actual del panorama de la cogeneración en España a lo largo de los últimos años. Este análisis desarrollado en el capítulo 2^o, nos mostraba como la Cogeneración a pesar de ser un método eficiente para disminuir el consumo de energía primaria, había sido maltratado regulatoriamente en los últimos años y necesitaba de un incentivo, el cual sin duda alguna ha sido la posibilidad de acceso al mercado a través del R.D. 841/2002.

En segundo lugar, se trataba de responder a todas aquellas incertidumbres que ha aparecido tras la publicación de dicho decreto, sobre

cómo actuar para mejorar sus resultados de explotación. A lo largo del capítulo 4º, 5º y 6º se ha realizado un análisis exhaustivo fundamentalmente económico que establece como principal conclusión la gran ventaja económica que supone para la mayoría de las plantas de Cogeneración el acudir al mercado. De igual forma se han analizado todos aquellos factores asociados que de alguna forma influyen en el riesgo de esta decisión tales como los costos de banda secundaria, la volatilidad del mercado, la influencia del precio del gas natural, la variación de las primas., dando a su vez las principales soluciones existentes que ayuden a mitigar los riesgos de un mercado incierto y sometido a múltiples factores asegurando con ello la rentabilidad de la instalación.

Por último, como tercer objetivo, se trataba de argumentar todas las conclusiones mediante el estudio de la influencia sobre un caso real, el cual es descrito en el capítulo 3º, que además de dar objetividad y permitir validar las conclusiones es una fuente que permite fácilmente adaptar los cálculos realizados a otros casos particulares permitiendo conferir al documento un carácter consultivo y didáctico. De hecho, todas las plantas que forman el caso estudio acuden actualmente al mercado eléctrico de forma exitosa. Como conclusión final, podemos decir que la integración de la Cogeneración en el Mercado Eléctrico no es solamente posible, sino que se está llevando a cabo con éxito, y que demuestra que las energías renovables no son incompatibles con un funcionamiento de mercado en competencia que con la reciente apertura al 100% de los consumidores se afianza día tras día.

- **Libros**

- Fenercom. (2010). GUIA DE LA COGENERACION. MADRID: Graficas Áreas Montano S.A.

En cuyos estudios dice:

La Agencia Internacional de la Energía estima que la potencia de cogeneración instalada a nivel global es de 330 GW y representa un 9% de la electricidad producida.

Sin embargo, en las grandes economías del a excepción de Rusia, la cuota de producción eléctrica de cogeneración es baja. Alemania es un buen ejemplo de desarrollo de cogeneración, contando con una potencia instalada de 20 000 MW y una cobertura de la demanda eléctrica con cogeneración del 12.5% y acelerando su implementación gracias a incentivos gubernamentales.

La alta penetración de la cogeneración en estos países resulta en gran medida del desarrollo de la energía de distrito, una de las asignaturas pendientes en España, que no cuenta con desarrollo en este ámbito probablemente debido a que las condiciones climatológicas requieren soluciones más sofisticadas con refrigeración.

Y cuyas conclusiones fueron:

La cogeneración contribuye directamente a los tres pilares fundamentales de la política europea: cambio climático, seguridad de suministro y competitividad. La inversión en eficiencia energética es un objetivo prioritario tanto en el Plan de Recuperación Económica de la Comisión Europea como en el Plan Español para el Estímulo de la Economía y el Empleo, ya que va a ser un motor de desarrollo económico sostenible.

Se debe por tanto garantizar la viabilidad del parque actual y desarrollo futuro ante los nuevos retos medioambientales como Directiva de Comercio de

Emisiones (ETS) o la Directiva para el Control Integrado de las emisiones (IPPC), regulatorios y la transformación del sector productivo al que atienden.

Existe un gran potencial en áreas inexploradas como la cogeneración industrial de gran tamaño (>50 MW) o la micro cogeneración y cogeneración de pequeña escala (<1 MW) en el sector residencial y terciario, que se desarrollará dando seguridad a los inversores industriales y energéticos.

- Acogen. (octubre 2011) Informe COGENERACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

En cuyo resumen se dice:

Al producir con cogeneración, la industria alimentaria contribuye a la eficiencia energética y al ahorro de emisiones.

La cogeneración está presente en el café, la leche en polvo, el cacao soluble, los chocolates y la confitería con la que Nestlé nos alegra la vida. Lo está también en los apetecibles productos cárnicos, embutidos y suministros de Campofrío, EL Pozo, Viscofán, Grupo Palacios o Jorge SL. También en las nutritivas conservas de pescado, en los congelados de vegetales, pescados y pizzas de marcas como Rianxeira, Escuris, Calvo, Frinova (Pescanova), o Veconsa. Y en la leche, mantequilla, yogures o quesos de Puleva, Pascual, Arias, Surolait o García Baquero. Y sí, también en los aceites de toda la vida, como Koipe o Carbonell. Y en el azúcar, cereales y almidones de Ebro, Cargill o Roquette Laisa. E incluso en las refrescantes cervezas de Damm y en zumos, y en vinos y en otras bebidas como Whiskey DYC. Y también, muchos frescos y ricos pescados y mariscos provienen de piscifactorías en las que se cogenera.

Una larga lista de la compra llena de eficiencia energética por estar hecha con cogeneración.

Porque la cogeneración es pura eficiencia energética y medioambiental. Presente en nuestra vida diaria, aunque nos resulte desconocida, ella colabora silenciosamente por una sociedad mejor.

- Consejería de economía, innovación y ciencia. (2014). LA COGENERACIÓN EN ANDALUCÍA. SITUACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE DESARROLLO. Sevilla. C/Issac Newton, 6.

En cuyas conclusiones indica

Que la potencia total de las plantas autorizadas en Andalucía, a finales del 2008, era de 888.8MW. La producción de electricidad mediante cogeneración supuso en el año 2008, El último dato conocido, el 12.6% de la energía eléctrica producida en la región.

Algunas plantas existentes han acometido proyectos de mejora de su eficiencia energética, habiendo sido incentivadas por la Agencia Andaluza de energía. Estas mejoras van a permitir ahorrar 45.667 tep al año.

Con el estudio de viabilidad de diversos estudios en diferentes sectores de actividad, tanto industriales como no industriales, se ha detectado un importante potencial de nuevas plantas de cogeneración. Este potencial estima unas 387 nuevas plantas con potencial global de 565 MW en su conjunto.

2.2.2 Antecedentes nacionales

- Tesis

- Quispe, C. N. (2010). ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COGENERACION CON CICLO COMBINADO Y GASIFICACION PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA. Piura: Creative Commons Atribución.

Y como conclusiones llego:

La importancia de la cogeneración radica en la producción conjunta, de forma secuencial, de dos tipos distintos de energía a partir de una misma fuente primaria; lo que se traduce en un ahorro energético, ya que no hay necesidad de buscar o utilizar otro sistema u otra fuente de energía para generar el segundo tipo.

Un sistema de cogeneración puede ser utilizado por cualquier planta industrial, sin importar a qué se dediquen o el tamaño de la industria, incluso puede ser aplicado en edificios, residencias, etc., ya que siempre existe demanda de energía eléctrica y térmica. Además, en el caso que produjeran mayor energía a la requerida, está latente la posibilidad de exportar energía eléctrica, es decir, vender el exceso a la red eléctrica nacional, bajo ciertos acuerdos y leyes, a esta modalidad se le denomina generación distribuida, ya que cualquier usuario puede aportar energía eléctrica en determinadas situaciones, sin necesidad de sobrecargar al sistema de generación y distribución.

El uso de cualquiera de los sistemas de cogeneración implica una mejora significativa en el rendimiento eléctrico y térmico. El primero debido a que al generar uno mismo su propia energía eléctrica, se evita tener las pérdidas de transmisión y distribución, así como el uso de dispositivos que compensen la

energía perdida. Mientras que la eficiencia térmica aumenta en menos proporción por que se da un mejor uso a la energía de entrada. Es importante mencionar que para considerar a un sistema como uno de cogeneración debe superar el 42.5% de la eficiencia estándar que es aquella que da prioridad al trabajo neto o energía eléctrica generada, respecto al calor o cantidad de vapor producido.

Dentro del uso desmesurado de combustibles fósiles como fuente de energía, aparece el término de biomasa, que no es otra cosa que materia orgánica con energía almacenada, que se puede constituir en biocombustible. Como en el presente trabajo se pretendió estudiar la cogeneración y el uso de biomasa, se tomó como referencia a una planta azucarera que es la que presenta mayores prestaciones, debido a su necesidad de vapor y de energía eléctrica, así como a los residuos orgánicos que deja la molienda de la caña de azúcar, denominado bagazo.

La gasificación surge con el propósito de mejorar el uso de la energía almacenada en la biomasa, es decir, que el convertir previamente combustibles sólidos en gaseosos para usarlos en turbinas de gas o motores resulta más conveniente que quemar directamente la biomasa para utilizar su calor generado. Además, la gasificación mejora el poder calorífico del gas producto y este valor es controlable, ya que se puede manejar dependiendo del tipo de gasificador y del agente oxidante que se utilice. Para el análisis realizado se indicó que el poder calorífico inferior del bagazo que ingresaba a la caldera en el ciclo de vapor es 7577.24 kJ/kg, mientras que el combustible gaseoso a la salida del gasificador presenta una mejora en su poder calorífico de 12745 kJ/kg.

Tanto los sistemas de gasificación como de cogeneración ayudan en la conservación del ambiente, reduciendo la cantidad de contaminantes expulsados a la atmósfera, así como sus propiedades que degradan la misma.

2.3 Sustento teórico

2.3.1 Cogeneración en plantas de tratamiento

Según plantas de tratamiento de aguas residuales se puede cubrir normalmente 100% en nuestro caso en el municipio de Puno. El biogás producido se utiliza en un sistema de cogeneración para producir electricidad y calor. Gracias a este sistema de cogeneración, el consumo de gas natural y energía eléctrica se ha reduce en un aproximado del 67%, (en el municipio de Almada que equivale a una reducción de 2000 Mwh al año). En el plano medioambiental, el uso de esta tecnología ha reducido las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) en un aproximado del 38%,(en el municipio de Almada se puede decir 687 toneladas). Esta planta de tratamiento de aguas si cuenta con las mejores y más avanzadas tecnologías y tiene una alta eficiencia de tratamiento (el porcentaje de eliminación de sustancia orgánica es del 96%).

2.3.2 Potencial de distintas biomásas disponibles

En esta parte se estimará el potencial teórico de biogás, que es el que corresponde a la metanización de toda la materia orgánica disponible estimada los cuales se mostraran en la Tabla 2.7, los cuales fueron estimados a partir de datos bibliográficos.

TABLA N° 2. 7: Factores de conversión utilizados en el cálculo del potencial de biogás

<i>Tipo de biomasa</i>	<i>% de metano</i>
Poda	0.70
Trigo	0.60
Maíz	0.60
Papa	0.60
Raps	0.60
Remolacha	0.60
Vitinicola	0.62
Cervecera	0.63
Láctea	0.60
Conservera	0.60
Bebidas de infusión	0.60
Mataderos	0.65
Grasas	0.70
Estiércol vacuno	0.60
Lodos PTA	0.60
Estiércol Avícola	0.58
Estiércol Porcino	0.62

Fuente: Potencial de biogás

2.3.3 Cantidad y potencial de biogás a partir de lodos de PTA

La cantidad de biogás que se puede obtener en una PTA de lodos depende de la cantidad de lodos secos que se tiene, este es aproximadamente la tercera parte de dichos lodos dados en kg/día dicha relación se especifica en la ecuación 2.33. Para tener la cantidad de biogás y su potencial de otro tipo de materias primas se pueden obtener en el libro potencial del biogás.

$$Cant_{lodos,seco} [Kg/dia] = 3.0303 * biogás [m^3/dia] \quad (2.33)$$

2.3.4 Biogás

Es una fuente de energía renovable, cuyo fundamento es el gas producto de la descomposición de materia orgánica. El biogás es una mezcla de gases originada por la descomposición microbiana de sustancias orgánicas en ausencia de aire. El biogás se genera en forma espontánea a partir de la fermentación de la materia orgánica, constituyendo un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza. Los microbios que producen el gas metano no soportan ni el oxígeno ni la luz.

En resumen, es la descomposición de la materia orgánica reduciéndola fundamentalmente a metano y dióxido de carbono a través de un complejo sistema microbiológico.

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al 1.600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica, siendo chinos e hindús los precursores de los digestores, que son los distintos sistemas diseñados para la producción de biogás.

2.3.5.1 Composición

En cuanto a su composición es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de 800 °C y su llama alcanza una temperatura de 870 °C, sus componentes dos más importantes son los siguientes:

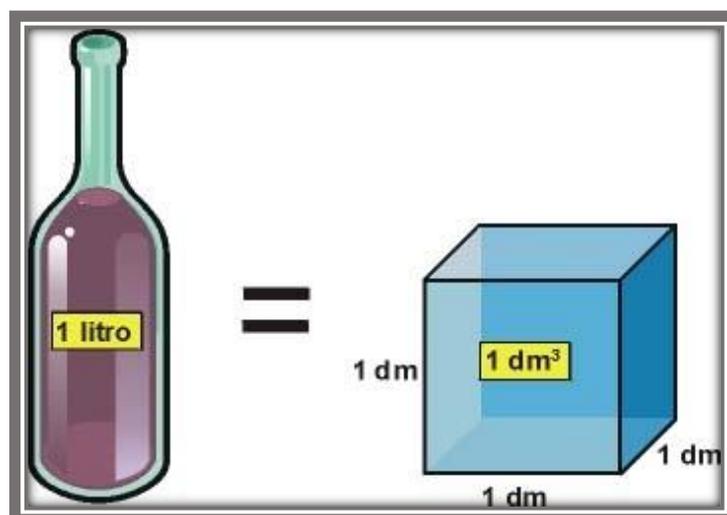
2.3.5.1.1 Agua

El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente pueden bloquearse los conductos con agua.

Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con trampas de agua donde ésta se almacena y se extrae.

2.3.5.1.1.1 Volumen del agua

Figura 2. 28 Equivalencia del agua



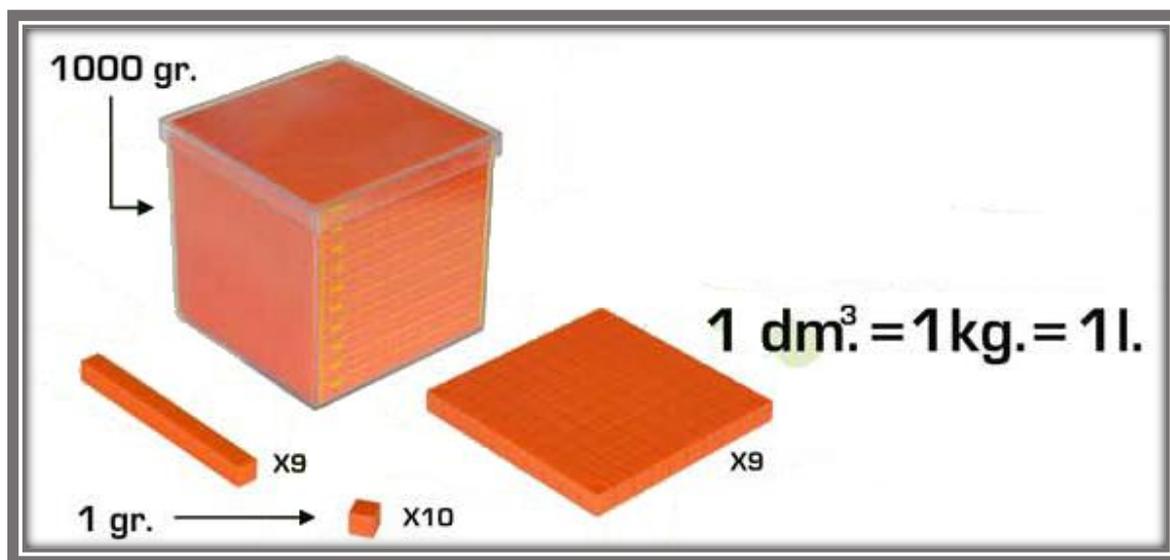
Fuente: www.ceibal.edu.uy

Además de masa (cantidad de materia), los cuerpos tienen una extensión en el espacio, ocupan un volumen. Como vimos el volumen de un cuerpo representa la cantidad de espacio que ocupa su materia.

Cuando preparamos una bebida colocamos el líquido en una jarra o en una botella. Cuando hacemos una torta ponemos la harina en un recipiente y decimos que se necesitan tantos gramos para completarlo, o tantos mililitros para llenar la jarra, o centímetros cúbicos. Por lo tanto, hay una relación entre las medidas de volumen, capacidad y peso.

Al igual que la masa, el volumen puede medirse en muchas unidades: pintas, galones, arrobas, etc. pero las medidas más usadas son el litro (l) y la unidad del Sistema Internacional el metro cúbico (m³), que equivale a 1.000 litros o, lo que es lo mismo, un litro es igual a un decímetro cúbico (dm³), o sea que es la cantidad de agua que cabe en un cubo que tiene 1 dm de arista.

Figura 2. 29 Equivalencia del agua Kg a litro



Fuente: www.ceibal.edu.uy

2.3.5.1.2 CO₂

El dióxido de carbono es un gas inerte es decir que no tiene ningún poder calorífico y debe ser calentado en la combustión. Su eliminación no es aconsejable salvo en los casos de almacenaje del biogás a altas presiones

debido a que sería inútil gastar energía de compresión y volumen de almacenaje de alto costo en un gas que no dar ningún beneficio adicional.

Se utilizan varios sistemas entre los cuales los más difundidos son los que emplean su disolución en agua a presión y otros que usan mezclas químicas de gran complejidad.

2.4 Hipótesis y variables

2.4.1 Hipótesis general

- Para el diseño de un sistema de cogeneración con gases emitidos por una planta de tratamiento se utilizará el método de cogeneración con ciclo combinado.

2.4.2 Hipótesis específicas

- Se obtendrá 4000 Kw.h de energía eléctrica del sistema de cogeneración con ciclo combinado.
- Se obtendrá 540 Mj joules de energía térmica del sistema de cogeneración con ciclo combinado.

2.5 Operacionalización de variables

Variable Independiente

- Temperatura ambiente, cantidad de materia orgánica

Variable dependiente

- Turbina de gas, turbina de vapor.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA O DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION

Para el desarrollo se empleará la metodología orientada a objetos, en donde “el dominio del problema se caracteriza mediante un conjunto de objetos con atributos y comportamientos específicos del biogás y su contenido de metano y los tipos de generación eléctrica así mismo el dimensionamiento”

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se trata de un proyecto de tesis de tipo analítico-deductivo, debido a la complejidad del proyecto en sí, así como la eficacia y la eficiencia durante el desarrollo del mismo.

Durante los periodos de investigación, desarrollo y demás el autor del presente proyecto de tesis, intervendrá sobre el objeto de estudio logrando modificaciones directas o indirectas para acondicionamiento necesario.

3.2 Población y muestra de investigación

La población de estudio será general dentro del área donde se presenten plantas de tratamiento de aguas residuales (Puno) o de posibles lugares con gran viabilidad para la creación de futuras plantas de tratamiento para el mejor uso de los combustibles y la reducción de contaminación del medio ambiente

3.3 Ubicación y descripción de la población

El presente proyecto de tesis estará diseñado para la ciudad de Puno con una planta de tratamiento de aguas residuales el cual se construirá en la isla espinar, un buen lugar donde se puede realizar el diseño para el sistema de cogeneración, analizando la cantidad de residuos que llegan a este por día.

La ubicación de la población y de la laguna de oxidación (isla espinar) se encuentra en el anexo 01.

3.3.1 Ubicación geográfica

Latitud Sur	:15°54'
Latitud Oeste	:70°08'
Altitud	:3827 m.s.n.m.

3.3.2 Ubicación política

Departamento: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Puno

3.4 Material experimental (intervenciones experimentales)

3.5 Técnicas e instrumentos para recolectar información

Para una recolección adecuada de datos tenemos que evaluar tres actividades estrechamente vinculadas entre sí (Sampieri, 1991, pág. 285)

- Seleccionar un instrumento de medición de los disponibles en el estudio del comportamiento o desarrollar uno (el instrumento de recolección de los datos). Este instrumento debe ser válido y confiable, de lo contrario no podemos basarnos en sus resultados.
 - En este caso el instrumento fue la cantidad de residuos orgánicos que llega a almacenarse por día en la isla espinar.
- Aplicar ese instrumento de medición. Es decir, obtener las observaciones y mediciones de las variables que son de interés para nuestro estudio (medir variables).

- Las variables a medir son la cantidad de residuos medidos en m^3 que se llegan a almacenar en la isla espinar.
- Preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente (a esta actividad se le denomina codificación de los datos).
 - El análisis se realizó en los diferentes tipos de obtención de biogás por diferentes tipos de materia prima ya sean dispersas agrupadas o concentradas.

3.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

3.6.1 Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se realizó un programa conteniendo las ecuaciones matemáticas en lenguaje C.

3.6.2 Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó la estadística inferencial realizando una prueba de hipótesis, el método utilizado para la prueba de hipótesis fue el de la t – student para muestras relacionadas.

3.7 Procedimiento del experimento

Para realizar una mejor explicación del diseño de la investigación se divide en fases perfectamente definidas.

3.7.1 Fase 1

Revisión bibliográfica; Acerca de la cogeneración para conocer más sobre el tema y de la forma de funcionamiento de cada uno de estos para poder elegir el mejor o el que de mayor rendimiento para los gases que se pueden generar a partir de las materias primas de la isla espinar.

3.7.2 Fase 2

Elaborar ecuaciones y formulas; la creación de fórmulas es de nivel empírico puesto que no hay mucha información, acerca de cómo obtener resultados exactos por lo dificultoso del tema y de las grandes variaciones en los ecosistemas.

3.7.3 Fase 3

Recolección de datos; desde la misma isla espinar para conocer acerca de las dimensiones con las cuales se cuenta para analizar la viabilidad de la implementación de una planta con un sistema de cogeneración.

3.7.4 Fase 4

Recolección de datos; desde EMSA PUNO para ser más exactos acerca la cantidad de materia orgánica que llega a desembocar en la isla espinar para que la toma de datos sea más confiable y los resultados más exactos.

3.7.5 Fase 5

Aplicación de ecuaciones; con los datos obtenidos tanto de la isla espinar como de EMSA hacer un análisis aproximado de cuanto energía térmica y energía eléctrica se puede producir en la isla espinar.

3.7.6 Fase 6

Análisis de resultados; con la de otros países donde las plantas con sistemas de cogeneración vienen funcionando ya hace muchos años para tener más confianza acerca de nuestros resultados.

3.8 Método para la obtención de resultados

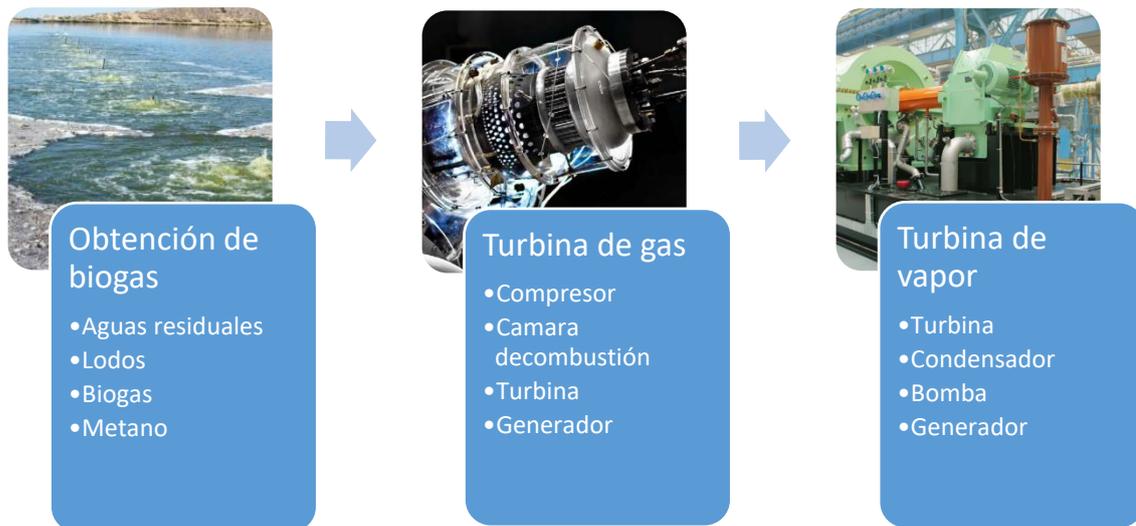
3.8.1 Generalidades

En este capítulo, se exponen y describen todos los procesos, métodos y técnicas empleadas en el desarrollo de la investigación, también se proporcionan los diagramas esquemáticos, con la finalidad de facilitar y permitir su uso para futuras investigaciones.

El desarrollo de esta investigación comprende, el sistema de cogeneración en general, así como cada una de las partes, como también el análisis para una futura implementación utilizando en dicho análisis como materia prima, los residuos que se encuentran en la isla espinar, y para finalizar la presentación de datos.

En la ciudad de Puno, capital del departamento de Puno, se encuentra localizado la isla espinar ubicado en la parte baja de la ciudad, ciudad que cuenta con una población de 140839 habitantes, según el anexo n°2 pagina 9 fuente INEI, para lo cual se estima que se recibe más de 100000 Kg de lodo al día que tienen como destino la estudiada “isla espinar” la cual es una laguna de estabilización, la municipalidad provincial de Puno en conjunto con el gobierno local y otras instituciones involucradas pusieron en marcha el proyecto “Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Puno - Provincia de Puno - Puno” con código SNIP:191815 habla sobre una alternativa llamada Lodos Activados Multietapa por ser la más conveniente, con la cual se trabajara para hacer el análisis energético tanto eléctrico como calorífico, del sistema de cogeneración.

Para continuar con el diseño se contarán de tres grandes partes: la obtención del biogás, turbina de gas, turbina de vapor, como se muestra a continuación.



3.8.2 Obtención de biogás

3.8.2.1 Cantidad de materia orgánica

No es una novedad saber que en la ciudad de Puno en estos últimos años nos vimos en la necesidad de construir plantas de tratamiento de aguas residuales. Y como ya se dijo se está evaluando la posibilidad de construir PTA a lodos activos llamados así pues generan lodos los cuales nos ayudaran para conocer la cantidad de electricidad posible generada.

Si bien se sabe las PTA a lodos activos es una tecnología que si bien nos permite sanear las aguas, genera 0.88 kg de lodo húmedo por m^3 de agua tratada.

En la tabla 3.1 se muestra una estimación de lodos que se generaran con una PTA a lodos activos aplicada a la isla espinar.

TABLA N° 3. 1: Generación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas domésticas tipo lodos activos de la isla espinar

<i>Región</i>	<i>Lodo húmedo</i> <i>Kg/día</i>	<i>Lodo seco</i> <i>Kg/día</i>	<i>Materia orgánica</i> <i>Ton/año</i>
Puno	117366	59931	11845

Elaboración propia

3.8.2.2 Potencial de metano

El potencial teórico de las distintas biomásas disponibles para la obtención de biogás, correspondiente a la mecanización de toda la materia orgánica disponible estimada, la que fue calculada en el punto anterior, descontando la humedad. Para hacer la conversión a biogás se utilizaron los factores mostrados en la Tabla 3.2, los cuales fueron estimados a partir de datos bibliográficos.

TABLA N° 3. 2 Generación de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas domésticas tipo lodos activos

<i>Tipo de biomasa</i>	<i>% de metano</i>
Lodos PTA	0.60

Fuente: Potencial de Biogás

Con la tabla 3.2 se generará la tabla 3.3 para así indicar lo siguiente:

TABLA N° 3. 3 Potencial de biogás generado a partir de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas servidas

<i>Región</i>	<i>Empresa</i>	<i>Lodo</i> <i>seco</i>	<i>Biogás</i> <i>m3/día</i>	<i>Biogás</i> <i>milesm3/año</i>	<i>Metano</i> <i>milesm3/año</i>
Puno	EMSA	59931	19779	7219	4331

Elaboración propia

Estimación de la generación eléctrica a partir de biogás generado por la PTA isla espinar

3.8.3 Procedimiento de cálculo de la energía cogenerada a partir de biogás

3.8.3.1 Compresor

El compresor es una máquina de fluido construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido al fluido que pasa por él aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Para realizar el análisis vamos a los detalles técnicos del SGT-750 donde nos indica que la relación de compresión es 23.8:1

3.8.3.1 Turbina de gas

3.8.3.1.1 Energía eléctrica

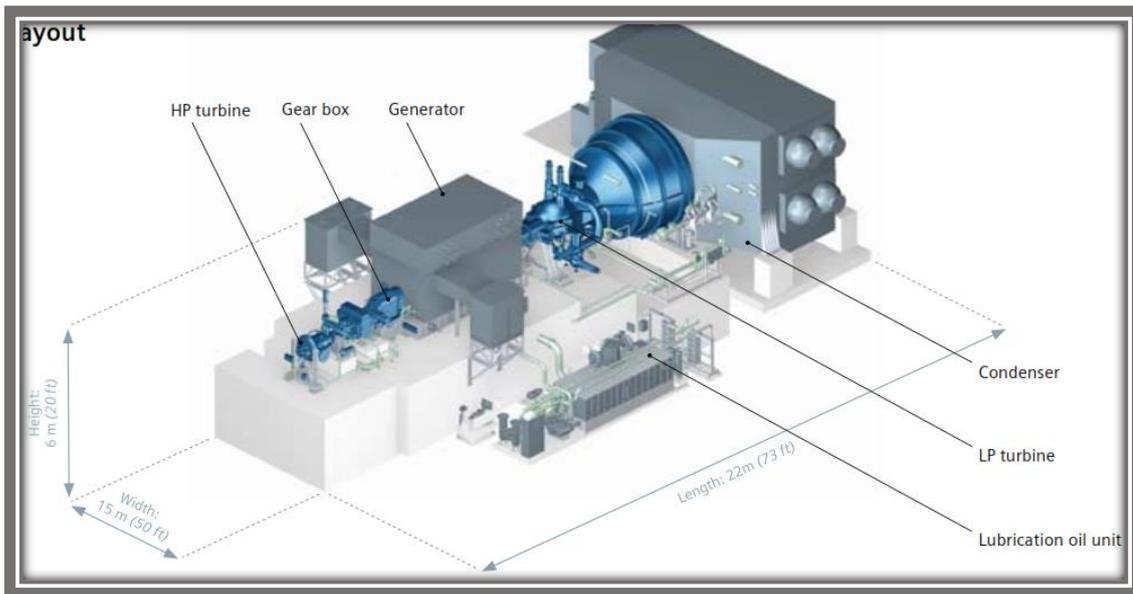
Para estimar la cantidad de energía que se puede recuperar desde el biogás generado a partir de la materia orgánica de los residuos de diferentes industrias y sectores, se debe considerar los rendimientos de energía térmica y de energía eléctrica, así como también los rendimientos de los equipos de recuperación de calor de los equipos de transferencia de calor que captan la energía disipada del motor en forma de calor.

Para efectos de cálculo, se considera la cantidad anual de biogás generado a partir de la biomasa seca y un poder calorífico de 8569 kcal/m³ de biogás (1.000 kcal = 1,163 Kwh) el cual es indicado en recursos bibliográficos. A continuación, para ilustrar el procedimiento seguido se mostrará como ejemplo

la secuencia de cálculo utilizada para calcular la energía generada a partir de los residuos sólidos generados en la respectiva PTA que se utilizará como modelo.

Para este análisis se tomará en cuenta la turbina SGT-750 (figura 3.1) una turbina de gas, como ya se sabe de la hoja de datos esta turbina tiene una eficiencia eléctrica de 39.5%.

Figura 3. 1 Turbina de gas industrial SGT – 750



Fuente: SIEMENS

Entonces para la obtención se dice que

La energía eléctrica recuperada del biogás corresponde a un % de esta, por lo tanto:

$$E_{elec} = 7219 \left[\frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{año}} \right] * 0.6 * 8569 \left[\frac{kcal}{m^3} \right] * 0.395 = 14660727,807 \left[\frac{Mcal}{\text{año}} \right] \quad (3.1)$$

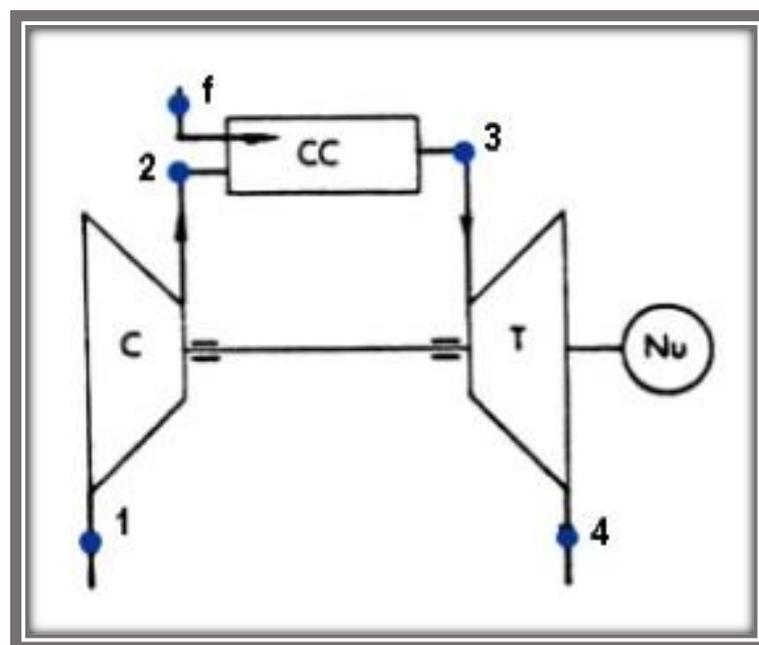
$$= 17050 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right] \quad (3.2)$$

$$= 1946 \frac{kW}{h} \tag{3.3}$$

3.8.3.1.2 Energía térmica

Para obtener la cantidad de eficiencia térmica se realiza los siguientes cálculos que provienen del ciclo de Brayton en la ecuación

Figura 3. 2 Ciclo de brayton para turbina de gas



Elaboración propia

$$n = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \tag{3.4}$$

Con lo cual reemplazamos sabiendo que

T1 es igual a la temperatura ambiente en puno por ser una ciudad que se encuentra a más de 3500 m.s.n.m. la temperatura ambiente es 10°C llegando a

temperatura máximas de 19°C y temperaturas mínimas de hasta 8°C según tierra-inca.

T2 es la temperatura a la salida del compresor en este caso lo tomaremos como 555°K.

T3 en este caso viene a ser la temperatura a la salida de la cámara de combustión 870°C, dato obtenido de la temperatura de inflamación del biogás

T4 como se puede observar en la figura 3.2 es la temperatura a la salida de la turbina como se está utilizando para el caso de análisis la turbina SGT-750 nos indica que la turbina en la salida es de 459°C.

Con todos los datos reunidos pasamos a resolver la ecuación.

$$n = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{(459 - 10)}{((870) - (555 - 273.15))} \quad (3.5)$$

$$1 - \frac{(449)^{\circ C}}{(588.15)^{\circ C}} \quad (3.6)$$

$$1 - 0.76 \quad (3.7)$$

$$n = 0,2365893 \quad (3.8)$$

Con lo cual llegamos a la solución de que el rendimiento térmico es de un 23.65893%.

Obtenido este valor pasamos a obtener la energía térmica producida por la turbina de gas.

De los 7176 m³/año de biogás que son posible de producir, la energía disponible disipada en los gases de combustión es de un 61.5% de la energía

aportada por el combustible, la que a su vez pasará por cámara de combustión y turbina que como ya se analizó tiene un rendimiento del 23.65% entonces:

$$E_{term} = 7219 \left[\frac{m^3 \text{ boigas}}{\text{año}} \right] * 0.6 * 8569 \left[\frac{kcal}{m^3} \right] * 0.615 * 0,2365893 \quad (3.9)$$

$$= 5400434,1284438 \left[\frac{Mcal}{\text{año}} \right]$$

$$= 6281 \left[\frac{MWh}{\text{año}} \right] \quad (3.10)$$

Como segunda forma y de manera más real se tiene lo siguiente se puede obtener el rendimiento térmico de la turbina de gas por medio de la ecuación 2.19 que nos indica.

$$n = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} = 1 - \left(\frac{p_A}{p_B} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Como se sabe de la turbina de gas la relación de compresión es 24:1 y de la misma manera γ que es el calor específico en nuestro caso del aire se tiene que su calor específico es 0.918.

Reemplazando en la ecuación

$$n = 1 - \left(\frac{24}{1} \right)^{\frac{0.918-1}{0.918}} \quad (3.11)$$

$$n = 1 - \left(\frac{24}{1} \right)^{-0.089} \quad (3.12)$$

$$n = 1 - 0.75 \quad (3.13)$$

$$n = 0.25 \quad (3.14)$$

Con lo que se puede observar una variación de 1% el cual se debe a la temperatura ambiente de la ciudad de Puno y a la temperatura de inflamación del biogás.

Con esto el análisis en la turbina de gas queda concluido por lo que lo siguiente seria realizar el análisis en el siguiente punto.

3.8.3.2 Generador de vapor por recuperación de calor

Teniendo en cuenta lo siguiente

TABLA N° 3. 4: Valores a la salida de la turbina

<i>En la salida de la turbina de gas</i>	<i>Unidades</i>
Temperatura	459°C
Presión	1 bar

Fuente: Meet the SGT-750

Continuando se tiene el HRSG en el cual se introduce los valores a la salida de la turbina de gas.

Primero se realiza el cálculo para obtener la cantidad de agua necesaria para absorber toda la cantidad de gas que sale en la turbina de gas.

Haciendo recuerdo de la siguiente expresión 1kg de agua absorbe 1 kcal por cada grado centígrado de elevación de temperatura, entonces en nuestro caso nos hacemos la siguiente pregunta ¿Cuál es la cantidad de agua necesaria para absorber 5400434 Mcal por año elevando 459°C su temperatura?

Primero convertimos el valor de Mcal/año a kcal/hora.

$$5400434 \frac{\text{Mcal}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ hora}} * \frac{1000 \text{ Kcal}}{1 \text{ Mcal}} \quad (3. 15)$$

$$616488 \frac{Kcal}{hora} \quad (3.16)$$

$$masa_{agua} = \frac{616488}{459} \frac{Kg}{hora} \quad (3.17)$$

$$masa_{agua} = 1343 \frac{Kg}{hora} \quad (3.18)$$

Como un kg de agua ocupa un volumen de un litro

Se tiene lo siguiente

Litros de agua por hora = 1343 *litros/hora*

Para conocer el valor de la presión a la salida se utilizara la ecuación de ANTHONY que nos sirve para hallar el valor de la presión del vapor que se genera del agua con sustancias puras, en nuestro caso CO_2 :

$$\log_{10}(P_{vapor}) = A - \left[\frac{B}{T^{\circ}C} - C \right] mmHg \quad (3.19)$$

Para lo cual se obtiene el siguiente valor para el vapor desprendido por el CO_2 .

$$(P_{vapor}) = 99.66 \sim 100 \text{ bar} \quad (3.20)$$

Obtenido del anexo nº 03

Como se sabe el agua con el gas son mezclados en el HRSG por lo que sufre una reducción de temperatura el cual puede ser hallado con la ecuación 3.21.

Que indica lo siguiente; al juntar dos cuerpos con distintas temperaturas uno sedera calor y el otro tomara ese mismo calor para que al final ambos tengan la misma temperatura.

Figura 3. 3 Análisis en el HRSG



Elaboración propia

Con esto se inicia con el análisis

Por P.C.E.

$$Q_1 + Q_2 = -Q_3 \quad (3.21)$$

El primer punto: (De agua a temperatura ambiente – agua a 100°C):

$$Q_1 = m_{agua} \times C_{e_{agua}} \times (T_f - T_0) \quad (3.22)$$

$$Q_1 = 1343 \times 4180 \times (100 - 10) \quad (3.23)$$

$$Q_1 = 505236600 \quad (3.24)$$

El segundo punto: (De agua a 100°C – vapor a 100°C):

$$Q_2 = m_{agua} \times L_{v_{agua}} \quad (3.25)$$

$$Q_2 = 1343 \times 2250000 \quad (3.26)$$

$$Q_2 = 3021750000 \quad (3.27)$$

El tercer punto: (De vapor a 100°C – Vapor a T°C):

$$Q_3 = m_{gas} \times C_{e_{gas}} \times (T_f - T_0) \quad (3.28)$$

$$Q_3 = 627.9 \times 60454.57416 \times (T_f - 459) \quad (3.29)$$

$$Q_3 = 37959427.115064 \times (T_f - 459) \quad (3.30)$$

De esto nos vamos a la ecuación 3.21 para obtener la temperatura final de la mezcla:

$$3526986600 = -37959427.115064x(T_f - 459) \tag{3.31}$$

$$\frac{3526986600}{37959427.11} = (-T_f + 459) \tag{3.32}$$

$$459 - 92.94513003 = T_f \tag{3.33}$$

$$T_f = 389.8145 \tag{3.34}$$

Con lo que obtenemos la temperatura a la salida del HRSG que es la misma que la temperatura a la entrada de la turbina de vapor.

TABLA N° 3. 5: Valores a la salida del HRSG y a la entrada de la turbina

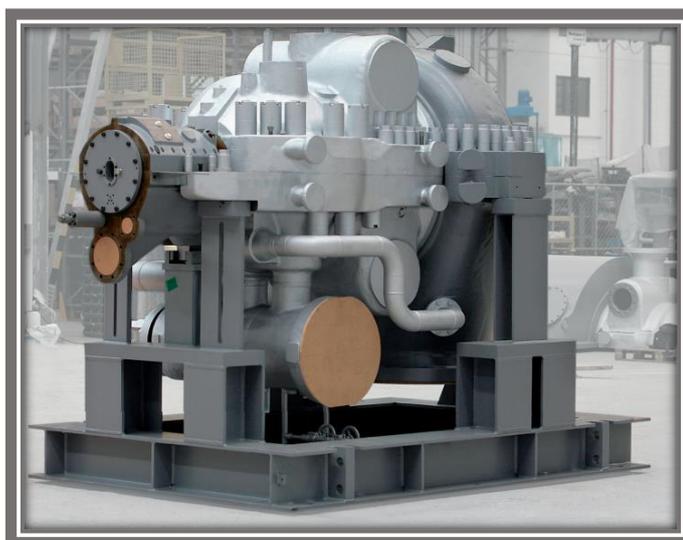
SALIDA DEL HRSG (Vapor)	Valor (unidades)
Temperatura	389.8145 °C
Presión	100 bar

Elaboración propia

3.8.3.3 Turbina de vapor

Para lo cual se tomará la turbina de vapor siemens SST-300 (Figura 3.4).

Figura 3. 4 Turbina SST-300



Fuente: Siemens

La SST-300 es una turbina de carcasa simple, con reductor para accionamiento de generador. Tiene un diseño compacto y flexible con alto grado de estandarización. Se emplea para aplicaciones de generación de energía. Cuyas características son las siguientes

TABLA N° 3. 6: Datos de la turbina de vapor SST-300

Descripción	Valor (unidades)
Potencia entregada	50 MW
Presión a la entrada de hasta	120 bar
Temperatura a la entrada de hasta	520 °C
Presión de vapor a la salida contrapresión	16 bar
Presión de vapor a la salida condensación	0.3 bar

Fuente: SST-300 Steam Turbine Environmental Product Declaration

Con estos valores y los de la tabla 3.5 se ara los cálculos para la eficiencia eléctrica y térmica de la turbina de vapor.

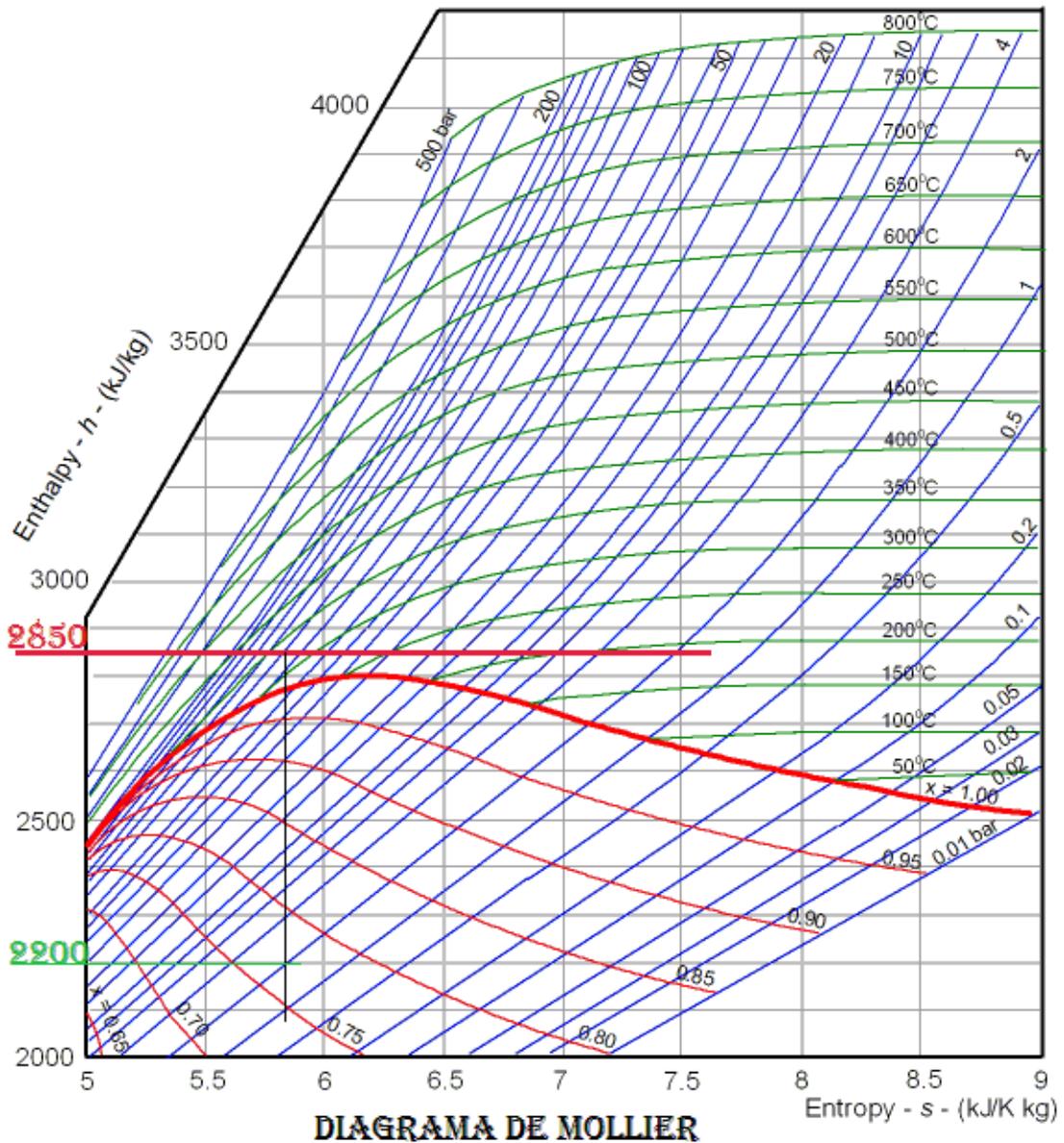
3.8.3.3.1 Energía eléctrica

Reconocemos los datos de entrada los cuales se sacan de la tabla 3.5 y decidimos como se quiere la salida, en este caso se desea que la presión de la salida sea de 2 bar.

Determinar la entalpia del vapor a la entrada y a la salida.

Esto se realizará gracias al diagrama de Mollier. El cual se muestra en la figura nº 3.5

Figura 3. 5 Diagrama de Mollier



Elaboración propia

Con esto obtenemos que la entalpia a la entrada es $2850 \frac{KJ}{Kg}$ y la entalpia en la salida es $2200 \frac{KJ}{Kg}$.

Cuya diferencia de entalpias es:

$$2850 - 2200 \tag{3. 35}$$

$$650 \frac{KJ}{Kg} \tag{3. 36}$$

Convirtiendo a KWh/Kg

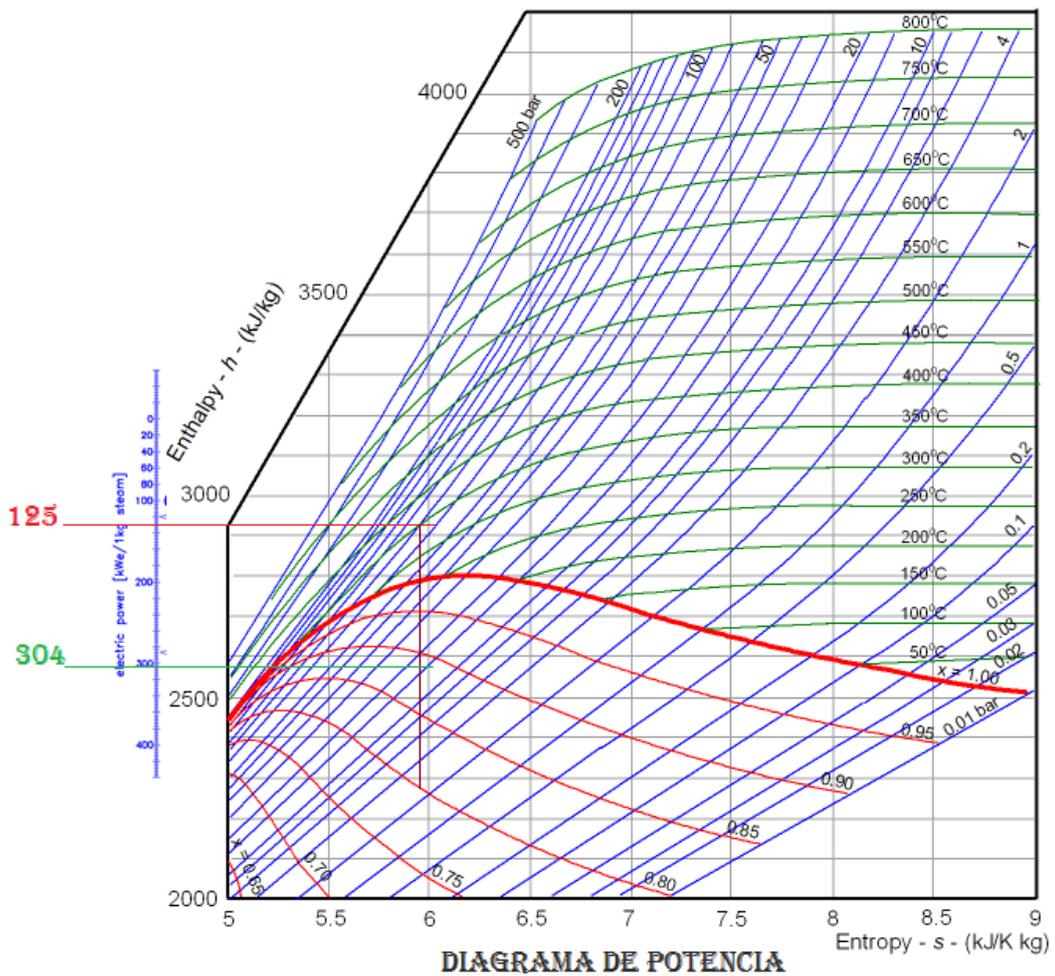
$$650 \frac{KJ}{Kg} * 0.000278 = 0,1807 \frac{KWh}{Kg} \tag{3.37}$$

La energía del vapor de entrada que se aprovecha será.

$$0,1807 \frac{KWh}{Kg} * 2402 \frac{Kg}{hora} = 434 KWh \tag{3.38}$$

La diferencia de potencia específica:

Figura 3. 6 Diagrama de potencia



Elaboración propia

$$490 - 170 = 320 \text{ kW} / \text{ksec} \quad (3.39)$$

Potencia eléctrica generada:

$$\frac{2402 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}}}{3600 \text{ seg}} = 0.66 \text{ kg} / \text{sec} \quad (3.40)$$

$$0.66 * 320 = 211 \text{ kW}e \quad (3.41)$$

Eficiencia

$$\frac{211 \text{ kW}}{434 \text{ kW}} \quad (3.42)$$

$$48.6\% \quad (3.43)$$

Como la turbina SST-300 llega a abastecer una potencia de hasta 50.000 KW entonces al tener una eficiencia del 48.6 %, la turbina de vapor nos entregara:

$$24050 \text{ KW} / \text{h}$$

Desde la entrada de la turbina hasta la salida de la bomba de toda esta energía tan solo el 10 % es útil y el restante 90% se consume por el mismo sistema para el funcionamiento de la bomba condensador y otros.

Por ende, se tiene lo siguiente:

$$2405 \text{ KW} / \text{h}$$

3.8.3.3.2 Energía térmica

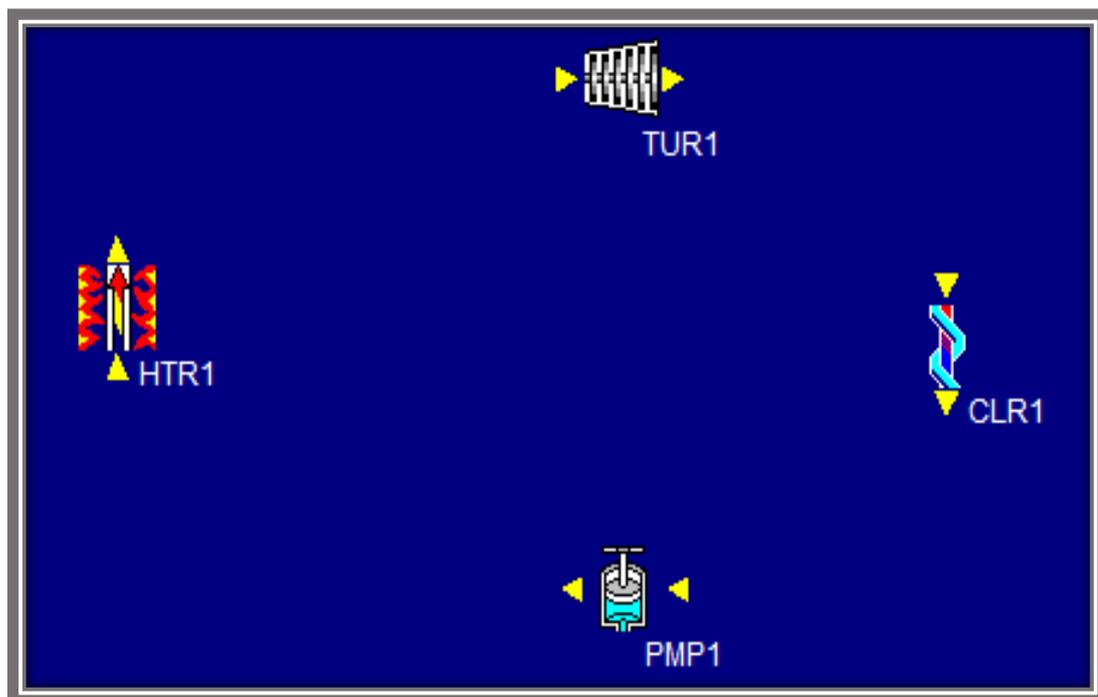
Para hallar la eficiencia térmica utilizaremos la ecuación 2.30 la cual es la expresión de la eficiencia térmica del ciclo de Rankine.

$$n_t = \frac{W_{neto}}{q_{en}} = 1 - \frac{q_{sal}}{q_{en}} \quad (3.44)$$

Para facilitar el análisis se ira al programa CYCLE PAD donde se insertará los componentes necesarios como son HRSG o Caldera, turbina, condensador, bomba.

De la siguiente manera

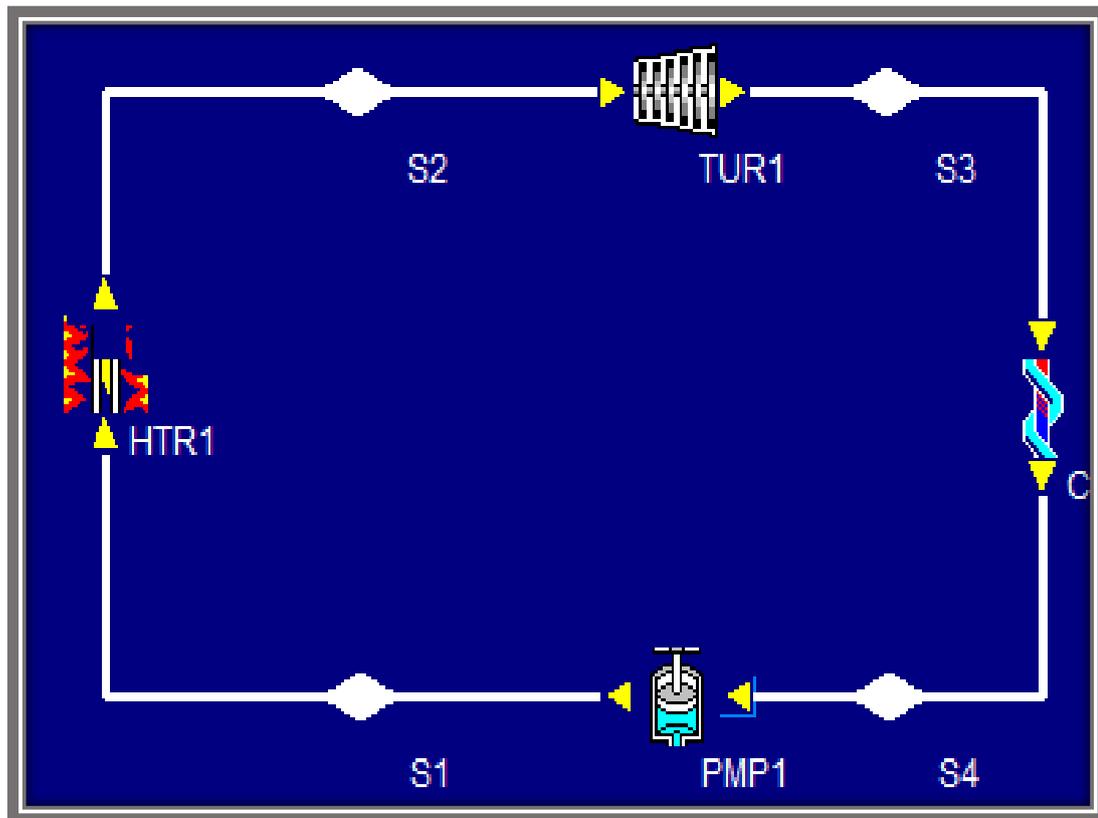
Figura 3. 7 Primer paso para el cálculo de eficiencia térmica



Elaboración propia

Luego unimos empezando de la bomba en dirección de las flechas amarillas

Figura 3. 8 Segundo pasó para el cálculo de eficiencia térmica



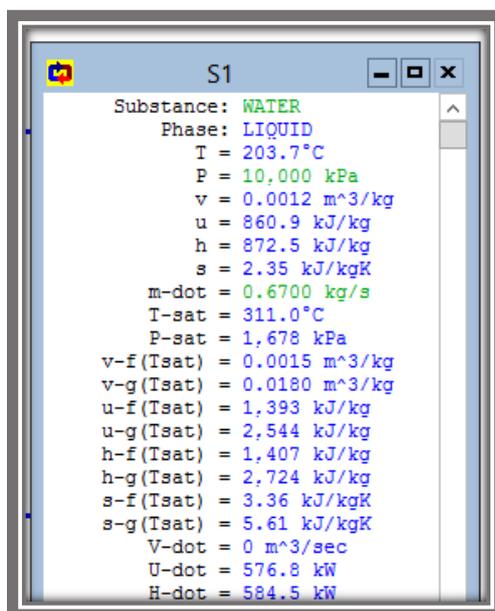
Elaboración propia

Le damos Analyze Now e insertamos los valores de nuestra preferencia, en nuestro caso se insertará los valores hallados más arriba y con características de nuestra turbina SST-300.

Para ello se verificara la tabla 3.6 en el cual encontramos detalles mayores acerca de la turbina de vapor

Como bien sabemos a la entrada S1 el cual es la entrada del HRSG y salida de la bomba se tiene agua por ende presionamos y le damos en la opción de wáter y en la opción m-dot la cantidad de agua necesaria para bombear como se puede observar en la figura 3.9.

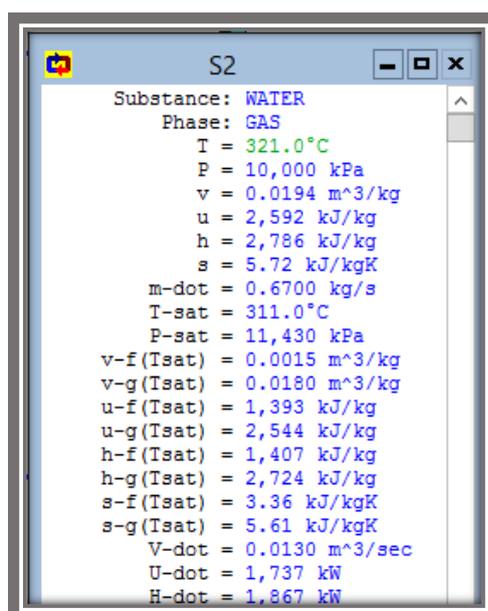
Figura 3. 9 Valores ingresados en el punto S1



Elaboración propia

En S2 lo que se ingresa es la temperatura del vapor a la entrada de la turbina.

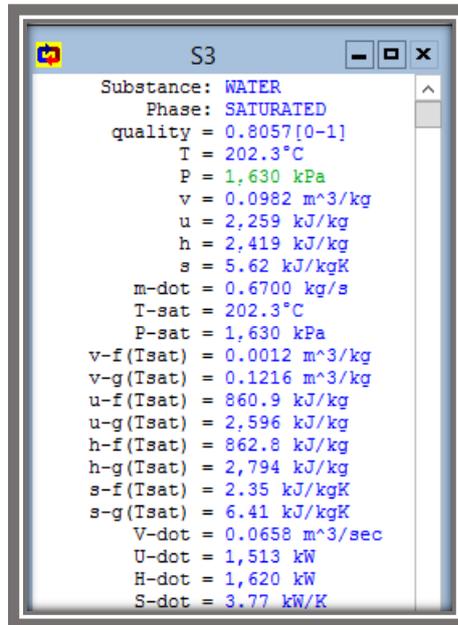
Figura 3. 10 Valores ingresados en el punto S2



Elaboración propia

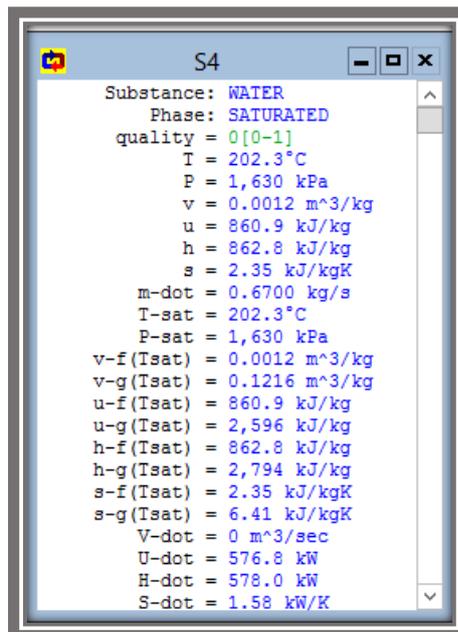
En S3 ingresamos el valor de la salida del vapor deseado para nuestro caso es 16.3 bar.

Figura 3. 11 Valores ingresados en el punto S3



Elaboración propia

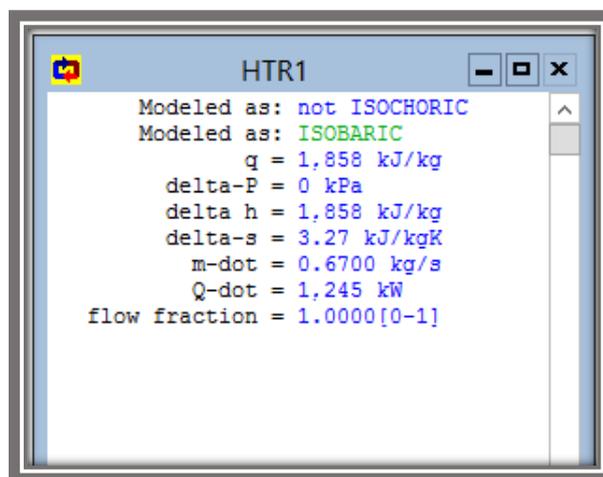
Figura 3. 12 Valores ingresados en el punto S4



Elaboración propia

Al presionar en la imagen del HRSG o caldera lo ponemos en modo isobárico

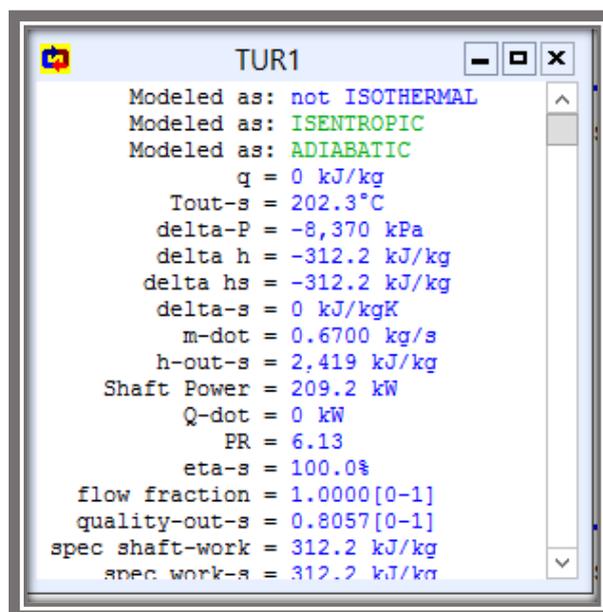
Figura 3. 13 Comportamiento del HRSG



Elaboración propia

Al presionar en la imagen de la turbina lo ponemos de modo isentropico y adiabático.

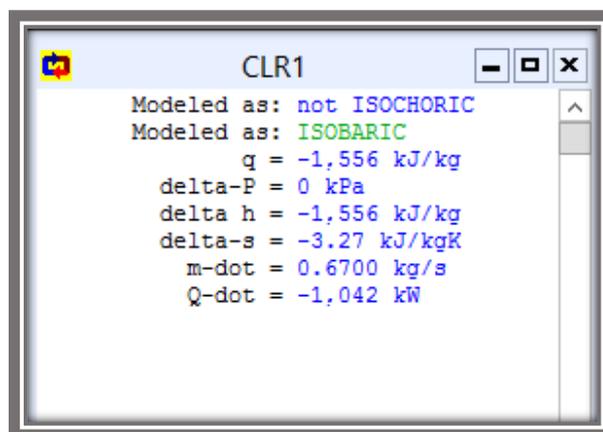
Figura 3. 14 Comportamiento de la turbina



Elaboración propia

Al presionar en la imagen del condensador lo ponemos de modo isobárico.

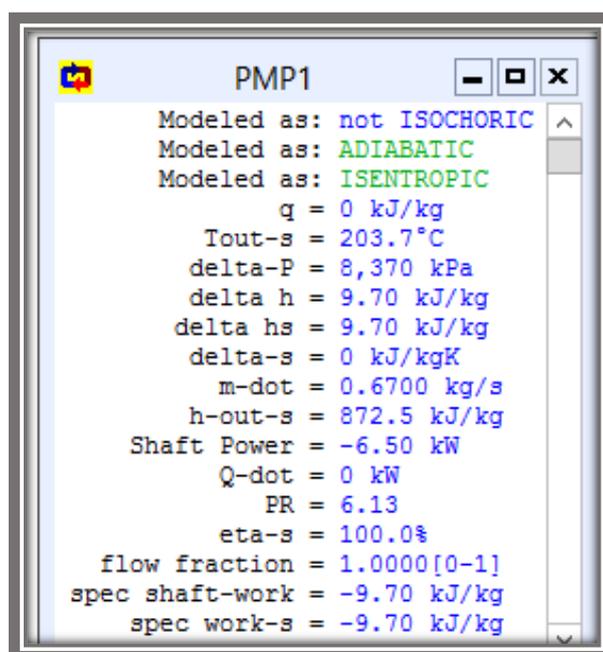
Figura 3. 15 Comportamiento del condensador



Elaboración propia

Al presionar en la imagen de bomba lo ponemos de modo adiabático e isentropico.

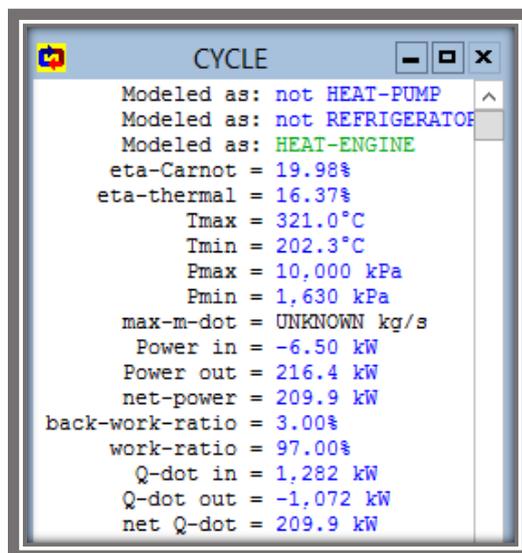
Figura 3. 16 Comportamiento de la bomba



Elaboración propia

Con estos datos ingresados se obtienen los resultados

Figura 3. 17 Resultados del ciclo de la turbina de vapor



Elaboración propia

Con lo cual tenemos la energía térmica producida por la turbina de gas es:

$$173.2 \frac{KW}{h}$$

Ecuación 3. 1 Energía térmica generada por la turbina de vapor

Elaboración propia

Como resultados finales se tiene:

Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica entregada por un sistema de cogeneración de ciclo combinado para aguas residuales es:

$$E. elec_{t.gas} + E. elec_{t.vapor} \quad (3. 45)$$

$$1946.396 \frac{KW}{h} + 2405.176 \frac{KW}{h} \quad (3.46)$$

$$5351.572 \frac{KW}{h} \quad (3.47)$$

Generación de energía térmica

La energía térmica entregada por un sistema de cogeneración de ciclo combinado para aguas residuales es:

$$173.2 \frac{KW}{h} \quad (3.48)$$

$$623520 \text{ KJ} \quad (3.49)$$

3.8.4 Software para facilitación de obtención de resultados

En dicho capítulo se presentará un software que apoye, facilite y reduzca el tiempo para la obtención de resultados para distintas temperaturas, cantidad de habitantes y cantidad de aguas residuales que ingresa al sistema, pues la cantidad de energía eléctrica varía según dichos parámetros.

Este software a la vez permitirá estimar la cantidad de energía eléctrica y térmica que se podrán obtener en otras ciudades o países según los datos requeridos inicialmente, de la misma manera cuenta con una base de datos realizada en Access para poder guardar distintos valores con distintas temperaturas, y así poder comparar resultados y a la vez hacer un análisis estadístico de las mismas.

A continuación, se presentan las pantallas que se encuentran en el software.

Pantalla:” TESIS-UNAP-2016” Es la pantalla de inicio en el cual se encuentra la información inicial de la tesis.

Figura 3. 18 Pantalla TESIS-UNAP-2016



Elaboración propia

Pantalla: “Datos Iniciales del lugar” en esta parte se ingresan el nombre de la ciudad como también la cantidad de habitantes con las que cuenta esta nos ayudara para hacer el cálculo de la cantidad de lodo húmedo y seco que se puede obtener de este.

Figura 3. 19 Pantalla Datos Iniciales del Lugar



Elaboración propia

Pantalla: “Biogás y metano” en esta etapa se permite hallar la cantidad de gas que se obtendrá de la ciudad mencionada en este caso Puno el gas será el Biogás, así como también la cantidad de metano.

Figura 3. 20 Pantalla Biogás y metano



Elaboración propia

Botón: “VARIAR” Nos permite hacer la modificación del porcentaje de metano en el gas ya sea para otros gases que no sean “biogás” así como también el poder calorífico del gas como se puede observar los datos iniciales son 60% y 8569 los cuales corresponden al del biogás.

Figura 3. 21 Pantalla Biogás y metano



Elaboración propia

Botón: “CALCULAR” este nos permite calcular la cantidad de lodo húmedo, lodo seco, materia orgánica, biogás, metano.

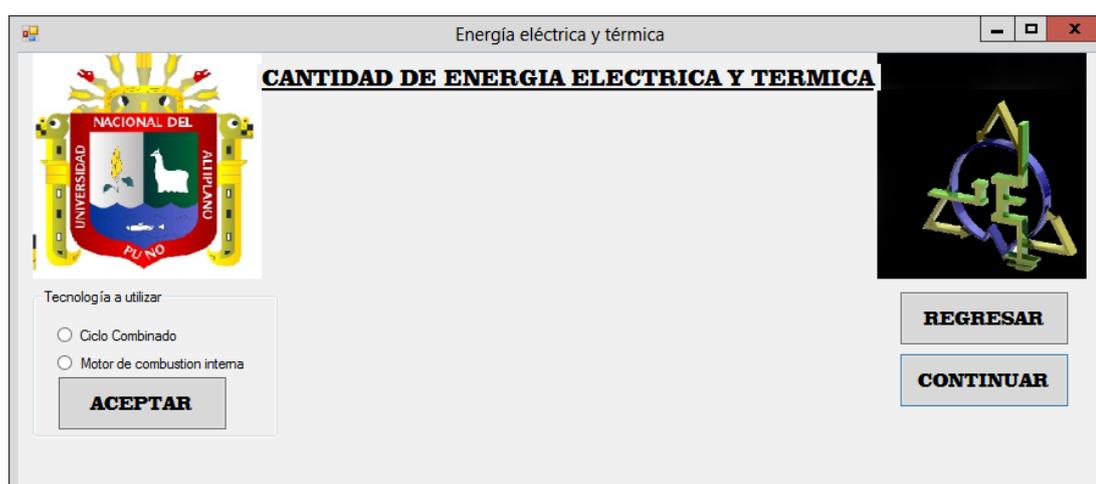
Figura 3. 22 Pantalla biogás y metano



Elaboración propia

Pantalla: “Energía eléctrica y térmica” en esta se obtendrá la cantidad de energía eléctrica y térmica que se obtendrá según sea el sistema ya sea por ciclo combinado o motor de combustión interna

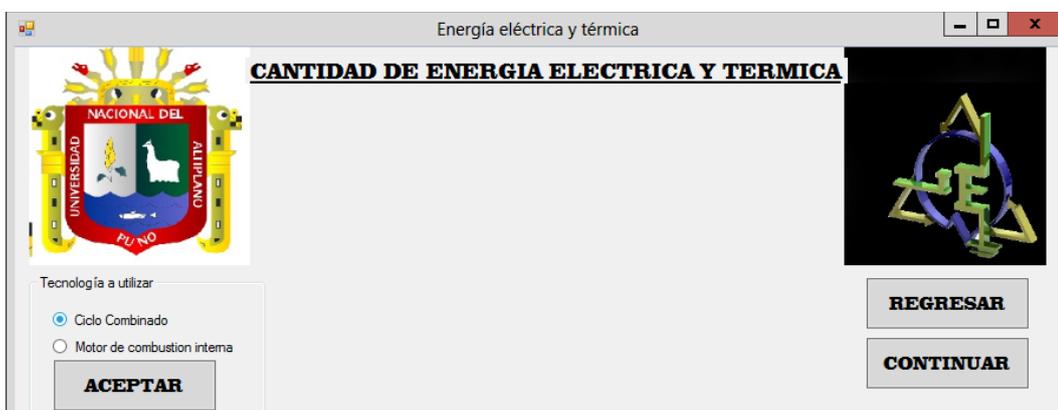
Figura 3. 23 Pantalla Energía Eléctrica y térmica



Elaboración propia

Grupo: “Tecnología a utilizar” en este se encuentra la tecnología de Ciclo Combinado o Motor de combustión interna.

Figura 3. 24 Pantalla Energía Eléctrica y térmica



Elaboración propia

Pantalla: “Ciclo combinado” esta etapa es la que hace los cálculos necesarios para la obtención de energía eléctrica y térmica, en las turbinas de vapor y turbina de gas, así como también la temperatura a la salida del HRSG y la cantidad de Agua que se necesitara.

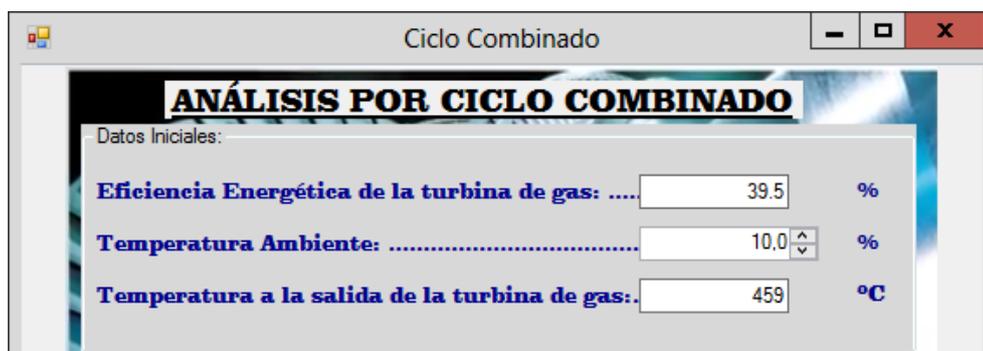
Figura 3. 25 Pantalla Ciclo Combinado



Elaboración propia

Botón: “VARIAR” Nos permite hacer la modificación de la eficiencia energética de la turbina de gas, la temperatura a la salida de la turbina de gas, y la temperatura ambiente a la cual se está trabajando de estas las dos primeras son de acuerdo a la hoja de datos de la turbina que se desee utilizar en este caso el SGT-750 y la última es la temperatura ambiente del lugar.

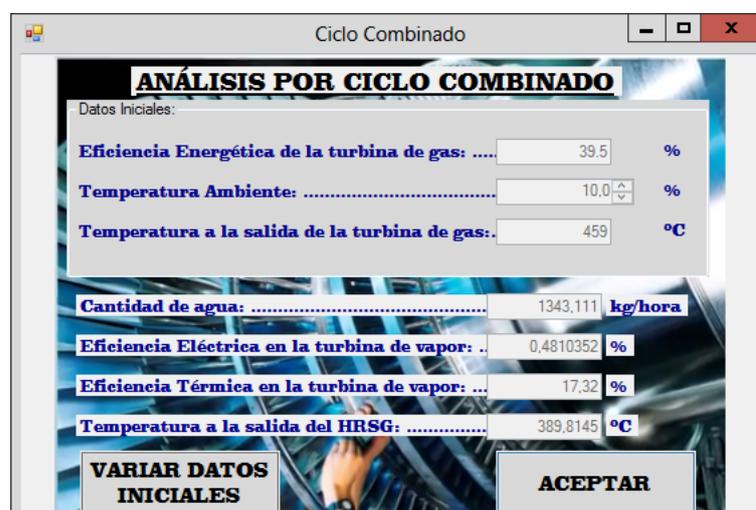
Figura 3. 26 Pantalla Ciclo Combinado



Elaboración propia

Botón: “ACEPTAR” Este es el botón que contiene las ecuaciones que se van a realizar para este sistema al presionarlo la presente pantalla desaparecerá y nos regresará a la pantalla “energía eléctrica y térmica”.

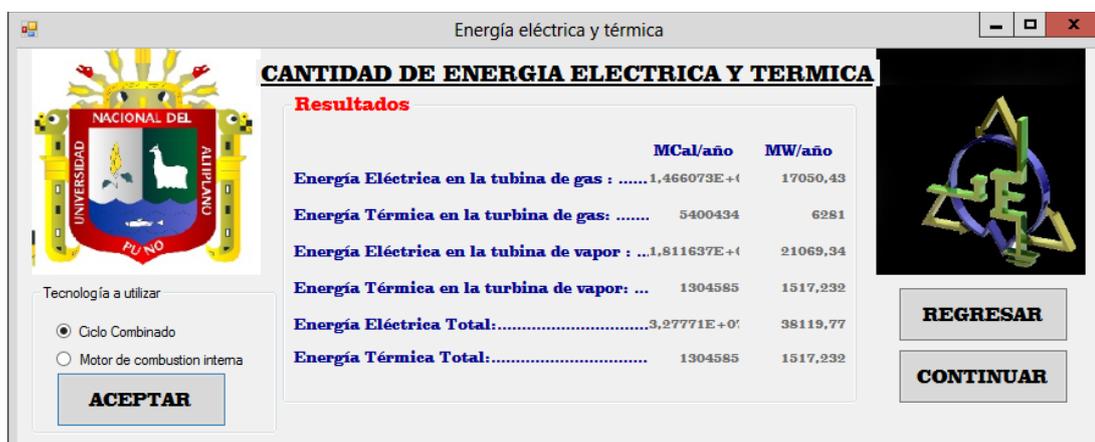
Figura 3. 27 Pantalla Ciclo Combinado



Elaboración propia

Como se puede observar se tiene la cantidad de energía eléctrica y térmica general y por partes (turbina de gas, turbina de vapor).

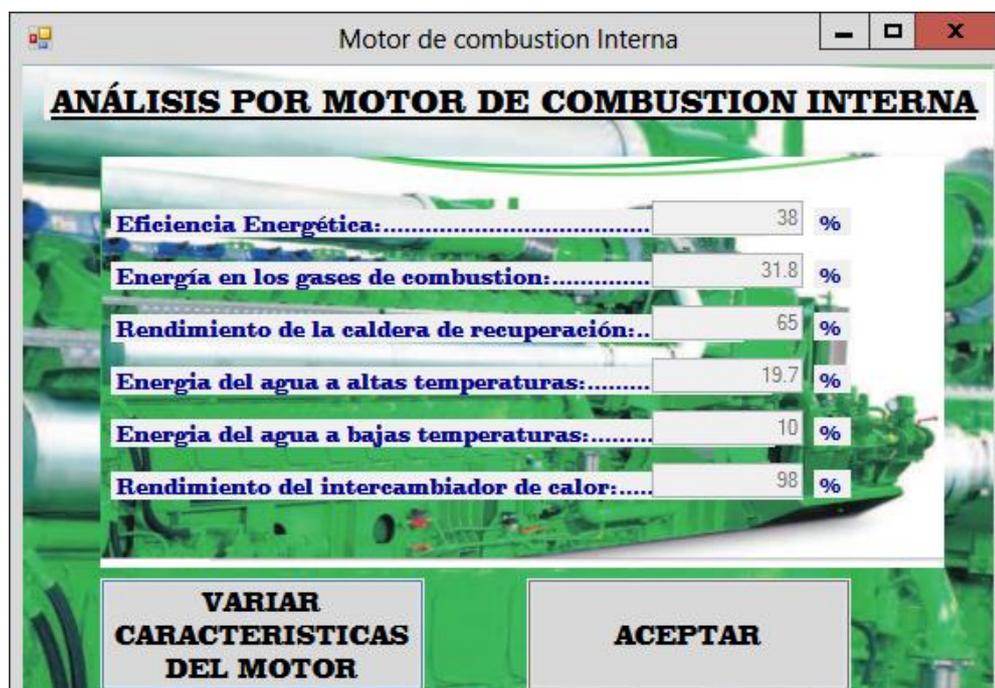
Figura 3. 28 Pantalla Energía Eléctrica y térmica



Elaboración propia

Pantalla: “Motor de combustión interna” esta pantalla contiene los datos del motor los cuales pueden ser obtenidos de una hoja de datos.

Figura 3. 29 Pantalla Motor de combustión interna



Elaboración propia

Botón: “VARIAR CARATERISTICAS DEL MOTOR” Nos permite hacer la variación de los valores como eficiencia térmica rendimiento de la caldera de recuperación, si se quiere trabajar con otros motores.

Botón: “ACEPTAR” contiene todas las ecuaciones necesarias para obtener la cantidad de energía eléctrica y térmica al presionarla cierra la pantalla y visualiza la pantalla “energía eléctrica y térmica”

Como se puede observar los resultados no son los mismos que los de la tecnología ciclo combinado.

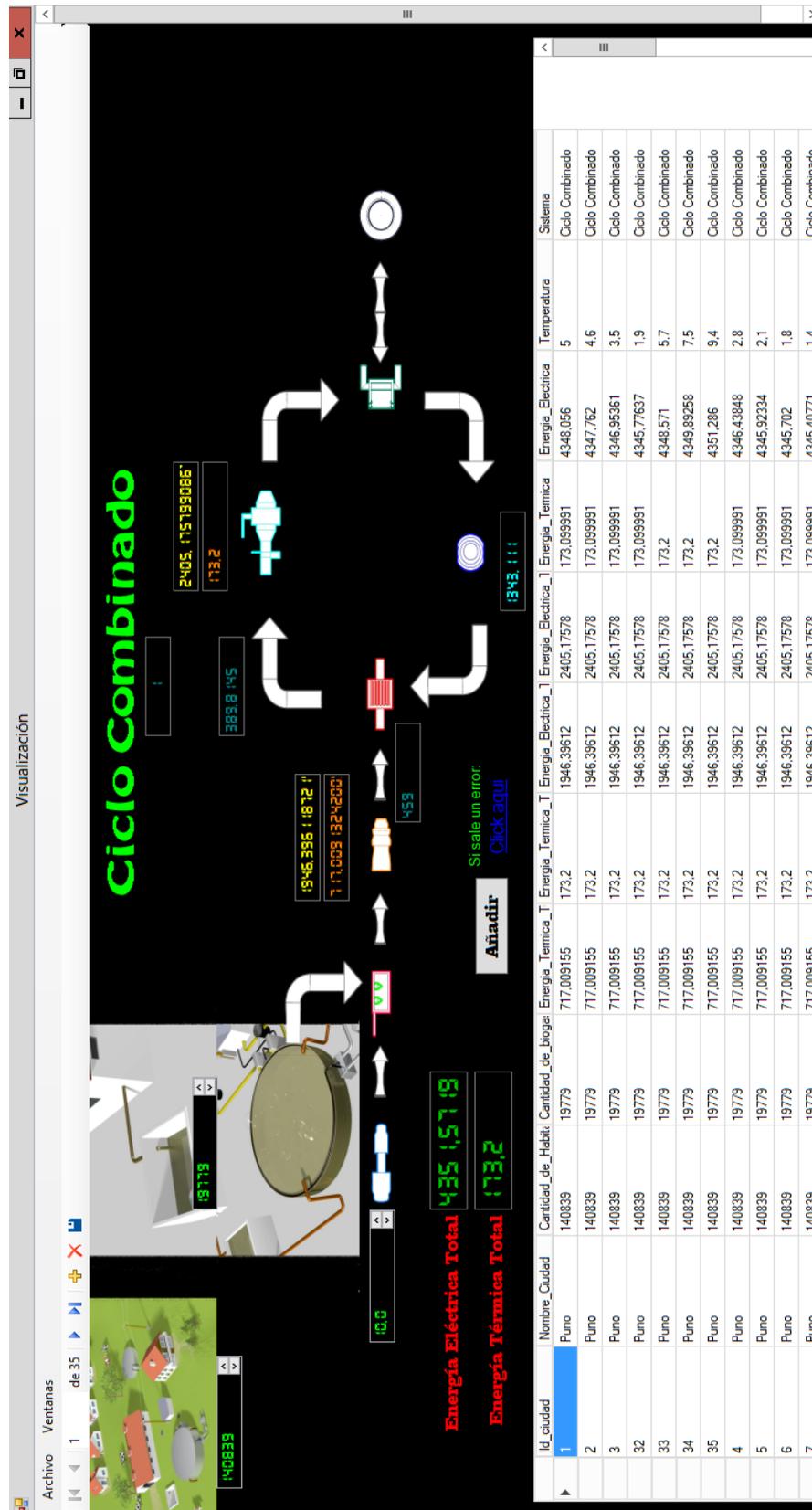
Figura 3. 30 Pantalla Energía Eléctrica y térmica



Elaboración propia

Pantalla: “visualización” esta pantalla tiene un esquema de la tecnología del ciclo combinado en las cuales también se pueden ir variando algunos valores como son la cantidad de biogás la cantidad de habitantes y la temperatura el cual es un indicador importante para la variación de energía esta pantalla contiene a su vez una base de datos

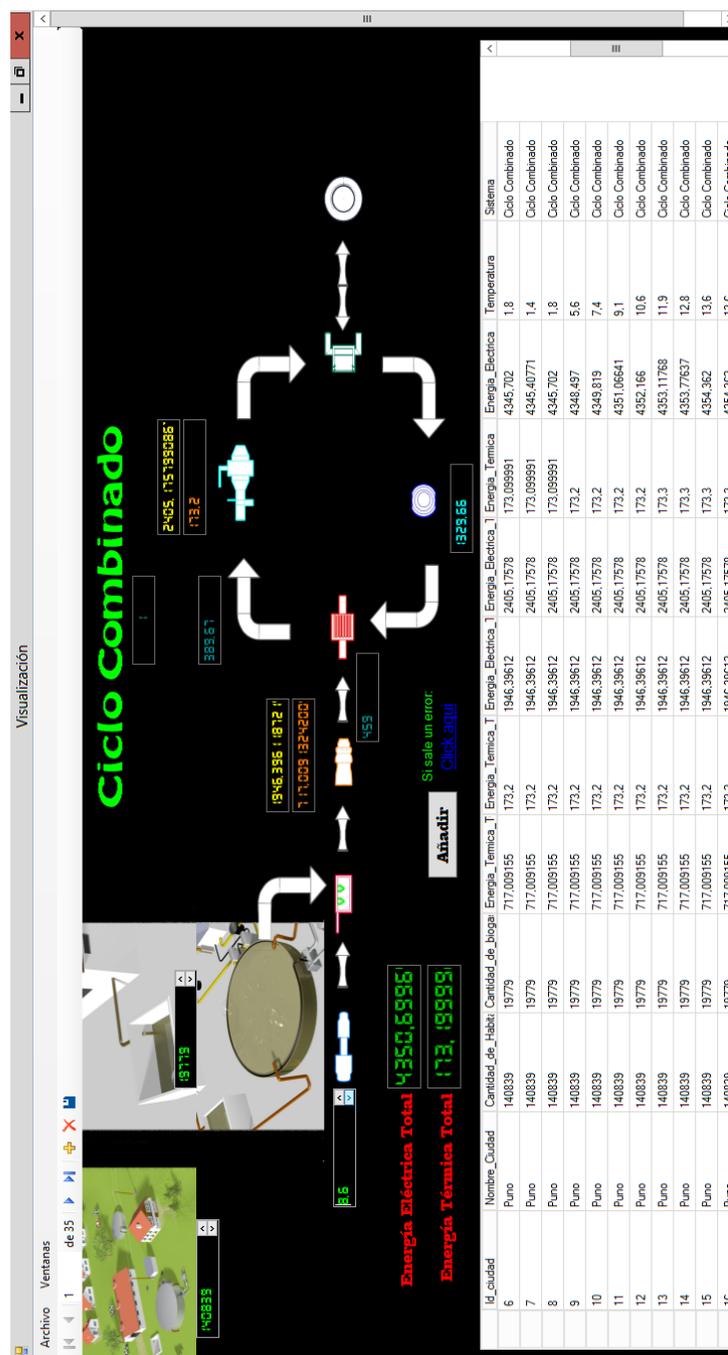
Figura 3. 31 Pantalla Visualización



Elaboración propia

Boton: “AÑADIR” este boton es el que añade a nuestra base de datos el valor que deseemos como se puede observar contiene la cantidad de habitantes energia electrica y termica en cada punto, temperatura ambiente, energia termica y total, etc.

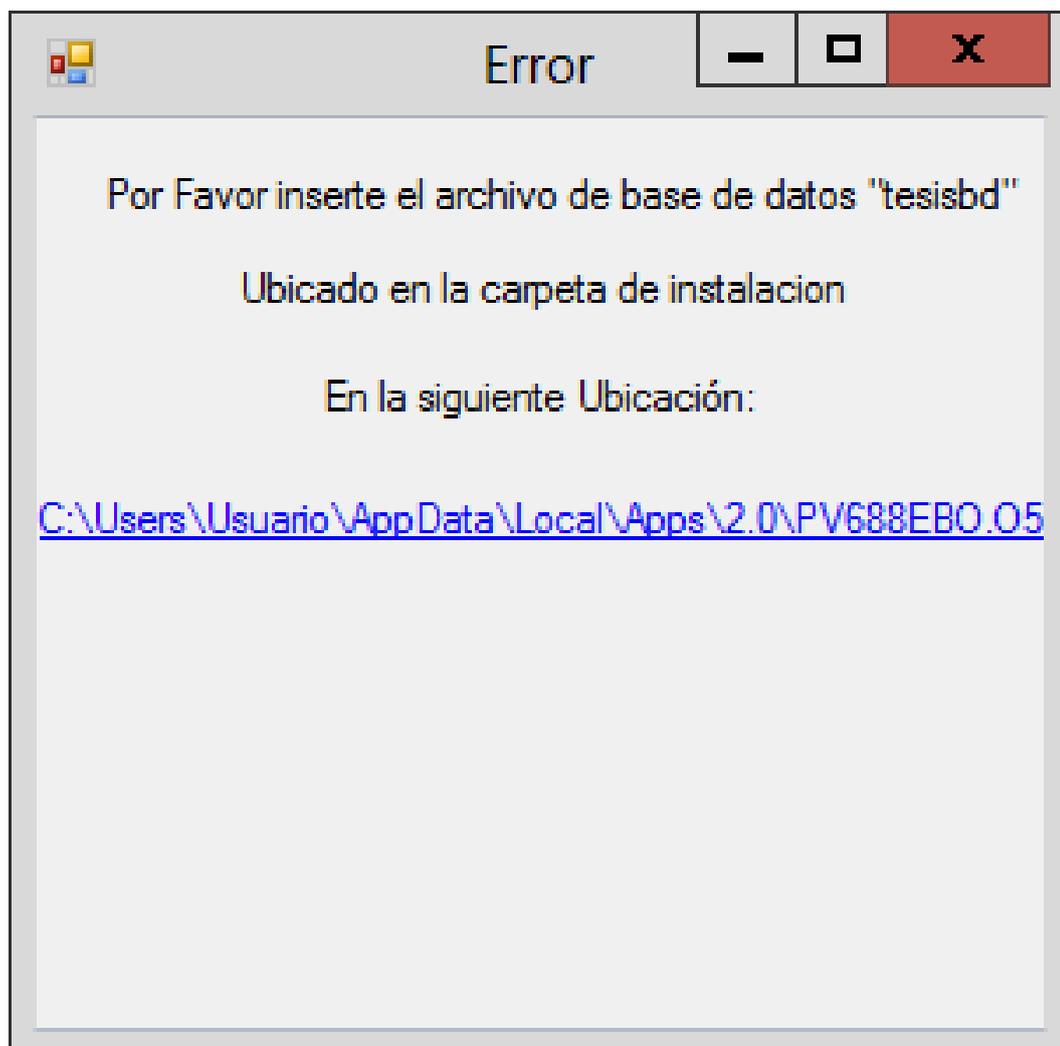
Figura 3. 32 Pantalla Visualización



Elaboración propia

Pantalla: "Error" esta pantalla nos sirve de ayuda por si el programa no puede almacenar datos el cual nos da una dirección para poder pegar nuestra base de datos creada en Access.

Figura 3. 33 Pantalla Error



Elaboración propia

Con todo el presente software se hizo de manera más rápida la obtención y creación de una base de datos la cual se encuentra en el anexo 6

3.9 Análisis estadístico para prueba de hipótesis

Por medio de la prueba de hipótesis, la estadística proporciona procedimientos óptimos para decidir la aceptación o el rechazo de afirmaciones o hipótesis acerca de la población en estudio (Javier gorgas, Estadística básica) (Gorgas Garcia, Cardiel Lopez, & Zamorano Calvo, 1995).

La hipótesis primera en la investigación es la siguiente:

3.9.1 Energía eléctrica

3.9.1.1 Hipótesis nula

H_0 = El diseño de un sistema de cogeneración generara menos de 4000Kwh de energía eléctrica.

3.9.1.2 Hipótesis alternativa

H_i = El diseño de un sistema de cogeneración generara más de 4000Kwh de energía eléctrica.

3.9.1.3 Desarrollo del análisis estadístico

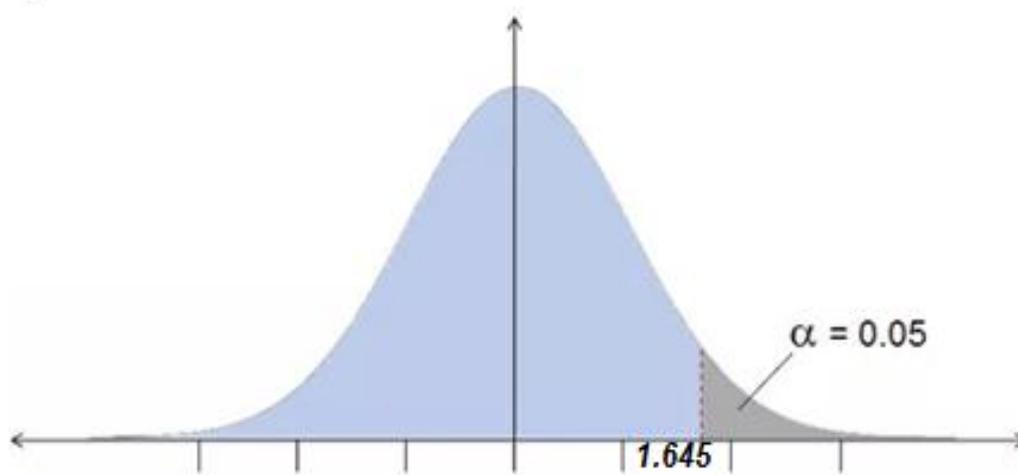
Teóricamente un sistema de cogeneración para la Ciudad de Puno utilizando gas emitido en la isla espinar genera más de 4000kw por hora. Una muestra aleatoria de 35 horas tiene una generación promedio de 4349,207543 kW por hora con una desviación estándar de 2,92188145, se tiene que probar la hipótesis del promedio es mayor a 4000kwh en contraposición a la hipótesis nula de que es menor a 4000 kwh en el nivel de significancia del 5%.

$$h_0: \mu < 4000$$

$$h_1: \mu > 4000$$

$$\alpha = 5\%$$

Figura 3. 34 Distribución Normal Estándar 5%



Elaboración propia

$$Z_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\left(\frac{\delta}{\sqrt{n}}\right)} \quad (3.50)$$

$$Z_p = \frac{4349.207543 - 4000}{\left(\frac{2.92188145}{\sqrt{35}}\right)} \quad (3.51)$$

$$Z_p = 707.058011 \quad (3.52)$$

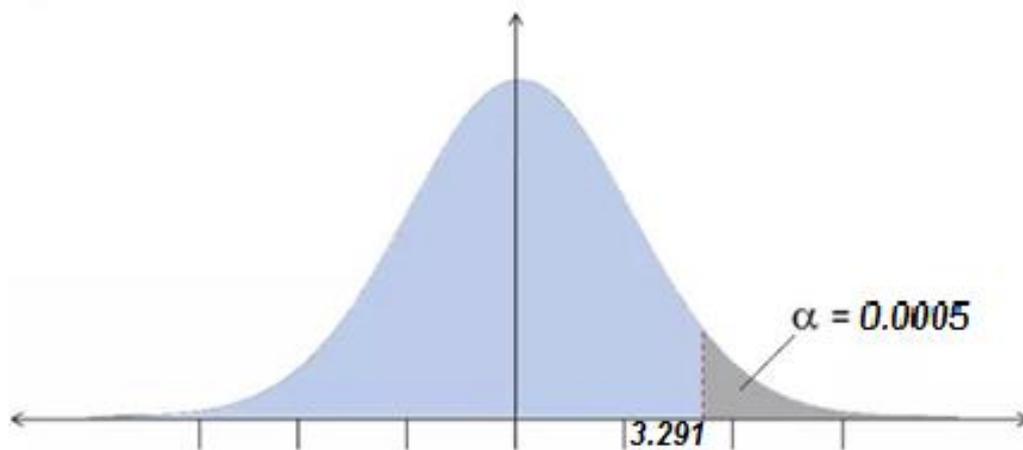
Como Z_p cae en la zona de aceptación, entonces se dice que:

Decisión: Se rechaza H_0

Conclusión: Se puede afirmar que el sistema de cogeneración con ciclo combinado genera más de 4000 kWh con una significación del 5%.

Ahora se realizará con un nivel de significación del 0.05%.

Figura 3. 35 Distribución Normal Estándar 0.05%



Elaboración propia

Como el valor obtenido de

$$Z_p = 707.058011$$

Como nos podemos dar cuenta es mucho mayor a 3.291.

Por lo cual se dice:

3.9.1.4 Decisión:

Se rechaza H_0

3.9.1.5 Conclusión:

Se puede afirmar que el sistema de cogeneración con ciclo combinado genera más de 4000 kWh con una significación del 0.05%.

3.9.2 Energía térmica

3.9.2.1 Hipótesis nula

H_0 = El diseño de un sistema de cogeneración generara menos de 40 K. Joules de energía térmica.

3.9.2.2 Hipótesis alternativa

H_i = El diseño de un sistema de cogeneración generara más de 40 K. Joules de energía térmica.

3.9.2.3 Desarrollo del análisis estadístico

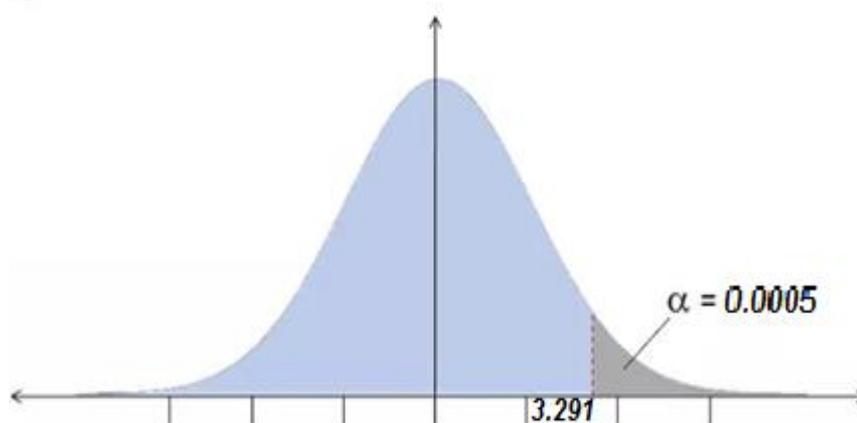
Teóricamente un sistema de cogeneración para la Ciudad de Puno utilizando gas emitido en la isla espinar genera más de 540 Mjoulles, que transformando se convierte en 149,958 kWh. Una muestra aleatoria de 35 horas tiene una generación promedio de 173,174286 kWh por hora con una desviación estándar de 0,07413365, se tiene que probar la hipótesis del promedio es mayor a 149.958 kwh en contraposición a la hipótesis nula que es menor a 149.958 kwh en el nivel de significancia del 0.05%.

$$h_0: \mu < 4000$$

$$h_1: \mu > 4000$$

$$\alpha = 0.05\%$$

Figura 3. 36 Distribución Normal Estándar 5%



Elaboración propia

$$Z_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\left(\frac{\delta}{\sqrt{n}}\right)} \quad (3.53)$$

$$Z_p = \frac{173.174286 - 149.958}{\left(\frac{0.07413365}{\sqrt{35}}\right)} \quad (3.54)$$

$$Z_p = 1852.72674 \quad (3.55)$$

Como Z_p cae en la zona de aceptación, entonces se dice que:

3.9.2.4 Decisión:

Se rechaza H_0

3.9.2.5 Conclusión:

Se puede afirmar que el sistema de cogeneración con ciclo combinado genera más de 149.958 kWh con una significación del 0.05%.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis de datos

Primero, se realiza un análisis energético para una entrada que depende de la cantidad de habitantes. Y, segundo estimamos la variación según la temperatura ambiente, para luego explicar en un nuevo análisis estadístico la cantidad que de energía eléctrica y térmica del sistema de cogeneración diseñado.

Finalmente se mostrará los resultados obtenidos

4.1.1 Resultados del primer análisis realizado con una temperatura promedio de 10°C

TABLA N° 4. 1: Análisis 01

Ciudad	Puno
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4351.726
Energía térmica total(kWh)	173.2
Temperatura($^{\circ}C$)	10

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de 10°C.

4.1.2 Resultados del segundo análisis realizado con una temperatura a las 01:00 horas

TABLA N° 4. 2: Análisis 02

Ciudad	Puno
Hora	01:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4348.056
Energía térmica total(kWh)	173.1
Temperatura($^{\circ}C$)	5

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de $5^{\circ}C$ el cual fue adquirido de SENAMHI el día 02 de agosto del 2016.

4.1.3 Resultados del tercer análisis realizado con una temperatura a las 04:00 horas

TABLA N° 4. 3: Análisis 03

Ciudad	Puno
Hora	04:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4346.438
Energía térmica total(kWh)	173.1
Temperatura($^{\circ}C$)	2.8

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de 2.8°C el cual fue adquirido de SENAMHI el día 02 de agosto del 2016.

4.1.4 Resultados del cuarto análisis realizado con una temperatura a las 06:00 horas

TABLA N° 4. 4: Análisis 04

Ciudad	Puno
Hora	06:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4345.702
Energía térmica total(kWh)	173.1
Temperatura(°C)	1.8

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de 1.8°C el cual fue adquirido de SENAMHI el día 02 de agosto del 2016.

4.1.5 Resultados del quinto análisis realizado con una temperatura a las 12:00 horas

TABLA N° 4. 5: Análisis 05

Ciudad	Puno
Hora	12:00
Cantidad de habitantes	140839

Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4352.166
Energía térmica total(kWh)	173.2
Temperatura($^{\circ}C$)	10.6

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de $10.6^{\circ}C$ el cual fue adquirido de SENAMHI el día 02 de agosto del 2016.

4.1.6 Resultados del sexto análisis realizado con la temperatura más baja durante el día.

TABLA N° 4. 6: Análisis 06

Ciudad	Puno
Hora	07:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4345.408
Energía térmica total(kWh)	173.1
Temperatura($^{\circ}C$)	1.4

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de $1.4^{\circ}C$ el cual fue adquirido de SENAMHI el día 02 de agosto del 2016.

4.1.7 Resultados del séptimo análisis realizado con la temperatura más alta durante el día

TABLA N° 4. 7: Análisis 07

Ciudad	Puno
Hora	15:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4354.362
Energía térmica total(kWh)	173.3
Temperatura($^{\circ}C$)	13.6

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 y una temperatura de $13.6^{\circ}C$ el cual fue adquirido de SENAMHI el día 02 de agosto del 2016.

Con los primeros siete resultados del análisis podemos llegar a analizar y dar la conclusión de que a mayor temperatura ambiente es mayor la eficiencia del sistema de cogeneración por ende la cantidad de energía eléctrica y energía térmica producida aumenta, aunque no sea mucha la diferencia existe.

Ahora se realizará el análisis según la cantidad de habitantes sin variar la temperatura ambiente a la cual la dejaremos en $10^{\circ}C$ la temperatura promedio en la ciudad de Puno.

4.1.8 Resultados del octavo análisis realizado con la población de Puno

TABLA N° 4. 8: Análisis 08

Ciudad	Puno
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	4351.726
Energía térmica total(kWh)	173.2
Temperatura($^{\circ}C$)	10 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una temperatura de 10 $^{\circ}C$ y una población de 140839 obtenido de la INEI 2015.

4.1.9 Resultados del noveno análisis realizado con la población de Juliaca

TABLA N° 4. 9: Análisis 09

Ciudad	Juliaca
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	273882
Cantidad de biogás (m^3/dia)	38464
Energía eléctrica total(kWh)	6396.378
Energía térmica total(kWh)	179.064
Temperatura($^{\circ}C$)	10 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una temperatura de 10°C y la población de Juliaca 273882 obtenido de la INEI 2015.

4.1.10 Resultados del décimo análisis realizado con la población de Cerro de Pasco

TABLA N° 4. 10: Análisis 10

Ciudad	Cerro de Pasco
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	66272
Cantidad de biogás (m^3/dia)	9907
Energía eléctrica total(kWh)	2673.836
Energía térmica total(kWh)	0
Temperatura(°C)	10°C

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una temperatura de 10°C y la población de Cerro de Pasco 66272 obtenido de la INEI 2015.

4.1.11 Resultados del décimo primero análisis realizado con la población de Pisco

TABLA N° 4. 11: Análisis 11

Ciudad	Pisco
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	104656
Cantidad de biogás (m^3/dia)	14698

Energía eléctrica total(<i>kWh</i>)	3682.181
Energía térmica total(<i>kWh</i>)	169.859
Temperatura(°C)	10°C

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una temperatura de 10°C y la población de Pisco 104656 obtenido de la INEI 2015.

Con los resultados del análisis del octavo al décimo-primero podemos llegar a analizar y dar la conclusión de que a mayor cantidad de habitantes por ende de materia y a la vez biogás es mayor la eficiencia del sistema de cogeneración por ende la cantidad de energía eléctrica y energía térmica producida aumenta, como es de suponerse.

También nos podemos dar cuenta que al no contar con una suficiente cantidad de biogás no se podrá generar energía térmica pues no será suficiente para poner en funcionamiento a la turbina de vapor.

Todos estos resultados nos indican que el sistema de cogeneración con una tecnología de ciclo combinado depende de manera proporcionalmente directa a la cantidad de biogás y temperatura ambiente.

4.2 Comparación con motor de combustión interna

A continuación, se realiza la comparación entre un sistema de cogeneración con tecnología de motor de combustión interna y ciclo combinado variando los valores de cantidad de biogás pues la tecnología de combustión interna no depende de la temperatura ambiente.

4.2.1 Resultados del primer análisis realizado para un motor de combustión interna

TABLA N° 4. 12: Análisis 12

Ciudad	Puno
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Energía eléctrica total(kWh)	1872.489
Energía térmica total(kWh)	2452.751
Temperatura($^{\circ}C$)	10

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 140839 con una tecnología de motor de combustión interna.

4.2.2 Resultados del segundo análisis realizado para un motor de combustión interna

TABLA N° 4. 13: Análisis 13

Ciudad	Juliaca
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	273882
Cantidad de biogás (m^3/dia)	38464
Energía eléctrica total(kWh)	3641.438

Energía térmica total(<i>kWh</i>)	4769.943
Temperatura(°C)	10

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 273882 con una tecnología de motor de combustión interna.

4.2.3 Resultados del tercer análisis realizado para un motor de combustión interna

TABLA N° 4. 14: Análisis 14

Ciudad	Cerro de Pasco
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	66272
Cantidad de biogás (m^3/dia)	9307
Energía eléctrica total(<i>kWh</i>)	881.164
Energía térmica total(<i>kWh</i>)	1154.178
Temperatura(°C)	10

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de energía eléctrica y energía térmica total con una población de 66272 con una tecnología de motor de combustión interna.

Con las tablas N° 4.8, 4.9 y 4.10 sistemas de ciclo combinado y las tablas N° 4.12, 4.13 y 4.14 sistemas de motor de combustión interna se puede observar que:

Primero un sistema de cogeneración con tecnología de ciclo combinado genera más energía eléctrica que un sistema de cogeneración con tecnología de motor de combustión interna.

Segundo un sistema de cogeneración con tecnología de motor de combustión genera más energía térmica que un sistema de cogeneración con tecnología de ciclo combinado.

Tercero dependiendo de la prioridad de energía necesitada se puede elegir alguno de estos dos sistemas

Cuarto un sistema de cogeneración con tecnología de ciclo combinado al tener poca cantidad de biogás llega a no generar energía térmica a diferencia de un sistema de cogeneración con tecnología de motor de combustión interna el cual si proporciona energía térmica incluso con cantidades de biogás demasiado pequeñas.

Al comparar las tablas 4.6 y 4.12 ambas de la ciudad de puno con una población de 140839 habitantes, con una diferencia de temperaturas en la primera la temperatura más baja en un día aleatorio y en la segunda con una temperatura por encima del promedio (7.64°C) podemos darnos cuenta que la cantidad de energía eléctrica es más eficiente con la tecnología de ciclo combinado incluso a temperaturas muy bajas comparadas con las de tecnología de ciclo combinado.

4.3 Análisis de cantidad de agua

En esta parte se analizará la cantidad de agua necesitada en la etapa del HRSG pues a distinta cantidad de gas se necesitará una cierta cantidad de agua y se analizara cuál es su relación directa o inversamente proporcional.

4.3.1 Resultado del primer análisis

TABLA N° 4. 15: Análisis 15

Ciudad	Puno
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Cantidad de agua necesitada(l/h)	1343.11
Temperatura($^{\circ}C$)	10 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de agua requerida en litros por hora de una población de 140839 y una temperatura de 10 $^{\circ}C$ el cual.

4.3.2 Resultado del segundo análisis

TABLA N° 4. 16: Análisis 16

Ciudad	Puno
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	160000
Cantidad de biogás (m^3/dia)	22470
Cantidad de agua necesitada(l/h)	1526
Temperatura($^{\circ}C$)	10 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de agua requerida en litros por hora de una población de 160000 habitantes (Valor para etapa experimental) y una temperatura de 10 $^{\circ}C$ el cual.

4.3.3 Resultado del tercer análisis

TABLA N° 4. 17: Análisis 17

Ciudad	Puno
Hora	19:00
Cantidad de habitantes	160000
Cantidad de biogás (m^3/dia)	15000
Cantidad de agua necesitada(l/h)	1018.636
Temperatura($^{\circ}C$)	10 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de agua requerida en litros por hora de una población de 160000 habitantes (Valor para etapa de demostración) y una cantidad de biogás de 15000 m^3/dia (Valor para etapa de demostración) y una temperatura de 10 $^{\circ}C$ el cual.

Con lo cual llegamos a la interpretación de afirmar que a mayor cantidad de gas procesado por la turbina de gas y a la vez mayor cantidad en el HRSG se necesitara mayor cantidad de agua por consiguiente a la salida se obtiene mayor cantidad de vapor.

Ahora se considerará la misma cantidad de biogás, pero variando la temperatura ambiente

4.3.4 Resultado del cuarto análisis

TABLA N° 4. 18: Análisis 18

Ciudad	Puno
Hora	19:00

Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Cantidad de agua necesitada(l/h)	1343.11
Temperatura($^{\circ}C$)	10 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de agua requerida en litros por hora de una población de 140839 habitantes y una temperatura de 10 $^{\circ}C$ a horas 19:00 según SENAMHI.

4.3.5 Resultado del quinto análisis

TABLA N° 4. 19: Análisis 19

Ciudad	Puno
Hora	07:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Cantidad de agua necesitada(l/h)	1260.16
Temperatura($^{\circ}C$)	1.4 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de agua requerida en litros por hora de una población de 140839 habitantes y una temperatura de 1.4 $^{\circ}C$ a horas 07:00 según SENAMHI.

4.3.6 Resultado del sexto análisis

TABLA N° 4. 20: Análisis 20

Ciudad	Puno
--------	------

Hora	15:00
Cantidad de habitantes	140839
Cantidad de biogás (m^3/dia)	19779
Cantidad de agua necesitada(l/h)	1377.923
Temperatura($^{\circ}C$)	13.6 $^{\circ}C$

Elaboración propia

El anterior cuadro muestra los resultados de la cantidad de agua requerida en litros por hora de una población de 140839 habitantes y una temperatura de 13.6 $^{\circ}C$ a horas 15:00 según SENAMHI.

De los resultados del cuarto, quinto y sexto análisis podemos llegar a la conclusión que a mayor temperatura ambiente mayor cantidad de agua, por ende, mayor cantidad de vapor, lo que genera una mayor cantidad de energía.

4.4 Cantidad de energía eléctrica y térmica

En esta etapa se realizará el cálculo estadístico de cantidad eléctrica y térmica que se generará con la tecnología más óptima para la ciudad de puno (ciclo combinado).

Como ya se había visto los pasos para hallar la cantidad de energía eléctrica y térmica estadísticamente son los siguientes

4.4.1 Energía eléctrica

Teóricamente un sistema de cogeneración para la Ciudad de Puno utilizando gas emitido en la isla espinar genera más de X kw por hora. Una muestra aleatoria de 35 horas tiene una generación promedio de 4349,207543 kW por hora con una desviación estándar de 2,92188145, se tiene que probar la

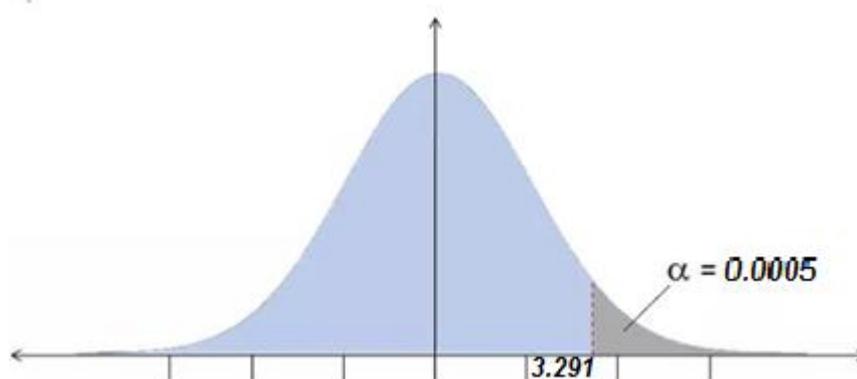
hipótesis del promedio es mayor a 4000kwh en contraposición a la hipótesis nula de que es menor a 4000 kwh en el nivel de significancia del 5%.

$$h_0: \mu < X$$

$$h_1: \mu > X$$

$$\alpha = 0.05\%$$

Figura 4. 1 Distribución Normal Estándar 5%



Elaboración propia

$$Z_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\left(\frac{\delta}{\sqrt{n}}\right)}$$

Con la fórmula anterior 3.53 se halla que la cantidad de energía eléctrica que produce el sistema de cogeneración con ciclo combinado es: 4347.5 kwh con un nivel de significancia del 0.05%.

Hallando que:

$$Z_p = 3.473479$$

4.4.2 Energía térmica

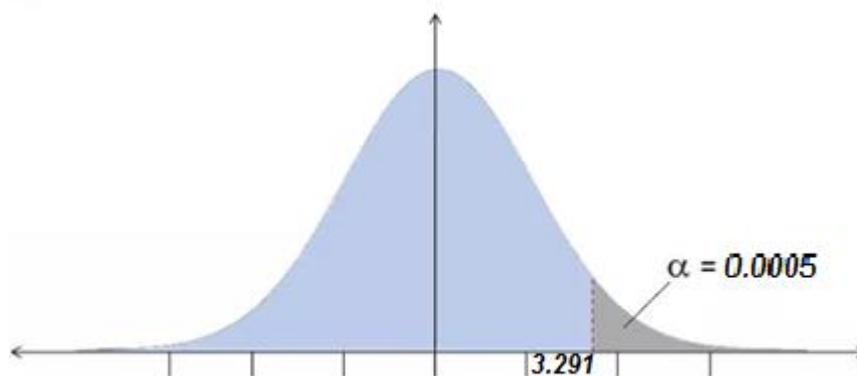
Teóricamente un sistema de cogeneración para la Ciudad de Puno utilizando gas emitido en la isla espinar genera más de 540 Mjoules, que transformando se convierte en X kWh. Una muestra aleatoria de 35 horas tiene una generación promedio de 173,174286 kWh por hora con una desviación estándar de 0,07413365, se tiene que probar la hipótesis del promedio es mayor a 149.958 kwh en contraposición a la hipótesis nula que es menor a 149.958 kwh en el nivel de significancia del 0.05%.

$$h_0: \mu < X$$

$$h_1: \mu > X$$

$$\alpha = 0.05\%$$

Figura 4. 2 Distribución Normal Estándar 0.05%



Elaboración propia

$$Z_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\left(\frac{\delta}{\sqrt{n}}\right)}$$

Con la formula anterior se halla que la cantidad de energía térmica que produce el sistema de cogeneración con ciclo combinado es: 173.13 kwh con un nivel de significancia del 0.05%.

Hallando que:

$$Z_p = 3.53412806$$

CONCLUSIONES

PRIMERA: Un sistema de cogeneración de ciclo combinado es la mejor opción por la cantidad de materia que se recolecta en la isla espinar, por generar mayor cantidad de energía incluso en temperaturas bajas, e incluso ser la tecnología que como prioridad genera más energía eléctrica y a su vez mayor cantidad de energía en general.

SEGUNDA: La cantidad de energía eléctrica generada por un sistema de cogeneración de ciclo combinado es de 4347.5 KWh.

TERCERA: La cantidad de energía térmica generada por un sistema de cogeneración de ciclo combinado es de 173.13 KWh.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

PRIMERA. - Se recomienda investigar diferentes tipos de residuos orgánicos y su potencial de metano como pueden ser avícola, vinícola, residuos de agricultura, etc.

SEGUNDA. - Se recomienda averiguar de otros modos para el aprovechamiento de los residuos que desembocan en la isla espinar.

TERCERA. - Se recomienda estudiar más a fondo las desventajas de un sistema de cogeneración con ciclo combinado.

CUARTA. - Se recomienda investigar nuevas tecnologías de generación de energía con recursos renovables.

QUINTA. - Se recomienda investigar acerca de las Smart-Grid y sus beneficios

BIBLIOGRAFÍA

- ACOGEN. (2011). *Cogeneración en la Industria Española de Alimentación y Bebidas*. España.
- Botero, R., & Preston, T. R. (26 de Enero de 2009). *Biodigestores de Bajo Costo para la Producción de Combustible y Fertilizante a partir de Ecretas*. Obtenido de Manual para su Instalación, Operación y Utilización:
<http://www.utaoundation.org/publications/botero&preston.pdf>
- Chamy, R., & Vivanco, E. (2007). *Potencial de Biogás*. Santiago de Chile: ByB Impresores.
- Cifuentes Villatoro, W. R. (Junio de 2011). *Sistemas de Cogeneracion Para el Ahorro de la Energia en la Industria*. Guatemala, Guatemala.
- Departamento de Física Aplicada I - E.U.P. (s.f.). El ciclo de Rankine. *Prácticas de Tecnología de Fluidos y Calor*, 1-8.
- Fenercom. (2010). *Guía de la Cogeneración*. Madrid: La suma de Todos.
- Fraile, D. (26 de Diciembre de 2007). *Módulo: Gestion eficiente de la energia*. Obtenido de Cogeneración Aspectos Tecnológicos: WWW.dsafasfasf
- Fuste Paredes, S. (2015). *Análisis Termodinámico de los Ciclos de Rankine*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech.
- García Garrido, S., & Fraile Chico, D. (2008). *Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas de cogeneración*. Madrid: Diaz de Santos.
- Gorgas Garcia, J., Cardiel Lopez, N., & Zamorano Calvo, J. (1995). *ESTADÍSTICA BÁSICA*. Madrid: Departamento de Astrofísica y Ciencias Atmosféricas.
- I.E.S. Antonio Gonzáles Gonzáles. (30 de Enero de 2016). *Departamento de tecnología*. Obtenido de La energía: <http://www.laenergia/energia3ESO>

- Kolanowski, B. (2003). *Small-Scale Cogeneration Handbook*. Estados Unidos: The Fairmont Press, Inc and Marcel Dekker, Inc.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (30 de 03 de 2016). *Guía sobre el Biogás, Desde la producción hasta el uso*. Obtenido de Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): www.fnr.de
- Mendez, J. (20 de 12 de 2015). *Produccion de Biogas en la Granja Marujo*. Obtenido de <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/biocombustibles/ProduccionBiogasGranjaMarujo.asp>
- Petchers, N. (2003). *Combined Heating, Cooling & Power Handbook:Technologies & Applications*. Estados Unidos: The Fairmont Press, Inc and Marcel Dekker, Inc.
- Pistonesi, C., Haure, J. L., & D'Elmar, R. (2010). *Energia a Partir de Aguas Residuales*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe.
- Quispe Chanampa, C. N. (2010). *Análisis Energético de un Sistema de Cogeneración con Ciclo Combinado y Gasificación para la Industria Azucarera*. Piura: Creative Commons Atribución.
- Ramos Saravia, J. C. (Julio de 2012). *Optimización del Diseño y Operación de Sistemas de Cogeneración para el Sector Residencial Comercial*. Obtenido de <http://zagan.unizar.es>
- Rivera Chávez, E. (2009). Ciclos de Potencia de Gas, Turbinas de Gas. *Apuntes de Clase*, 57.
- Semansaky, S., & Finn, A. (2012). *Fisica Moderna*. madrid: Mc graw Hill.
- SIEMENS. (16 de Febrero de 2010). *Meet the SGT-750*. Obtenido de <http://www.siemens.com/energy/gasturbines>

SIEMENS. (Febrero de 2014). *Turbinas de vapor prediseñadas*. Obtenido de SST-300 Steam

Turbine: <http://www.siemens.com/energy/steamturbines>

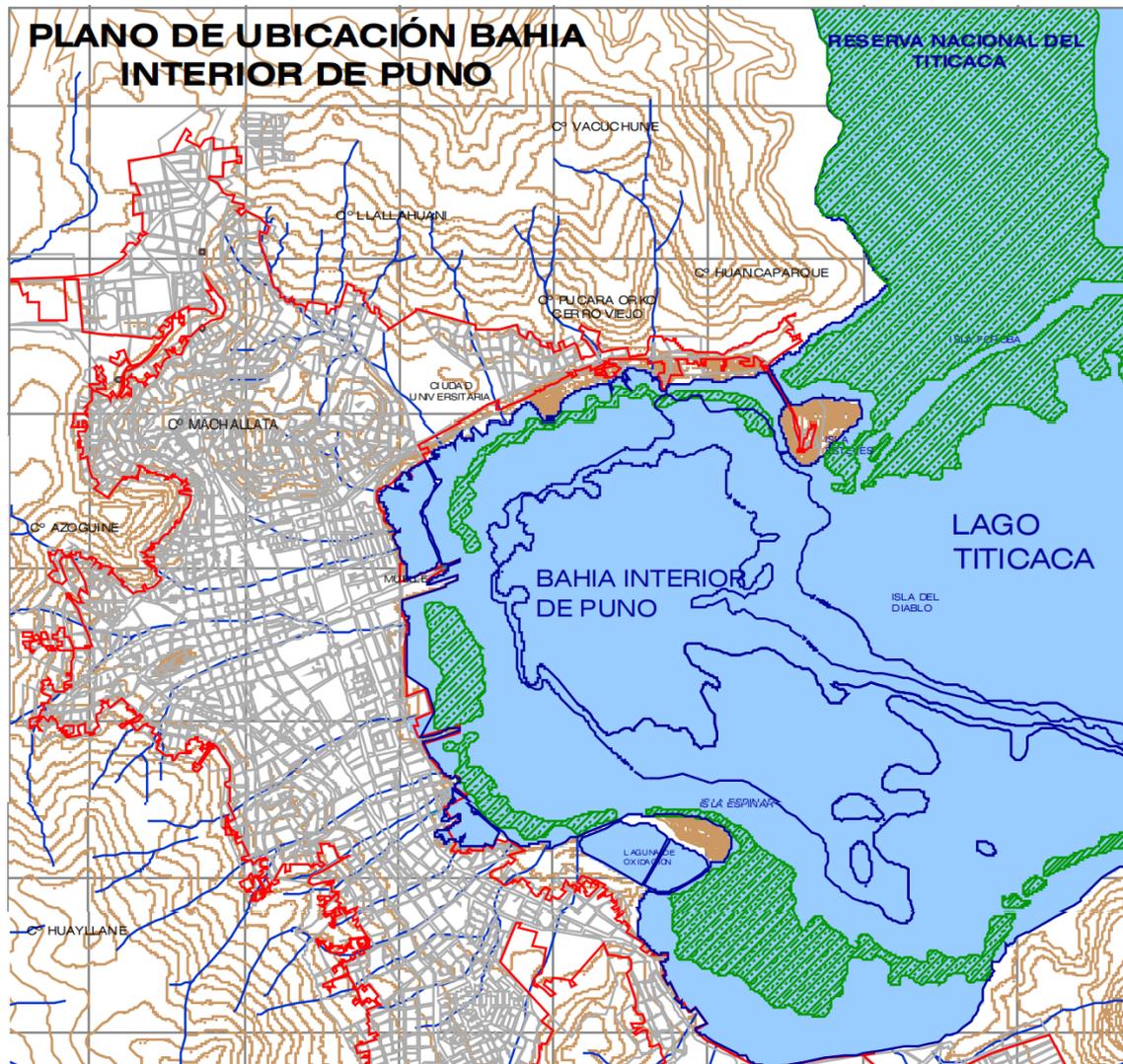
Vera Romero, I. (2011). *Desarrollo Metodologico Para el Analisis de la Viabilidad de un*

Proyecto de Microgeneracion. Mexico.

Yunus, A., & Michael, A. (2003). *Termodinamica*. México: McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo 1 Cartografía de la ubicación de la ciudad de Puno



Anexo 2 Población en la ciudad de Puno INEI

INEI INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA **Población y Territorio**

La población en los departamentos

El departamento de Lima es el que presenta la mayor concentración del país, con 9 millones 835 mil habitantes al 30 de junio 2015, lo que representa el 32% de la población del país (incluye a la Provincia de Lima y la Región Lima). En diez departamentos y la Provincia Constitucional del Callao, la población supera el millón de habitantes, seis pertenecen a la Sierra (Cajamarca, Puno, Junín, Cusco, Arequipa y Áncash), tres a la Costa (La Libertad, Piura y Lambayeque) y uno a la Selva (Loreto), en conjunto centralizan el 80% (24 millones 901 mil habitantes) de la población del país. En cambio, Madre de Dios, Moquegua, Tumbes, Pasco y Tacna, son los departamentos que no superan los 400 mil habitantes.

PERÚ: POBLACIÓN PROYECTADA AL 30 DE JUNIO DE 2015
(Miles de Habitantes)



PERÚ: PROVINCIAS CON MAYOR Y MENOR POBLACIÓN, 2015

Departamento	Provincia	Población
Provincias con mayor población		
Lima	Lima	8 890 792
Prov. Const. del Callao	Prov. Const. del Callao	1 013 935
Arequipa	Arequipa	969 284
La Libertad	Trujillo	957 010
Lambayeque	Chiclayo	857 405
Piura	Piura	765 601
Loreto	Maynas	551 383
Junin	Huancayo	503 139
Cusco	Cusco	450 095
Áncash	Santa	438 290
Cajamarca	Cajamarca	388 140
Ucayali	Coronel Portillo	377 875
Ica	Ica	362 693
Piura	Sullana	317 443
Tacna	Tacna	316 964
Huánuco	Huánuco	309 545
Lambayeque	Lambayeque	296 645
Puno	San Román	293 697
Ayacucho	Huamanga	277 224
Junin	Satipo	274 610
Puno	Puno	248 377
Lima	Cajete	233 151
Lima	Huaura	219 059
Ica	Chincha	217 683
Junin	Chanchamayo	204 035
Cajamarca	Jaén	199 000
Lima	Huaral	190 501
San Martín	San Martín	187 320
Cusco	La Convención	179 845
Apurímac	Andahuaylas	168 056
Áncash	Huaraz	166 625
Cajamarca	Chota	164 714
Tumbes	Tumbes	164 404

Anexo 3 Ecuacion de Antoine

**CALCULO DE LA PRESION DE VAPOR PARA SUSTANCIAS PURAS
ECUACION DE ANTOINE**

$$\log_{10} P_{vap} = A - [B / (T^{\circ}C + C)] \text{ mmHg}$$

T = 0 °C
No. = 7

<---- Ingrese temperatura
<---- Ingrese No. de Sustancia

Sustancia = CO2 carbon-dioxide

	A	B	C
Constantes =	9,8106	1347,79	273
Valor Calculado:	Pvap =	74755,01	mmHg
	Pvap =	99,66515	bar
			Tmin
			-119

BASES DE DATOS

1. POLING, BRUCE; PRAUSNITZ, JOHN & O'CONNELL, JOHN. "The Properties of Gases and Li McGraw Hill. New York. 2001
2. UNIVERSITY OF MARYLAND. <http://www.engr.umd.edu/~nsw/ench250/antoine.dat>

Anexo 4 Planos de Sistema de Cogeneración

PLANO N°4

PLANO N° 2

PLANO N°3

Anexo 5 Código de programa para cálculo automatizado

Pantalla N°1


La primera pantalla es sobre todo informativa y de presentación del programa por lo que solo tiene un botón "Iniciar". El Cual Tiene el siguiente código:

Al presionar el botón Iniciar (Button1) realiza las siguientes acciones.

- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #2 "Form2"

```
Public Class Form1
```

```
    Private Sub Button1_Click (sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles Button1.Click
```

```
        Me.Hide()
```

```
        Form2.Show()
```

```
    End Sub
```

Pantalla N°2


La segunda pantalla es para el ingreso de Datos iniciales como el lugar donde se realizara el análisis y la cantidad de habitantes, este cuenta con dos botones uno para "Continuar" y otro para "Regresar" los cuales tienen el siguiente código:

El botón regresar(Button1) realiza las siguientes acciones:

- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #1 "Form1"

El botón continuar (Button2) realiza las siguientes acciones:

- Si en el casillero de "nombre de la ciudad" o en "la cantidad de habitantes" este vacío entonces no dejara continuar y enviara un mensaje informativo.
- De lo contrario si ambos valores son válidos, desaparecerá la pantalla y nos mostrara la pantalla 3 "Form3".
- Los datos que se ingresaron se copiaran en la pantalla 3

```
Public Class Form2
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button1.Click
    Me.Hide()
    Form1.Show()
End Sub

Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button2.Click
    If nombre_ciudad.Text = "" Then
        MsgBox("La casilla de Nombre de Ciudad es requerida")
    End If
    If cantidad_habitantes.Text = "" Then
        MsgBox("La casilla de cantidad de habitantes es
requerida ")
    End If

    If nombre_ciudad.Text <> "" Then
        If cantidad_habitantes.Text <> "" Then
            Me.Hide()
            Form3.Show()
            Form3.TextBox1.Text = nombre_ciudad.Text
            Form3.TextBox2.Text = cantidad_habitantes.Text
            Form7.canthab7.Value = cantidad_habitantes.Text
        End If
    End If
End Sub
End Class
```

Pantalla N° 3


Biogas y metano

EVALUANDO CANTIDAD DE BIOGAS Y METANO

Puno
140839

Porcentaje de Metano en el Gas: %

Poder Calorífico del gas: Kcal/m3 **VARIAR**

Lodo Humedo:	<input type="text"/>	Kg/día
Lodo Seco:	<input type="text"/>	Kg/día
Materia organica:	<input type="text"/>	Ton/año
Biogas:	<input type="text"/>	m3/día
Biogas:	<input type="text"/>	miles m3/año
Metano:	<input type="text"/>	miles m3/año

CALCULAR
REGRESAR
CONTINUAR

La tercera pantalla es para el ingreso de las propiedades del Metano generado por la biomasa estos valores se pueden cambiar haciendo click en "Variar", esta pantalla tiene como objetivo calcular la cantidad de Biogas que se generara.

El botón regresar (Button1) realiza las siguientes acciones:

- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #2 "Form2"

El botón continuar (Button2) realiza las siguientes acciones:

- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #4 "Form4"
- Copia los valores a la pantalla 7

El botón calcular (Button3) realiza las siguientes acciones:

- Deshabilita las propiedades del Metano si en caso está habilitada

- Realiza los cálculos de forma automatizada según Tesis
- Y estas son colocadas en la misma pantalla

El botón Variar (Button4) realiza las siguientes acciones:

- Habilita las propiedades del Metano

```
Public Class Form3
    Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button2.Click
        Me.Hide()
        Form4.Show()
        Form7.metano7.Text = metano.Text
        Form7.cantbio7.Value = biogasm3.Text
        Form7.porc_met7.Text = porc_met.Text
        Form7.biogas_año7.Text = biogas_año.Text
    End Sub

    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button1.Click
        Me.Hide()
        Form2.Show()
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button4.Click
        porc_met.Enabled = True
        p_cal.Enabled = True
    End Sub
End Class
```

```
End Sub

Dim canthab As Integer

Dim porcemet As Long

Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As EventArgs)

Handles Button3.Click

    porc_met.Enabled = False

    p_cal.Enabled = False

    If TextBox2.Text <> "" Then

        canthab = TextBox2.Text

        Dim lh As Long

        Dim bioaño As Long

        Dim ls As Long

        Dim mo As Long

        Dim bio As Long

        Dim met As Long

        lh = canthab / 1.2 'columna n°1 resultados
        ls = canthab / 2.35 'columna n°1 resultados
        mo = lh / 9.9085 'columna n°1 resultados
        bio = ls / 3.03 'columna n°1 resultados
        bioaño = bio * 365 / 1000 'columna n°1 resultados
        porcemet =porc_met.Text 'columna n°1 características
del metano

        met = bioaño * porcemet / 100 'columna n°1 resultados

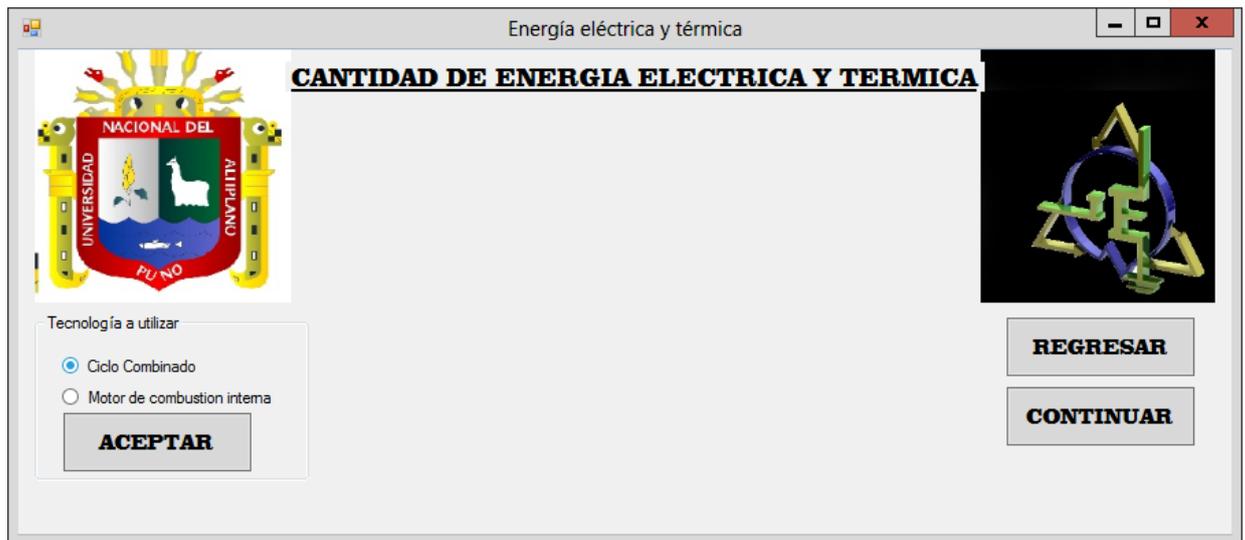
        lodo_humedo.Text = lh

        lodo_seco.Text = ls 'columna n°1

        materia_organica.Text = mo 'columna n°1

        biogasm3.Text = bio 'columna n°1
```

```
        biogas_año.Text = bioaño 'columna n°1  
  
        metano.Text = met 'columna n°1  
  
        Form7.cantbio7.Value = bio  
  
        Form7.porc_met7.Text = porcemet  
  
    End If  
  
End Sub  
  
End Class
```

Pantalla N° 4

La cuarta pantalla muestra el cálculo de energía térmica y energía eléctrica generada, para esto se realizó dos métodos de obtención de energía mediante cogeneración de Ciclo Combinado y cogeneración por motor de combustión interna para esto se tiene un seleccionador.

El botón Regresar (Button1) realiza las siguientes acciones:

- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #3 "Form3"

El botón Continuar (Button2) realiza las siguientes acciones:

- Ingresa valores obtenidos a la pantalla #7 "Form7"
- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #7 "Form7"

El botón Aceptar (Button4) realiza las siguientes acciones:

- Oculta la presente pantalla

- Si está marcado Ciclo Combinado Muestra la pantalla #5 "Form5"
- Si está marcado Motor de Combustión Interna Muestra la pantalla #6 "Form6"

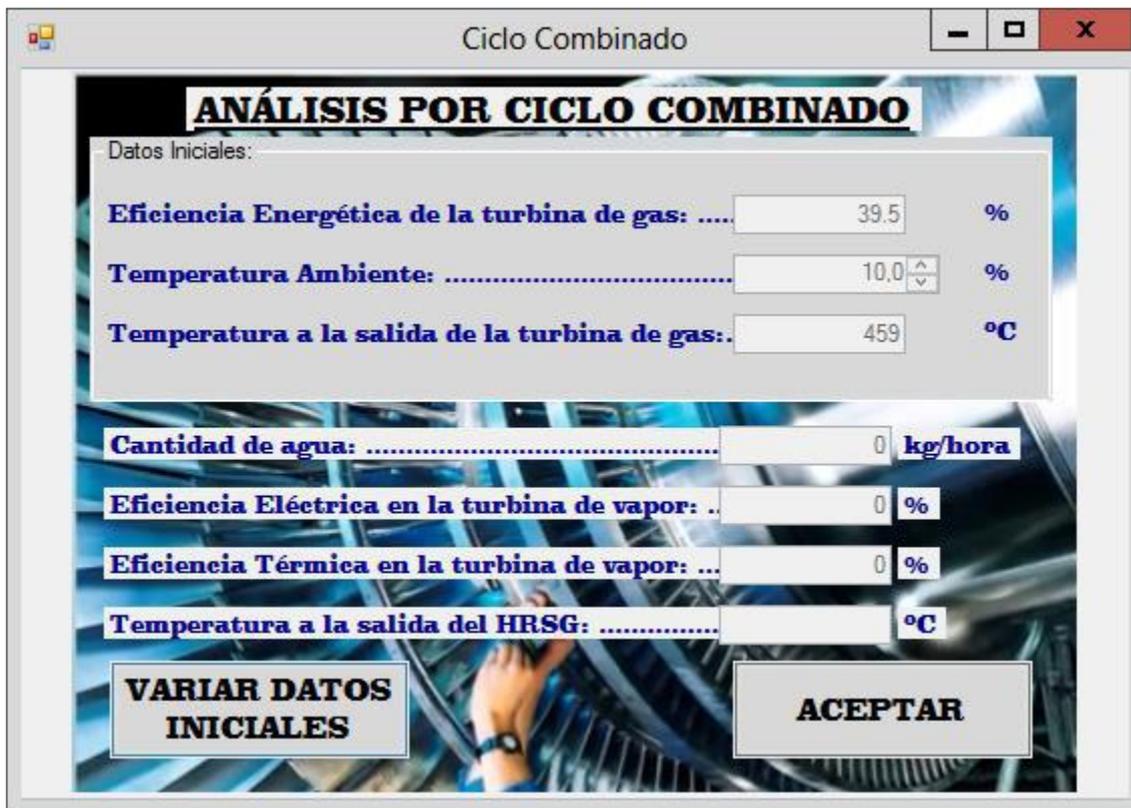
```
Public Class Form4

    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button1.Click
        Me.Hide()
        Form3.Show()
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button4.Click
        If RadioButton1.Checked = True Then
            Form5.Show()
        Else
            If RadioButton2.Checked = True Then
                form6.show()
            End If
        End If
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button2.Click
        Form7.eetg7.Text = 1000 / 8760 * elec_gas2.Text
        Form7.ettg7.Text = 1000 / 8760 * term_gas2.Text
        Form7.eetv7.Text = 1000 / 8760 * elec_vap2.Text
```

```
Form7.ettv7.Text = 1000 / 8760 * term_vap2.Text  
  
Form7.eetotal7.Text = 1000 / 8760 * elec_tot2.Text  
  
Form7.etttotal7.Text = 1000 / 8760 * term_tot2.Text  
  
Me.Hide()  
  
Form7.Show()  
  
End Sub  
  
End Class
```

Pantalla N° 5


La Quinta pantalla realiza el cálculo de energía térmica y energía eléctrica generada, Cantidad de Litros por hora de agua necesaria, la eficiencia térmica de la turbina de vapor y la turbina de gas, así como también la temperatura a la salida del HRSG. Los valores ingresados son valores iniciales de acuerdo a los equipos seleccionados, mas estos se pueden varias de acuerdo a un nuevo equipo elegido o exista una variación de la temperatura ambiente.

El botón Aceptar (Button2) realiza las siguientes acciones:

- Realiza los cálculos de correspondientes de acuerdo al contenido en la tesis siempre que no falte algún dato, si falta algún dato muestra un mensaje informativo.
- Todos los datos de salida con colocados en la Pantalla #4.
- Oculta la presente pantalla

- Muestra la pantalla #4 "Form4"

El botón variar Datos Iniciales (Button4) realiza las siguientes acciones:

- Habilita los datos de Temperatura inicial, temperatura a la salida de la turbina de gas

```
Public Class Form5
```

```
    Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles Button4.Click
```

```
        e_enerTG.Enabled = True
```

```
        temp_amb.Enabled = True
```

```
        temp_TG.Enabled = True
```

```
    End Sub
```

```
    Dim metano As Long
```

```
    Dim bioaño As Long
```

```
    Dim porcemet As Long
```

```
    Dim p_C As Long
```

```
    Dim e_ener1 As Long
```

```
    Dim aguaa As Single
```

```
    Dim Eelec_gas1 As Single
```

```
    Dim Eelec_gas2 As Single
```

```
    Dim temperatura_ambiente As Single
```

```
    Dim eficiencia_termica As Single
```

```
    Dim Eterm_1 As Long
```

```
    Dim Eterm_2 As Long
```

```
    Dim elec_vap_2 As Single
```

```
    Dim elec_vap_1 As Single
```

```
    Dim Eterm_2TV As Single
```

```
Dim Eterm_1TV As Single
Dim E_electrica_total2 As Single
Dim E_electrica_totall1 As Single
Dim E_termica_total2 As Single
Dim E_termica_totall1 As Single
Dim qganado_HRSG As Double
Dim QQ As Double
Dim qcambioestado_HRSG As Double
Dim qcedido_HRSG As Single
Dim temp_resta As Single
Dim tempsalida_HRSG As Single
Dim temp_turbgas As Long
Dim eficiencia_electr_vap As Single
Dim eficiencia_termica_vap As Single
Dim resta As Single
```

```
Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button2.Click

    e_enerTG.Enabled = False
    temp_amb.Enabled = False
    temp_TG.Enabled = False
    If e_enerTG.Text = "" Then
        MsgBox("No ingreso la eficiencia energetica de la
turbina de gas")
        If temp_TG.Text = "" Then
```

```
MsgBox("No ingreso la temperatura del gas a la
salida de la turbina de gas")

If temp_amb.Text = "" Then

    MsgBox("No ingreso la temperatura ambiente del
lugar")

End If

End If

End If

If e_enerTG.Text <> "" Then

    If temp_amb.Text <> "" Then

        If temp_TG.Text <> "" Then

            Form4.Show()

            If efele_TV.Text <> "" Then

                If ef_term_TV.Text <> "" Then

temp_turbgas = temp_TG.Text

metano = Form3.metano.Text

bioaño = Form3.biogas_año.Text

porcemet = Form3.porc_met.Text

p_C = Form3.p_cal.Text

e_ener1 = e_enerTG.Text

temperatura_ambiente = temp_amb.Value

QQ = (100 - temp_amb.Value)

qganado_HRSG = 1000 * 4180 * (100 - temp_amb.Text)

qcambioestado_HRSG = 2250000000

qcedido_HRSG = (metano * 1000 / 8760) * 1.27 * 60454

temp_resta = (qganado_HRSG + qcambioestado_HRSG) /
qcedido_HRSG

tempsalida_HRSG = temp_turbgas - temp_resta
```

```

    eficiencia_termica = 1 - (((temp_turbgas) -
(temperatura_ambiente)) / (588.15))

    aguaa = bioaño * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
61.5 / (87600 * temp_turbgas)

    Eelec_gas1 = bioaño * porcemet * p_C * e_ener1 / 100000
'columna n°2 resultados del sistema

    Eelec_gas2 = Eelec_gas1 * 1.163 / 1000 'columna n°2
resultados del sistema

    Eterm_1 = bioaño * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
61.5 / 10000

    Eterm_2 = Eterm_1 * 1.163 / 1000
eficiencia_electr_vap = 1 - (202.3 / tempsalida_HRSG)
elec_vap_2 = 50000 * eficiencia_electr_vap * 0.876
elec_vap_1 = elec_vap_2 * 1000 / 1.163

If tempsalida_HRSG < 350 And tempsalida_HRSG >= 312 Then
resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 74.285714
eficiencia_termica_vap = 17.33 - resta
Else
    If tempsalida_HRSG < 386.1 And tempsalida_HRSG >= 350
Then
        resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 70
        eficiencia_termica_vap = 17.33 - resta
    Else
        If tempsalida_HRSG >= 386.1 And tempsalida_HRSG <
386.799 Then
            eficiencia_termica_vap = 17.27

```

```
Else
    If tempsalida_HRSG >= 386.8 And tempsalida_HRSG <
387.399 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.28
Else
    If tempsalida_HRSG >= 387.4 And tempsalida_HRSG <
388.099 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.29
Else
    If tempsalida_HRSG >= 388.1 And tempsalida_HRSG <
388.699 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.3
Else
    If tempsalida_HRSG >= 388.7 And tempsalida_HRSG <
389.299 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.31
Else
    If tempsalida_HRSG >= 389.3 And tempsalida_HRSG <
389.999 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.32
Else
    If tempsalida_HRSG >= 390 And tempsalida_HRSG <
390.599 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.33
Else
    If tempsalida_HRSG >= 390.6 And tempsalida_HRSG
< 391.199 Then
    eficiencia_termica_vap = 17.34
Else
```



```
End If

End If

End If

End If

End If

Eterm_2TV = 50000 * eficiencia_termica_vap * 2 * 8760 / 10000000

Eterm_1TV = Eterm_2TV * 1000 / 1.163

E_electrica_total2 = Eelec_gas2 + elec_vap_2

E_electrica_total1 = E_electrica_total2 * 1000 / 1.163

E_termica_total2 = Eterm_2TV

E_termica_total1 = E_termica_total2 * 1000 / 1.163

End If

End If

End If

End If

End If

cant_agua_TG.Text = aguaa

temp_HRSG.Text = tempsalida_HRSG

efele_TV.Text = eficiencia_electr_vap

ef_term_TV.Text = eficiencia_termica_vap

Form4.elec_gas1.Text = Eelec_gas1

Form4.elec_gas2.Text = Eelec_gas2

Form4.term_gas1.Text = Eterm_1

Form4.term_gas2.Text = Eterm_2

Form4.elec_vap1.Text = elec_vap_1

Form4.elec_vap2.Text = elec_vap_2

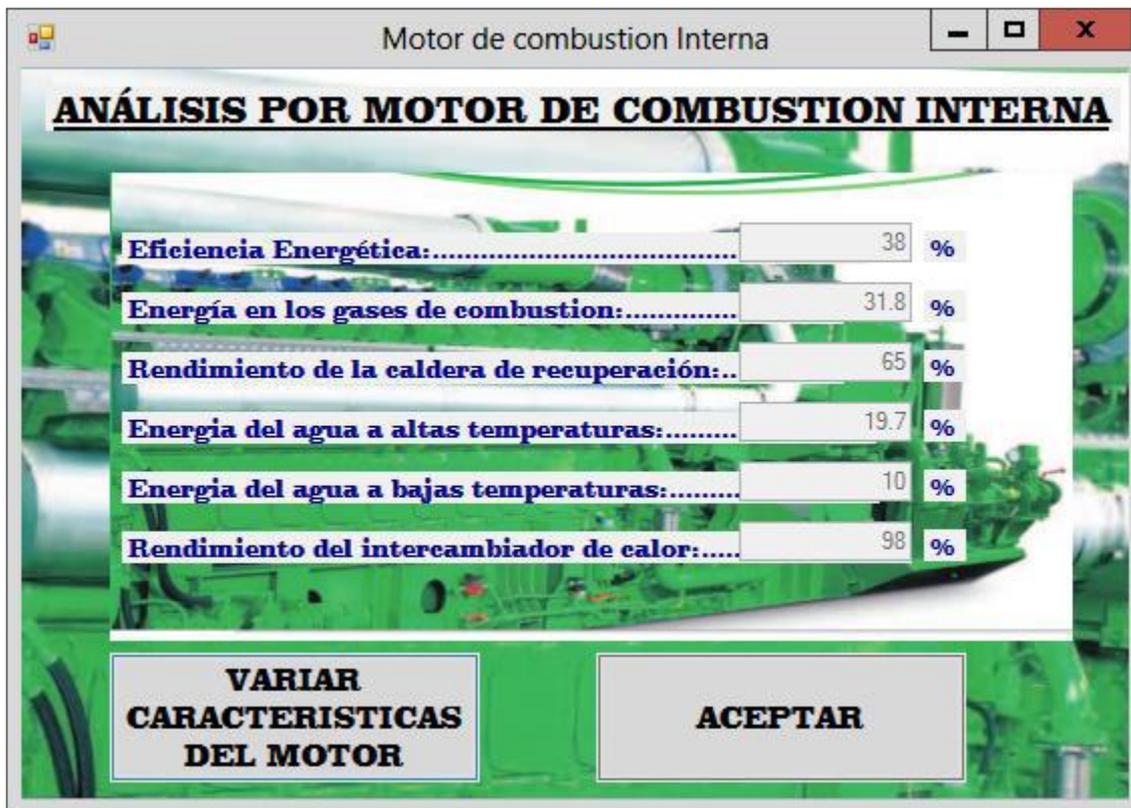
Form4.term_vap2.Text = Eterm_2TV

Form4.term_vap1.Text = Eterm_1TV
```

```
Form4.elec_tot2.Text = E_electrica_total2
Form4.elec_tot1.Text = E_electrica_total1
Form4.term_tot2.Text = E_termica_total2
Form4.term_tot1.Text = E_termica_total1
Form4.GroupBox3.Visible = True
Form4.GroupBox2.Visible = False
Form7.temp7.Value = temperatura_ambiente
Form7.temptg7.Text = temp_turbgas
Form7.temphrsg7.Text = tempsalida_HRSG
Form7.vagua7.Text = aguaa
Me.Hide()

End Sub

End Class
```

Pantalla N° 6

Métrica	Valor	Unidad
Eficiencia Energética:.....	38	%
Energía en los gases de combustión:.....	31.8	%
Rendimiento de la caldera de recuperación:..	65	%
Energía del agua a altas temperaturas:.....	19.7	%
Energía del agua a bajas temperaturas:.....	10	%
Rendimiento del intercambiador de calor:.....	98	%

**VARIAR
CARACTERISTICAS
DEL MOTOR**

ACEPTAR

La Sexta pantalla realiza el cálculo de energía térmica y energía eléctrica generada por un motor de combustión interna. Los valores ingresados son valores iniciales de acuerdo a los equipos seleccionados, mas estos se pueden varias de acuerdo a un nuevo equipo elegido.

El botón Aceptar (Button1) realiza las siguientes acciones:

- Realiza los cálculos de correspondientes de acuerdo al contenido en la tesis siempre que no falte algún dato, si falta algún dato muestra un mensaje informativo.
- Todos los datos de salida con colocados en la Pantalla #4.
- Oculta la presente pantalla
- Muestra la pantalla #4 "Form4"

El botón variar Datos Iniciales (Button4) realiza las siguientes acciones:

- Habilita los datos de Temperatura inicial, temperatura a la salida de la turbina de gas

```
Public Class Form6
```

```
    Private Sub Button4_Click(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles Button4.Click
```

```
        e_ener.Enabled = True
```

```
        e_g_c.Enabled = True
```

```
        r_c_r.Enabled = True
```

```
        e_a_t.Enabled = True
```

```
        e_a_b.Enabled = True
```

```
        r_i_c.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Dim bioaño As Long
```

```
Dim porcemet As Long
```

```
Dim p_c As Long
```

```
Dim e_ener1 As Long
```

```
Dim ener_gases_combustion As Long
```

```
Dim rend_cald_rec As Long
```

```
Dim ener_aguas_altas As Long
```

```
Dim ener_aguas_bajas As Long
```

```
Dim rend_int_calor As Long
```

```
Dim E_elec1 As Long
```

```
Dim E_elec2 As Long
```

```
Dim E_cald_rec1 As Long
```

```
Dim E_cald_rec2 As Long  
  
Dim E_aguas_altas1 As Long  
  
Dim E_aguas_altas2 As Long  
  
Dim E_aguas_bajas1 As Long  
  
Dim E_aguas_bajas2 As Long  
  
Dim E_term1 As Long  
  
Dim E_term2 As Long
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs)  
Handles Button1.Click  
  
    e_ener.Enabled = False  
  
    e_g_c.Enabled = False  
  
    r_c_r.Enabled = False  
  
    e_a_t.Enabled = False  
  
    e_a_b.Enabled = False  
  
    r_i_c.Enabled = False  
  
  
    If e_ener.Text = "" Then  
        MsgBox("No ingreso la eficiencia energetica del sistema, puede  
presionar el valores predefinidos")  
  
    If e_g_c.Text = "" Then  
        MsgBox("No ingreso la energía disponible disipada en los gases de  
combustión, puede presionar valores predefinidos ")  
  
    If r_c_r.Text = "" Then  
        MsgBox("No ingreso el rendimiento de la caldera de  
recuperacion, puede presionar el boton valores predefinidos ")  
  

```

```
If e_a_t.Text = "" Then
MsgBox("No ingreso la energia disponible en agua a altas
temperaturas (90°C-99°C) ")

If e_a_b.Text = "" Then
MsgBox("No ingreso la energia disponible en agua a bajas
temperaturas (hasta 50°C) ")

If r_i_c.Text = "" Then
MsgBox("No ingreso el rendimiento del intercambiador de calor ")
End If

If e_ener.Text <> "" Then
  If e_g_c.Text <> "" Then
    If r_c_r.Text <> "" Then
      If e_a_t.Text <> "" Then
        If e_a_b.Text <> "" Then
          If r_i_c.Text <> "" Then
            bioaño = Form3.biogas_año.Text
            porcemet = Form3.porc_met.Text
            p_c = Form3.p_cal.Text
```

```

e_ener1 = e_ener.Text 'columna n°1 características del
motor

ener_gases_combustion = e_g_c.Text 'columna n°1
características del motor

rend_cald_rec = r_c_r.Text 'columna n°1 características
del motor

ener_aguas_altas = e_a_t.Text 'columna n°1
características del motor

ener_aguas_bajas = e_a_b.Text 'columna n°1
características del motor

rend_int_calor = r_i_c.Text 'columna n°1 características
del motor

E_elec1 = (bioaño * porcemet * p_c * e_ener1) / 10000
'columna n°2 resultados del sistema

E_elec2 = E_elec1 * 1.163 / 1000 'columna n°2 resultados
del sistema

E_cald_rec1 = bioaño * porcemet * p_c *
ener_gases_combustion * rend_cald_rec / 1000000
'columna n°2 resultados del sistema

E_cald_rec2 = E_cald_rec1 * 1.163 / 1000 'columna n°2
resultados del sistema

E_aguas_altas1 = bioaño * porcemet * p_c *
ener_aguas_altas * rend_int_calor / 1000000 'columna n°2 resultados
del sistema

E_aguas_altas2 = E_aguas_altas1 * 1.163 / 1000 'columna
n°2 resultados del sistema

E_aguas_bajas1 = bioaño * porcemet * p_c *
ener_aguas_bajas * rend_int_calor / 100000 'columna n°2 resultados
del sistema

```

```
        E_aguas_bajas2 = E_aguas_bajas1 * 1.163 / 1000 'columna
n°2 resultados del sistema

        E_term1 = E_cald_rec1 + E_aguas_altas1 + E_aguas_bajas1
'columna n°2 resultados del sistema

        E_term2 = E_cald_rec2 + E_aguas_altas2 + E_aguas_bajas2
'columna n°2 resultados del sistema

    End If

    End If

    End If

    End If

    End If

    End If

    Form4.E_El1.Text = E_elec1
    Form4.E_El2.Text = E_elec2
    Form4.E_Tcr1.Text = E_cald_rec1
    Form4.E_Tcr2.Text = E_cald_rec2
    Form4.E_Tat1.Text = E_aguas_altas1
    Form4.E_Tat2.Text = E_aguas_altas2
    Form4.E_Tbt1.Text = E_aguas_bajas1
    Form4.E_Tbt2.Text = E_aguas_bajas2
    Form4.E_Et1.Text = E_term1
    Form4.E_Et2.Text = E_term2
    Me.Close()

    Form4.GroupBox2.Visible = True
    Form4.GroupBox3.Visible = False

    End Sub

End Class
```

Pantalla N° 7

Energía Eléctrica Total 4350.6996
Energía Térmica Total 173.19999

[Si sale un error. Click aquí](#)

Id_ciudad	Nombre_Ciudad	Cantidad_de_Habit.	Energia_Termica_T	Energia_Electrica_T	Energia_Termica	Energia_Electrica	Temperatura	Sistema
6	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	1.8	Ciclo Combinado
7	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	1.4	Ciclo Combinado
8	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	1.8	Ciclo Combinado
9	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	5.6	Ciclo Combinado
10	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	7.4	Ciclo Combinado
11	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	9.1	Ciclo Combinado
12	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	10.6	Ciclo Combinado
13	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	11.9	Ciclo Combinado
14	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	12.8	Ciclo Combinado
15	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	13.6	Ciclo Combinado
16	Puno	140839	19779	1946.39612	173.2	2405.17578	13.6	Ciclo Combinado

La Septima pantalla realiza el cálculo de energía térmica y energía eléctrica generada por tecnología de ciclo combinado. Estos valores van variando de acuerdo a las entradas como cantidad de biogás temperatura ambiente. Los valores de salida como energía eléctrica y energía térmica ira variando en tiempo real de acuerdo a las entradas ingresadas. Como código de programación lo visto en las pantallas 4,5 y 6. Esta pantalla adicionalmente cuenta con un botón de añadir el cual tiene como objetivo añadir los datos obtenidos en una base de datos "Archivo en Access Point". Para lo cual tiene como objetivo tener un historial. A Continuacion el código.

```
Public Class Form7
```

```
    Private Sub Form7_Load(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles MyBase.Activated
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
    Me.Hide()
```

```
    Form4.Show()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub canthab7_ValueChanged(sender As Object, e As  
EventArgs) Handles canthab7.ValueChanged
```

```
    Dim canthab As Long
```

```
    Dim ls As Long
```

```
    Dim bio As Long
```

Dim temp_turbgas As Single

Dim metano10 As Single

Dim bioaño10 As Long

Dim porcemet As Long

Dim p_C As Long

Dim e_ener1 As Long

Dim aguaa As Single

Dim Eelec_gas17 As Single

Dim Eelec_gas27 As Single

Dim temperatura_ambiente As Single

Dim eficiencia_termica As Single

Dim Eterm_1 As Long

Dim Eterm_2 As Long

Dim elec_vap_27 As Single

Dim elec_vap_17 As Single

Dim Eterm_2TV7 As Single

Dim Eterm_1TV7 As Single

Dim E_electrica_total27 As Single

Dim E_electrica_total17 As Single

Dim E_termica_total27 As Single

Dim E_termica_total17 As Single

Dim qganado_HRSG As Double

Dim QQ As Double

Dim qcambioestado_HRSG As Double

Dim qcedido_HRSG As Single

Dim temp_resto As Single

Dim tempsalida_HRSG As Single

Dim eficiencia_electr_vap As Single

```
Dim eficiencia_termica_vap7 As Single

Dim resta As Single

Dim lh As Single

Dim mo As Single

Dim bioaño As Single

Dim met As Single

canthab = canthab7.Value

lh = canthab / 1.2 'columna n°1 resultados

ls = canthab / 2.35 'columna n°1 resultados

mo = lh / 9.9085 'columna n°1 resultados

porcemet = Form3.porc_met.Text

bio = ls / 3.03 'columna n°1 resultados

bioaño = bio * 365 / 1000 'columna n°1 resultados

cantbio7.Value = bio

met = bioaño * porcemet / 100 'columna n°1 resultados

temp_turbgas = Form5.temp_TG.Text

metano10 = met

bioaño10 = bioaño

p_C = Form3.p_cal.Text

e_ener1 = Form5.e_enerTG.Text

temperatura_ambiente = temp7.Value

QQ = (100 - temp7.Value)

qganado_HRSG = 1000 * 4180 * (100 - temperatura_ambiente)

qcambioestado_HRSG = 2250000000
```

```

qcedido_HRSG = (metano10 * 1000 / 8760) * 1.27 * 60454

temp_resta = (qganado_HRSG + qcambioestado_HRSG) /
qcedido_HRSG

tempsalida_HRSG = temp_turbgas - temp_resta

eficiencia_termica = 1 - (((temp_turbgas) -
(temperatura_ambiente)) / (588.15))

aguaa = bioaño10 * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
61.5 / (87600 * temp_turbgas)

Eelec_gas17 = bioaño10 * porcemet * p_C * e_ener1 / 100000
'columna n°2 resultados del sistema

Eelec_gas27 = Eelec_gas17 * 1.163 / 1000 'columna n°2
resultados del sistema

Eterm_1 = bioaño10 * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
61.5 / 10000

Eterm_2 = Eterm_1 * 1.163 / 1000

eficiencia_electr_vap = 1 - (202.3 / tempsalida_HRSG)

elec_vap_27 = 50000 * eficiencia_electr_vap * 0.876

elec_vap_17 = elec_vap_27 * 1000 / 1.163

If tempsalida_HRSG < 350 And tempsalida_HRSG >= 312 Then
    resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 74.285714
    eficiencia_termica_vap7 = 17.33 - resta
Else
    If tempsalida_HRSG < 386.1 And tempsalida_HRSG >= 350 Then
        resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 70
        eficiencia_termica_vap7 = 17.33 - resta

```

```
Else
    If tempsalida_HRSG >= 386.1 And tempsalida_HRSG < 386.799
Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.27
Else
    If tempsalida_HRSG >= 386.8 And tempsalida_HRSG <
387.399 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.28
Else
    If tempsalida_HRSG >= 387.4 And tempsalida_HRSG <
388.099 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.29
Else
    If tempsalida_HRSG >= 388.1 And tempsalida_HRSG <
388.699 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.3
Else
    If tempsalida_HRSG >= 388.7 And tempsalida_HRSG <
389.299 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.31
Else
    If tempsalida_HRSG >= 389.3 And tempsalida_HRSG <
389.999 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.32
Else
    If tempsalida_HRSG >= 390 And tempsalida_HRSG <
390.599 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.33
Else
```

```
If tempsalida_HRSG >= 390.6 And tempsalida_HRSG <
391.199 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.34
Else
    If tempsalida_HRSG >= 391.2 And tempsalida_HRSG
< 391.799 Then
        eficiencia_termica_vap7 = 17.35
    Else
        If tempsalida_HRSG >= 391.8 And tempsalida_HRSG
< 392.399 Then
            eficiencia_termica_vap7 = 17.36
        Else
            If tempsalida_HRSG >= 392.4 And
tempsalida_HRSG < 392.899 Then
                eficiencia_termica_vap7 = 17.37
            Else
                If tempsalida_HRSG >= 392.9 And
tempsalida_HRSG < 392.499 Then
                    eficiencia_termica_vap7 = 17.38
                End If
                If tempsalida_HRSG >= 392.5 And
tempsalida_HRSG < 448 Then
                    resta = (tempsalida_HRSG - 390) / 58
                    eficiencia_termica_vap7 = 17.33 + resta
                End If
            End If
        End If
    End If
End If
```

```

        End If

        Eterm_2TV7 = 50000 * eficiencia_termica_vap7 * 2 * 8760 /
10000000

        Eterm_1TV7 = Eterm_2TV7 * 1000 / 1.163

        E_electrica_total27 = Eelec_gas27 + elec_vap_27

        E_electrica_total17 = E_electrica_total27 * 1000 / 1.163

        E_termica_total27 = Eterm_2TV7

        E_termica_total17 = E_termica_total27 * 1000 / 1.163

        eetotal7.Text = 1000 / 8760 * E_electrica_total27

        etttotal7.Text = 1000 / 8760 * E_termica_total27

        vaguea7.Text = aguaa

        temphrsg7.Text = tempsalida_HRSG

        temptg7.Text = temp_turbgas

End Sub

Private Sub cantbio7_ValueChanged(sender As Object, e As
EventArgs) Handles cantbio7.ValueChanged

```

Dim bio As Single
Dim bioaño As Single
Dim porcemet As Single
Dim met As Single
Dim temp_turbgas As Single
Dim metano10 As Single
Dim bioaño10 As Single
Dim p_C As Single
Dim e_ener1 As Single
Dim temperatura_ambiente

Dim aguaa As Single
Dim Eelec_gas17 As Single
Dim Eelec_gas27 As Single
Dim eficiencia_termica As Single
Dim Eterm_1 As Long
Dim Eterm_2 As Long
Dim elec_vap_27 As Single
Dim elec_vap_17 As Single
Dim Eterm_2TV7 As Single
Dim Eterm_1TV7 As Single
Dim E_electrica_total27 As Single
Dim E_electrica_total17 As Single
Dim E_termica_total27 As Single
Dim E_termica_total17 As Single
Dim qganado_HRSG As Double
Dim QQ As Double
Dim qcambioestado_HRSG As Double
Dim qcedido_HRSG As Single

```

Dim temp_resta As Single

Dim tempsalida_HRSG As Single

Dim eficiencia_electr_vap As Single

Dim eficiencia_termica_vap7 As Single

Dim resta As Single
  
```

```

bio = cantbio7.Value

bioaño = bio * 365 / 1000 'columna n°1 resultados

porcemet = Form3.porc_met.Text 'columna n°1 características
del metano

met = bioaño * porcemet / 100 'columna n°1 resultados

temp_turbgas = Form5.temp_TG.Text

metano10 = met

bioaño10 = bioaño

p_C = Form3.p_cal.Text

e_ener1 = Form5.e_enerTG.Text

temperatura_ambiente = temp7.Value

QQ = (100 - temp7.Value)

qganado_HRSG = 1000 * 4180 * (100 - temperatura_ambiente)

qcambioestado_HRSG = 2250000000

qcedido_HRSG = (metano10 * 1000 / 8760) * 1.27 * 60454

temp_resta = (qganado_HRSG + qcambioestado_HRSG) /
qcedido_HRSG

tempsalida_HRSG = temp_turbgas - temp_resta
  
```

```

    eficiencia_termica = 1 - (((temp_turbgas) -
(temperatura_ambiente)) / (588.15))

    aguaa = bioaño10 * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
61.5 / (87600 * temp_turbgas)

    Eelec_gas17 = bioaño10 * porcemet * p_C * e_ener1 / 100000
'columna n°2 resultados del sistema

    Eelec_gas27 = Eelec_gas17 * 1.163 / 1000 'columna n°2
resultados del sistema

    Eterm_1 = bioaño10 * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
61.5 / 10000

    Eterm_2 = Eterm_1 * 1.163 / 1000

    eficiencia_electr_vap = 1 - (202.3 / tempsalida_HRSG)

    elec_vap_27 = 50000 * eficiencia_electr_vap * 0.876

    elec_vap_17 = elec_vap_27 * 1000 / 1.163

If tempsalida_HRSG < 350 And tempsalida_HRSG >= 312 Then
    resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 74.285714
    eficiencia_termica_vap7 = 17.33 - resta
Else
    If tempsalida_HRSG < 386.1 And tempsalida_HRSG >= 350 Then
        resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 70
        eficiencia_termica_vap7 = 17.33 - resta
    Else
        If tempsalida_HRSG >= 386.1 And tempsalida_HRSG < 386.799
Then
            eficiencia_termica_vap7 = 17.27

```

```
Else
    If tempsalida_HRSG >= 386.8 And tempsalida_HRSG <
387.399 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.28
Else
    If tempsalida_HRSG >= 387.4 And tempsalida_HRSG <
388.099 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.29
Else
    If tempsalida_HRSG >= 388.1 And tempsalida_HRSG <
388.699 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.3
Else
    If tempsalida_HRSG >= 388.7 And tempsalida_HRSG <
389.299 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.31
Else
    If tempsalida_HRSG >= 389.3 And tempsalida_HRSG <
389.999 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.32
Else
    If tempsalida_HRSG >= 390 And tempsalida_HRSG <
390.599 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.33
Else
    If tempsalida_HRSG >= 390.6 And tempsalida_HRSG <
391.199 Then
    eficiencia_termica_vap7 = 17.34
Else
```



```
End If

End If

End If

End If

End If

Eterm_2TV7 = 50000 * eficiencia_termica_vap7 * 2 * 8760 /
10000000

Eterm_1TV7 = Eterm_2TV7 * 1000 / 1.163
E_electrica_total27 = Eelec_gas27 + elec_vap_27
E_electrica_total17 = E_electrica_total27 * 1000 / 1.163
E_termica_total27 = Eterm_2TV7
E_termica_total17 = E_termica_total27 * 1000 / 1.163

eetg7.Text = 1000 / 8760 * Eelec_gas27
eetv7.Text = 1000 / 8760 * elec_vap_27
ettv7.Text = 1000 / 8760 * Eterm_2TV7
ettg7.Text = 1000 / 8760 * Eterm_2

eetotal7.Text = 1000 / 8760 * E_electrica_total27
etttotal7.Text = 1000 / 8760 * E_termica_total27
vagua7.Text = aguaa
temphrsg7.Text = tempsalida_HRSG
temptg7.Text = temp_turbgas
```

```
End Sub
```

```
Private Sub temp7_ValueChanged(sender As Object, e As
EventArgs) Handles temp7.ValueChanged

    Dim bio As Single

    Dim bioaño As Single

    Dim porcemet As Single

    Dim met As Single

    Dim temp_turbgas As Single

    Dim metano10 As Single

    Dim bioaño10 As Single

    Dim p_C As Single

    Dim e_ener1 As Single

    Dim temperatura_ambiente

    Dim aguaa As Single

    Dim Eelec_gas17 As Single

    Dim Eelec_gas27 As Single

    Dim eficiencia_termica As Single

    Dim Eterm_1 As Long

    Dim Eterm_2 As Long

    Dim elec_vap_27 As Single

    Dim elec_vap_17 As Single

    Dim Eterm_2TV7 As Single

    Dim Eterm_1TV7 As Single

    Dim E_electrica_total27 As Single

    Dim E_electrica_total17 As Single

    Dim E_termica_total27 As Single

    Dim E_termica_total17 As Single

    Dim qganado_HRSG As Double

    Dim QQ As Double
```

```

Dim qcambioestado_HRSG As Double

Dim qcedido_HRSG As Single

Dim temp_resta As Single

Dim tempsalida_HRSG As Single

Dim eficiencia_electr_vap As Single

Dim eficiencia_termica_vap7 As Single

Dim resta As Single

```

```

bio = cantbio7.Value

bioaño = bio * 365 / 1000 'columna n°1 resultados

porcemet = Form3.porc_met.Text 'columna n°1 características
del metano

met = bioaño * porcemet / 100 'columna n°1 resultados

temp_turbgas = Form5.temp_TG.Text

metano10 = met

bioaño10 = bioaño

p_C = Form3.p_cal.Text

e_ener1 = Form5.e_enerTG.Text

temperatura_ambiente = temp7.Value

QQ = (100 - temp7.Value)

qganado_HRSG = 1000 * 4180 * (100 - temperatura_ambiente)

qcambioestado_HRSG = 2250000000

qcedido_HRSG = (metano10 * 1000 / 8760) * 1.27 * 60454

temp_resta = (qganado_HRSG + qcambioestado_HRSG) /
qcedido_HRSG

```

```

    tempsalida_HRSG = temp_turbgas - temp_resta

    eficiencia_termica = 1 - (((temp_turbgas) -
    (temperatura_ambiente)) / (588.15))

    aguaa = bioaño10 * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
    61.5 / (87600 * temp_turbgas)

    Eelec_gas17 = bioaño10 * porcemet * p_C * e_ener1 / 100000
'columna n°2 resultados del sistema

    Eelec_gas27 = Eelec_gas17 * 1.163 / 1000 'columna n°2
resultados del sistema

    Eterm_1 = bioaño10 * porcemet * p_C * eficiencia_termica *
    61.5 / 10000

    Eterm_2 = Eterm_1 * 1.163 / 1000

    eficiencia_electr_vap = 1 - (202.3 / tempsalida_HRSG)

    elec_vap_27 = 50000 * eficiencia_electr_vap * 0.876

    elec_vap_17 = elec_vap_27 * 1000 / 1.163

    If tempsalida_HRSG < 350 And tempsalida_HRSG >= 312 Then
        resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 74.285714
        eficiencia_termica_vap7 = 17.33 - resta
    Else
        If tempsalida_HRSG < 386.1 And tempsalida_HRSG >= 350 Then
            resta = (390 - tempsalida_HRSG) / 70
            eficiencia_termica_vap7 = 17.33 - resta
        Else
            If tempsalida_HRSG >= 386.1 And tempsalida_HRSG < 386.799
Then

```

```
eficiencia_termica_vap7 = 17.27

Else

    If tempsalida_HRSG >= 386.8 And tempsalida_HRSG <
387.399 Then

        eficiencia_termica_vap7 = 17.28

    Else

        If tempsalida_HRSG >= 387.4 And tempsalida_HRSG <
388.099 Then

            eficiencia_termica_vap7 = 17.29

        Else

            If tempsalida_HRSG >= 388.1 And tempsalida_HRSG <
388.699 Then

                eficiencia_termica_vap7 = 17.3

            Else

                If tempsalida_HRSG >= 388.7 And tempsalida_HRSG <
389.299 Then

                    eficiencia_termica_vap7 = 17.31

                Else

                    If tempsalida_HRSG >= 389.3 And tempsalida_HRSG <
389.999 Then

                        eficiencia_termica_vap7 = 17.32

                    Else

                        If tempsalida_HRSG >= 390 And tempsalida_HRSG <
390.599 Then

                            eficiencia_termica_vap7 = 17.33

                        Else

                            If tempsalida_HRSG >= 390.6 And tempsalida_HRSG <
391.199 Then

                                eficiencia_termica_vap7 = 17.34
```

```
Else
    If tempsalida_HRSG >= 391.2 And tempsalida_HRSG <
391.799 Then
        eficiencia_termica_vap7 = 17.35
    Else
        If tempsalida_HRSG >= 391.8 And tempsalida_HRSG
< 392.399 Then
            eficiencia_termica_vap7 = 17.36
        Else
            If tempsalida_HRSG >= 392.4 And tempsalida_HRSG
< 392.899 Then
                eficiencia_termica_vap7 = 17.37
            Else
                If tempsalida_HRSG >= 392.9 And
tempsalida_HRSG < 392.499 Then
                    eficiencia_termica_vap7 = 17.38
                End If
                If tempsalida_HRSG >= 392.5 And
tempsalida_HRSG < 448 Then
                    resta = (tempsalida_HRSG - 390) / 58
                    eficiencia_termica_vap7 = 17.33 + resta
                End If
            End If
        End If
    End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
```

```
End If

End If

End If

End If

End If

End If

Eterm_2TV7 = 50000 * eficiencia_termica_vap7 * 2 * 8760 /
10000000

Eterm_1TV7 = Eterm_2TV7 * 1000 / 1.163
E_electrica_total27 = Eelec_gas27 + elec_vap_27
E_electrica_total17 = E_electrica_total27 * 1000 / 1.163
E_termica_total27 = Eterm_2TV7
E_termica_total17 = E_termica_total27 * 1000 / 1.163

eetotal7.Text = 1000 / 8760 * E_electrica_total27
ettotal7.Text = 1000 / 8760 * E_termica_total27
vagua7.Text = aguaa
temphrsg7.Text = tempsalida_HRSG
temptg7.Text = temp_turbgas

End Sub

Private Sub TESISBDBindingNavigatorSaveItem_Click(sender As
Object, e As EventArgs) Handles
TESISBDBindingNavigatorSaveItem.Click

Me.Validate()

Me.TESISBDBindingSource.EndEdit()
```

```
Me.TableAdapterManager.UpdateAll (Me.TesisbdDataSet)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form7_Load_1(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles MyBase.Load
```

```
'TODO: esta línea de código carga datos en la tabla  
'TesisbdDataSet.TESISBD' Puede moverla o quitarla según sea  
necesario.
```

```
Me.TESISBDTableAdapter.Fill (Me.TesisbdDataSet.TESISBD)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
Handles Button2.Click
```

```
Me.TESISBDTableAdapter.INSERTAR (numer7.Text,  
Form2.nombre_ciudad.Text, canthab7.Text, cantbio7.Text, ettg7.Text,  
ettv7.Text, eetg7.Text, eetv7.Text, etttotal7.Text, eetotal7.Text,  
temp7.Value, cog7.Text)
```

```
Me.TESISBDTableAdapter.Fill (Me.TesisbdDataSet.TESISBD)
```

```
Dim numero As Single
```

```
If numero < 100 Then
```

```
numero = numer7.Text
```

```
numero = numero + 1
```

```
End If
```

```
numer7.Text = numero
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ImprimirToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e
As EventArgs) Handles ImprimirToolStripMenuItem.Click

    Me.Validate()

    Me.TESISBDBindingSource.EndEdit()

    Me.TableAdapterManager.UpdateAll(Me.TesisbdDataSet)

End Sub
```

```
Private Sub InicioToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e
As EventArgs) Handles InicioToolStripMenuItem.Click

    Form1.Show()

End Sub
```

```
Private Sub DatosInicialesToolStripMenuItem_Click(sender As
Object, e As EventArgs) Handles
DatosInicialesToolStripMenuItem.Click

    Form2.Show()

End Sub
```

```
Private Sub BiogasYMetanoToolStripMenuItem_Click(sender As
Object, e As EventArgs) Handles
BiogasYMetanoToolStripMenuItem.Click

    Form3.Show()

End Sub
```

```
Private Sub CicloCombinadoToolStripMenuItem_Click(sender As
Object, e As EventArgs) Handles
CicloCombinadoToolStripMenuItem.Click
```

```
Form5.Show()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MotorDeCombustionToolStripMenuItem_Click(sender As  
Object, e As EventArgs) Handles
```

```
MotorDeCombustionToolStripMenuItem.Click
```

```
Form6.Show()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CerrarToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e  
As EventArgs) Handles CerrarToolStripMenuItem.Click
```

```
Close()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub GuardarToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e  
As EventArgs) Handles GuardarToolStripMenuItem.Click
```

```
Form8.Show()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Button1_Click_1(sender As Object, e As EventArgs)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BindingNavigatorDeleteItem_Click(sender As Object,  
e As EventArgs) Handles BindingNavigatorDeleteItem.Click
```

```
End Sub
```

```
Private Sub LinkLabel1_LinkClicked(sender As Object, e As
LinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked

    Form9.Show()

End Sub

Private Sub AbrirDocumentoToolStripMenuItem_Click(sender As
Object, e As EventArgs)

    Shell("explorer.exe
root=C:\Users\Usuario\AppData\Local\Apps\2.0\Data\JGG2GNZV.834\9LN6
GR9C.7YV\tesi..tion_0000000000000000_0001.0000_bffa770da050d996\Dat
a\tesisbd.accdb", vbNormalFocus)

End Sub

End Class
```

Anexo 6 Base de Datos Obtenida por Software

Id_ciudad	bre_Ci	Temperatura	Energia_Termin	Energia_Electrica	Sistema
1	Puno	5	173,1	4348,056	Ciclo Combinado
2	Puno	4,6	173,1	4347,762	Ciclo Combinado
3	Puno	3,5	173,1	4346,954	Ciclo Combinado
4	Puno	2,8	173,1	4346,438	Ciclo Combinado
5	Puno	2,1	173,1	4345,923	Ciclo Combinado
6	Puno	1,8	173,1	4345,702	Ciclo Combinado
7	Puno	1,4	173,1	4345,408	Ciclo Combinado
8	Puno	1,8	173,1	4345,702	Ciclo Combinado
9	Puno	5,6	173,2	4348,497	Ciclo Combinado
10	Puno	7,4	173,2	4349,819	Ciclo Combinado
11	Puno	9,1	173,2	4351,066	Ciclo Combinado
12	Puno	10,6	173,2	4352,166	Ciclo Combinado
13	Puno	11,9	173,3	4353,118	Ciclo Combinado
14	Puno	12,8	173,3	4353,776	Ciclo Combinado
15	Puno	13,6	173,3	4354,362	Ciclo Combinado
16	Puno	13,6	173,3	4354,362	Ciclo Combinado
17	Puno	13,5	173,3	4354,289	Ciclo Combinado
18	Puno	12,3	173,3	4353,41	Ciclo Combinado
19	Puno	10	173,2	4351,726	Ciclo Combinado
20	Puno	8,8	173,2	4350,846	Ciclo Combinado
21	Puno	9,1	173,2	4351,066	Ciclo Combinado
22	Puno	8,1	173,2	4350,333	Ciclo Combinado
23	Puno	6,5	173,2	4349,158	Ciclo Combinado
24	Puno	6,2	173,2	4348,938	Ciclo Combinado
25	Puno	5,6	173,2	4348,497	Ciclo Combinado
26	Puno	4,9	173,1	4347,982	Ciclo Combinado
27	Puno	4,1	173,1	4347,395	Ciclo Combinado
28	Puno	3,1	173,1	4346,659	Ciclo Combinado
29	Puno	2,7	173,1	4346,365	Ciclo Combinado
30	Puno	1,6	173,1	4345,555	Ciclo Combinado
31	Puno	1,4	173,1	4345,408	Ciclo Combinado
32	Puno	1,9	173,1	4345,776	Ciclo Combinado
33	Puno	5,7	173,2	4348,571	Ciclo Combinado
34	Puno	7,5	173,2	4349,893	Ciclo Combinado
35	Puno	9,4	173,2	4351,286	Ciclo Combinado