

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA
LICENCIATURA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN (TFG):
Rediseño del sistema de vapor de la empresa Caminos del Sol S.A.**

ÁREA DE CONOCIMIENTO:

Termofluidos

REALIZADO POR:

José Pablo Varela Bonilla

Cartago, noviembre 2024



Carrera evaluada y acreditada por:

Agencia de Acreditación de programas de Ingeniería y de Arquitectura - AAPIA

Datos personales

Nombre completo: José Pablo Varela Bonilla.

Número de cedula: 3-0511-0647

Número de carné: 2017139002

Número de teléfono: 8763-6798

Correos electrónicos: jpvb98@estudiantec.cr , jpvb98@gmail.com

Dirección de domicilio: Residencial el Molino del Registro Civil 150m sur y 175m al oeste, distrito Occidental, cantón Cartago, provincia Cartago.

Datos de la empresa

Nombre: Caminos del Sol S.A.

Actividad principal: Agroindustrial.

Dirección: 400m oeste del cruce Cot-Pacayas, carretera al Volcán Irazú.

Contacto: Nelson Blanco Gómez, nblanco@caminosdelsol.net

Teléfono: 2536-7136

Rediseño del sistema de vapor de la empresa Caminos del Sol S.A © 2024 by José Pablo Varela Bonilla is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Cot, Oreamuno, 3 de mayo del año 2024

Señor:

Sebastián Mata Ortega

Coordinador de práctica profesional

Escuela de ingeniería electromecánica del TEC

Señor (a):

Yo Ing. Nelson Blanco Gómez portador del documento de identidad numero 2-0520-0285 en calidad de Gerente de Operaciones de la empresa Caminos del Sol, hago constar que hemos aceptado al señor:

Nombre: Jose Pablo Varela Bonilla

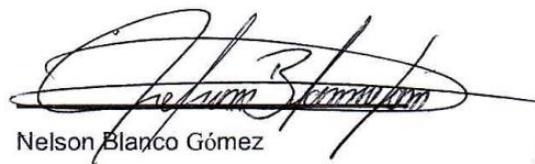
Numero de cedula: 3-0511-0647

Numero de carne de estudiante: 2017139002

Para que realice su trabajo final de graduación en nuestra empresa Caminos del Sol S.A. El trabajo se titula:

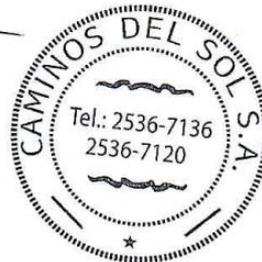
“Rediseño del sistema de vapor de la empresa Caminos del Sol”

Mismo que nos ayudara con temas de recolección de información, diagnóstico, rediseño y recomendaciones de instalaciones de sistemas de vapor.



Nelson Blanco Gómez

* Gerente de Operaciones



Resumen: Este proyecto consiste en realizar un rediseño del sistema de vapor de la empresa Caminos del Sol S.A. la cual se encuentra en un muy mal estado. Entre los problemas más importantes que genera el sistema de distribución de vapor se encuentra una gran pérdida de calor debido a la falta de aislante o aislante que se encuentra en pésimo estado, fugas de vapor que no son arregladas, también debido a como se encuentra diseñado el sistema la producción de pastas vegetales está dividida en diferentes plantas lo cual genera problemas de planeación y control de la producción. A continuación, se realiza mediante un estudio el efecto que tendría el reemplazar o poner aislante en todas las tuberías, cambiar la localización de los componentes, utilizar diámetros de tubería que no estén sobredimensionados. Por otra parte, se necesitó realizar un estudio de la demanda de vapor de los componentes y realización de planos del sistema actual debido a la falta de documentación de la empresa. Por último, se realizó un análisis financiero para evaluar la factibilidad de realizar el rediseño y también se realizó un sistema de pasos para la implementación de este, de forma que afecte de la menor manera a la producción.

Palabras clave: Aislamiento térmico, Caldera, Pérdidas de calor, reducción de emisiones.

Abstract: This project consists of redesigning the steam system of the company Caminos del Sol S.A., which is in very poor condition. Among the most important issues caused by the steam distribution system are significant heat losses due to the lack of insulation or insulation in very poor condition, steam leaks that are not fixed, and, due to the way the system is designed, the production of vegetable pastes is divided across different plants, leading to planning and production control problems. A study was conducted to analyze the effects of replacing or adding insulation to all the pipes, changing the location of components, and using appropriately sized pipe diameters instead of oversized ones. Additionally, a steam demand study for the system's components was required, along with the creation of system schematics due to the lack of documentation from the company. Finally, a financial analysis was carried out to assess the feasibility of the redesign, and a step-by-step implementation plan was developed to minimize its impact on production.

Keywords: Thermal insulation, Boiler, Heat losses, Emission reduction.

Índice General

<i>Introducción</i>	8
<i>Reseña de la empresa</i>	9
<i>Antecedentes</i>	11
<i>Planteamiento del problema</i>	13
<i>Establecimientos de Objetivos</i>	15
<i>Justificación</i>	16
<i>Alcance</i>	17
<i>Viabilidad</i>	19
<i>Administración del Riesgo</i>	20
<i>Metodología</i>	21
<i>Marco teórico</i>	24
<i>Diseño</i>	31
<i>Análisis de costos</i>	48
<i>Implementación</i>	50
<i>Conclusiones</i>	52
<i>Recomendaciones</i>	53
<i>Bibliografía</i>	54
<i>Apéndice</i>	57

Índice Tablas

<i>Tabla No 1. El debiera y la realidad de la empresa.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla No 2. Metodología.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla No 3. Factores de presión.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla No 4. Calor específico de diferentes productos.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla No 5. Diámetros de segmentos de tubería principal.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla No 6. Diámetros de tubería que alimentan equipos.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla No 7. Costo por fugas.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla No 8. Consumo de los equipos.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla No 9. Diámetros de tubería.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla No 10. Costos de componentes.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla No 11. Análisis de rentabilidad.</i>	<i>49</i>

Índice Figuras

<i>Figura No 1. Diagrama del proceso productivo del plátano.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura No 2. Diagrama del proceso productivo de copitas.</i>	<i>10</i>
<i>Figura No 3. Diagrama del proceso productivo de pastas.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura No 4. Diámetros de la tubería.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura No 5. Esquema de maquinaria de Planta 1 y Planta 2.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura No 6. Tanque de agua 1.</i>	<i>33</i>
<i>Figura No 7. Tanque de agua 2.</i>	<i>33</i>
<i>Figura No 8. Autoclave.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura No 9. Marmita 1.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura No 10. Marmita mezcladora.</i>	<i>35</i>
<i>Figura No 11. Empaquetadora de copitas.</i>	<i>35</i>
<i>Figura No 12. Calentadora de Agua 1.</i>	<i>36</i>
<i>Figura No 13. Calentadora de Agua 2.</i>	<i>36</i>
<i>Figura No 14. Calentadora de Agua 3.</i>	<i>36</i>
<i>Figura No 15. Calentador de Búnker C.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura No 16. Freidora de plátano.</i>	<i>37</i>
<i>Figura No 17. Marmita 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura No 18. Marmita 3.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura No 19. Caldera Tai Sin.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura No 20. Caldera Cleaver Brooks y su eficiencia.</i>	<i>39</i>
<i>Figura No 21. fuga 1.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura No 22. fuga 2.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura No 23. fuga 3.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura No 24. Ejemplos de mal aislamiento del sistema de vapor.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura No 25. Esquema de distribución de tuberías de vapor.</i>	<i>44</i>

Introducción

El siguiente proyecto se realiza como el Trabajo Final de Graduación de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento Industrial para obtener el título de *Licenciatura*. Este proyecto trata temas del área de conocimiento de termofluidos de la carrera de Mantenimiento Industrial y estudiará el sistema de distribución de vapor para la empresa Caminos del Sol S.A. para su evaluación. Entre algunos de los problemas detectados se encuentra que las instalaciones son bastantes viejas, hay fugas, también diámetros de tuberías incorrectos, falta de aislante en diferentes partes, falta de sistemas de recuperación de calor, y falta de procedimientos para la optimización del funcionamiento de la caldera y consumo de energía, entre otros.

El método por emplear es la realización de un diagnóstico completo del sistema de vapor para poder identificar oportunidades de mejora y poder plantear un rediseño de una nueva red del sistema de vapor. Para lo cual, se evaluó el proceso de transferencia de vapor desde la caldera hacia cada nodo o elemento esencial de la planta, esto lleva a la evaluación de los flujos máxicos necesarios de los equipos más importantes y la optimización del método de traslado, revisión de diámetros, sistemas de purgado y sistemas de retorno de condensado, sin dejar de lado la instalación operativa, el mantenimiento autónomo y según condiciones que se requiere. De este modo el rediseño del sistema de vapor tratará de mejorar la eficiencia y sostenibilidad para la creación de vapor, también se encuentran entre los objetivos el levantamiento del sistema de vapor, averiguar las pérdidas de energía, y la realización del análisis financiero del posible rediseño. Entre las posibles limitaciones al realizar el proyecto se encuentran las regulaciones debido a que el diseño puede terminar fuera de los reglamentos, y las limitaciones por tiempo.

Con respecto al impacto ambiental el proyecto tiene posibles efectos debido a que un mejor diseño del sistema y optimización del funcionamiento de la caldera tiene por efectos mejorar la eficiencia del sistema, por ende esto significaría un ahorro en combustible el cual se trata de búnker y por ende se reducirían las emisiones de gases de efecto de invernadero generados por la caldera.

Reseña de la empresa

La empresa Caminos del Sol S.A. se encuentra en Cartago, carretera al volcán Irazú y se dedican a la agroindustria y procesan una gran variedad de vegetales y frutas tropicales en diferentes formas. Tienen las condiciones ideales y los equipos en empaquetado para ofrecer los productos de forma: fresca, congeladas, preservas, enlatada.

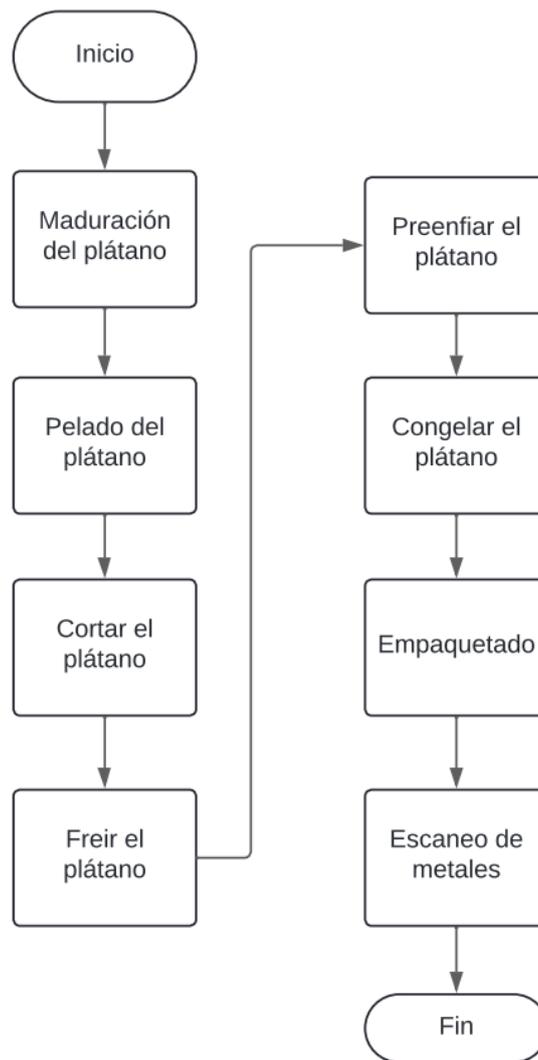


Figura No 1. Diagrama del proceso productivo del plátano.

Fuente: Elaboración propia.

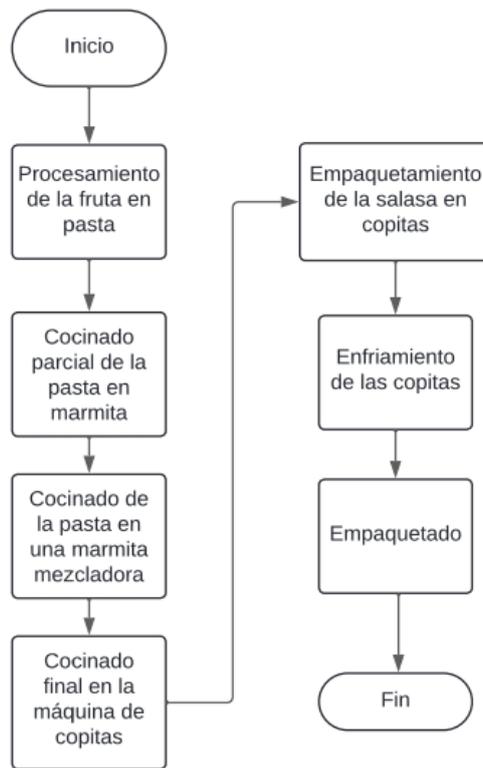


Figura No 2. Diagrama del proceso productivo de copitas.

Fuente: Elaboración propia.

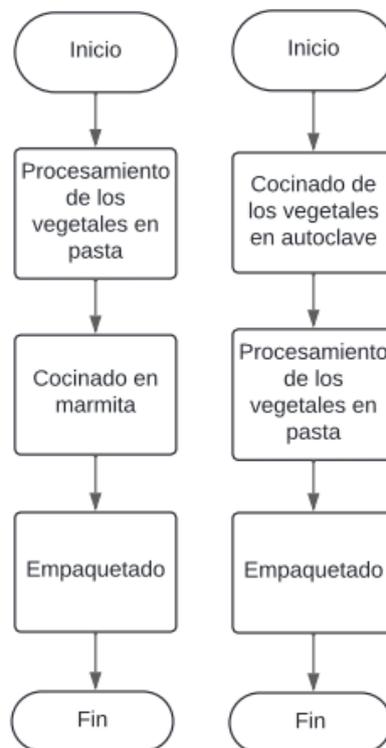


Figura No 3. Diagrama del proceso productivo de pastas.

Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes

Todos los sistemas de vapor constan de una fuente de vapor, un sistema de distribución, y de los equipos finales en donde se utiliza el vapor producido. Cuando se diseñan sistemas de vapor es importante saber que estos pueden ser divididos en sistemas de baja y alta presión. Existen muchas subclasificaciones que las dividen los sistemas según su tipo de sistema de distribución o método de control de temperatura. [1] Estos sistemas de vapor son cada vez menos utilizados, pero tienen propiedades que hacen que sean deseables todavía tales como: la distribución de calor, proveer humidificación de forma efectiva y segura, lograr una esterilización eficiente, entre otras. [2]

Para poder crear la combustión necesaria en el quemador se pueden utilizar diferentes tipos de combustibles que se dividen en gaseosos, líquidos, y sólidos. Todos estos pueden estar hechos de hidrocarburos, carbohidratos o de sustancias que no son de carbono. Entre los combustibles gaseosos utilizados a nivel mundial se encuentran: el gas natural, licuado de petróleo, butano, hidrógeno; Entre los líquidos se encuentran: gasolina, diésel, alcohol, y combustibles de petróleo pesados; Por último, entre los sólidos se encuentran: la madera, el carbón, y basura. [3] Otro factor que afecta el sistema es la presión de la generación de vapor pues esta afecta el tamaño de las tuberías de distribución y de la velocidad del vapor del sistema. El tamaño de las tuberías afecta el precio del diseño mientras que la velocidad afecta los problemas de erosión y de ruido. [4] Unos de los puntos importantes a mantener en control en una caldera es la presión de vapor y nivel del agua debido a que esta es el punto de balance entre la demanda de energía en el sistema de distribución y el suministro de combustible y aire en la combustión. Existen diferentes métodos para asegurar que la presión se mantenga y que el flujo de agua, combustible y aire sean manejados de forma que se asegure una operación eficiente y segura. Entre los sistemas anteriormente mencionados para manejar la presión se encuentran: controles de seguridad de la caldera, control de combustión, control de suministro de agua, control de purga, control de la temperatura del vapor, entre otras. [5]

La eliminación del condensado es también muy importante para poder crear un buen diseño de un sistema de vapor y este es originado por el calor latente del vapor y es de suma importancia que sea removido lo más pronto posible debido a que baja la eficiencia de la transferencia de calor e incrementa la posibilidad de golpes de ariete peligrosos. [4] También, son bastante importantes las trampas de vapor debido a que cuando el vapor es usado en

calentar algo, este se condensa y es removido por las trampas de vapor. Entre otros usos de las trampas están que estas deben de permitir el paso del aire y de otros gases que no se pueden condensar durante el proceso de encendido. [6]

En la actualidad se han hecho diferentes propuestas para poder hacer que los sistemas de vapor sean cada vez más eficientes lo cual significa un ahorro en dinero y en consumo de combustible. Un ejemplo de estos es, el uso de sistemas de vapor por bomba de compresión en alta temperatura que tiene una mejor eficiencia energética que calderas eléctricas, carbón y de gas, también reduce las emisiones del dióxido de carbono. [7] Usualmente el sector industrial que utiliza combustibles fósiles utiliza gran parte de estos para la producción de vapor, entre algunos de estos sectores se encuentran la pulpa y papel (81%), procesamiento de alimentos (57%), químicos (42%), refinado de petróleo (23%), y metales primarios (10%). Algunos otros métodos para mejorar el rendimiento están: instalar sistemas combinados de calor y eléctricos, calderas más grandes, cambiar equipo alimentado por vapor a otros que sean alimentados por electricidad. Diferentes medidas para el ahorro energético positivo pueden ahorrar entre un 0% a 20% de energía potencial típica y estos ahorrarían entre un 0% a 15% de costos energéticos al año. [8]

Según [9] la eficiencia de las calderas se encuentra entre un 70% y 90% y hay hasta 6 tipos de formas de pérdidas. La primera y más grande pérdida es la de pérdidas de gases de combustión que pueden ir entre un 15% y un 20%, y puede ser reducida por intercambiadores de calor y utilizando los gases de combustión. Otro tipo de mejora de eficiencia es precalentando el aire de combustión y tener velocidades variables en los abanicos de la combustión del aire. Usualmente una carga lo más alta posible en la caldera genera una alta eficiencia. En cuanto al sistema de suministro es importante estar al tanto de posibles fallas en trampas de calor, válvulas y tuberías, y posibles fugas en el sistema pues la pérdida de calor debido a un agujero se incrementa según el tamaño y la presión del sistema. El aislamiento también es sumamente importante pues entre más grande las tuberías y menos aisladas, la pérdida de calor va a hacer cada vez más grande. Retorno de condensado para el seguimiento de uso de estos en el sistema y puede contener entre un 5% y 20% de la energía contenida del vapor y también reduce la cantidad de agua nueva que consume el sistema y por ende reduce el costo del total de químicos a utilizar en el tratamiento de agua.

Planteamiento del problema

¿Cuáles son las estrategias más efectivas para rediseñar el sistema de vapor de la planta de la empresa Caminos del Sol S.A. con el fin de mejorar la eficiencia térmica y optimizar el uso de los recursos energéticos, contribuyendo a la reducción del consumo energético y por ende el impacto ambiental?

Se busca que por criterio ingenieril se mejore la eficiencia del sistema por medio de un rediseño lo cual generará el valor de corregir errores que se evidencian y estos a su vez la reducción de costos. Según lo que se planteó en el balance energético del 2023 de la empresa, el consumo de búnker representa el 35% del consumo energético de la compañía y también representa el uso más alto de un sistema y por ende hay que tomar en cuenta que en este sistema se encuentran secciones que no se utilizan, otras secciones les falta aislante, procesos en donde antes se utilizaban se cambiaron a nuevos sectores como tema de expansión de sistema pero todos estos cambios se han hecho sin ningún criterio de ingeniería.

El proyecto planteado tiene diferentes relevancias ya que afecta diversos sectores pues en el caso del interés ambiental un rediseño más eficiente generaría un consumo menor de combustible búnker y un consumo menor de agua por lo cual esto a su vez generaría una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que afectan al ambiente. Otro posible interés sería el financiero pues las reducciones en el consumo de las materias anteriormente mencionadas generarían un ahorro en los gastos de generación de vapor. Por otra parte, es de interés contemporáneo debido a que el sistema existente es bastante antiguo y no tiene ningún criterio ingenieril en las expansiones por lo cual se busca realizar un rediseño con las tecnologías más actualizadas en este ámbito para el mejoramiento de la eficiencia.

Tabla No 1. El debiera y la realidad de la empresa.

		Dato suministrado	Referencias bibliográficas
Debiera	Cuando se realizan proyectos de rediseño para mejorar la eficiencia se puede esperar un incremento en el ahorro.	Hasta un 15% de ahorro.	[8]

Desviación (problema)	El consumo energético del sistema de vapor representa el uso más alto que comprende un solo sistema y tiene problemas debido a que se encuentran secciones que no se utilizan, otras secciones les faltan aislante, procesos en donde antes se utilizaban se cambiaron a nuevos sectores como tema de expansión de sistema, pero todos estos cambios se han hecho sin ningún criterio de ingeniería.
------------------------------	--

		Dato suministrado	Referencias lugar estudio
Realidad	El consumo de búnker C del sistema de vapor representa el 35% del consumo energético de la compañía	Balance energético 2023 realizado por la empresa Caminos del Sol S.A.	[13]

Fuente: Elaboración propia.

Establecimientos de Objetivos

Objetivo General:

Rediseñar el sistema de vapor de la planta de la empresa Caminos del Sol S.A., con el fin de mejorar la eficiencia térmica y el adecuado uso de los recursos energéticos, contribuyendo así a la reducción del consumo energético y al impacto ambiental.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar el estado actual del sistema de vapor de la empresa Caminos de Sol S.A. para la identificación de oportunidades de mejora, realizando inspecciones visuales de campo que identifiquen pérdidas.
2. Diseñar un nuevo sistema de vapor que cumpla con las buenas prácticas de vapor para el establecimiento de parámetros de seguridad, economía, eficiencia, e impacto ambiental, por medio de la realización de planos de AutoCAD.
3. Analizar la factibilidad financiera para el rediseño del sistema de vapor con la finalidad de la evaluación de su eventual implementación, a través de un flujo de efectivo de proyectos de inversión.
4. Desarrollar un plan de implementación de las propuestas de mejora en el sistema de vapor haciendo más competitiva la empresa, mediante la realización de un procedimiento de pasos secuenciales según el libro diseño de ingeniería.

Justificación

Es importante realizar un buen diseño de sistema de vapor, pues un mal diseño provoca que la eficiencia del sistema sea bastante baja. Según [8] se puede, ahorrar en promedio entre un 10% y 15% de energía y costos asociados alrededor de diferentes sistemas de vapor en la industria. Al mejorar la eficiencia según [9] los ahorros se disminuye el uso de combustible, ahorro de agua, químicos utilizados para el tratamiento del agua. Debido a la disminución del uso del combustible se estaría también reduciendo las cantidades de contaminación de dióxido de carbono liberados al aire y esto es de suma importancia debido a que en el mundo el 30% de la energía de la industria de manufactura se utiliza en los sistemas de vapor. [10]

Al mejorar el sistema entre los beneficiados se encuentran la empresa pues según [9] la eficiencia reduce costos de combustible, agua y químicos por lo cual los costos de producción se reducen y la producción industrial se hace más rentable. La disminución de uso de combustible fósiles produce menos gases de efecto invernadero donde el estado se ve beneficiado pues al reducir las emisiones ayuda a lograr las propuestas domésticas e internacionales de reducir consumo energético y reducir emisiones de carbono. [11] En el caso de Costa Rica según [12] "el país se compromete a un máximo absoluto de emisiones de 9 374 000 TCO₂eq netas al 2030, con una trayectoria propuesta de emisiones per cápita de 1,73 toneladas netas per cápita para el 2030; 1,19 toneladas netas per cápita al 2050 y -0,27 toneladas netas per cápita al 2100".

Toda la información recolectada y que se encuentra en internet es de gran valor debido a que se explica diferentes métodos para crear un diseño de sistemas de vapor lo más eficientemente posible. Este rediseño no crea nuevos métodos para mejorar la eficiencia si no que su énfasis es en cómo poder usar diferentes métodos para un caso en específico y de esta forma poder aplicar la mejor eficiencia posible según el caso.

Alcance

Entre el alcance del siguiente proyecto se exploraron diferentes aspectos críticos del sistema que consistieron en:

1. Evaluación inicial del sistema de vapor: Inspección física del sistema de calderas, tuberías, válvulas, trampas de vapor, intercambiadores de calor, entre otros. Creación de planos para el entendimiento del sistema actual y como base para el rediseño.
2. Identificación de oportunidades de mejora: análisis de pérdidas y desperdicios mediante la identificación de fugas, pérdidas de calor, y puntos de condensación no recuperada. Optimización de la red de distribución de vapor por medio de la evaluación del diseño y estado de las tuberías, aislamiento térmico, y configuración de válvulas.
3. Selección de nuevas tuberías, trampeo y recuperación de condensado según la identificación de oportunidades de mejora y optimización de la red.
4. Mejoras en la Generación de Vapor: Implementación de tecnología avanzada en específico la consideración de sistemas de control y monitoreo automatizados u otras posibles actualizaciones tecnológicas.
5. Evaluación de la demanda de vapor: análisis de procesos consumidores de vapor al identificar los procesos que demandan vapor y su eficiencia en el uso de este. Balance de energía mediante análisis del balance para entender la eficiencia global del sistema y los puntos críticos de mejora.
6. Recomendaciones y plan de acción: Informe de evaluación y diagnóstico por medio de documentación detallada de los hallazgos, incluyendo análisis de costos-beneficios de las oportunidades de mejora identificadas.

El proyecto propuesto tiene un carácter descriptivo y correlacional. Se considera que tiene un carácter descriptivo debido a que busca especificar las propiedades y características del sistema de vapor para poder de esta manera realizar un análisis y de esta forma poder plantear un rediseño a fin de solucionar los problemas que este tiene y mejorar la eficiencia que a su vez provocaría un ahorro en costos, agua y combustible. Al realizar los cálculos de pérdidas, levantamiento de planos se puede ver cómo se está aplicando el carácter descriptivo para ver las propiedades y características del caso.

A su vez, también es importante ver los aspectos de alcance correlacional debido a que al conocer la relación de los problemas que generan una baja eficiencia se puede ver cómo se correlaciona a un alto consumo de combustible y por ende altas emisiones de gases de invernadero y costos innecesarios.

Viabilidad

La viabilidad de este proyecto es respaldada por diferentes factores tales como la alta cantidad de recursos literarios respecto al tema de diseño de sistemas de vapor. Entre otros factores es importante el apoyo del departamento de mantenimiento debido a que por esta razón se pueden tomar en cuenta conocimiento técnicos, teóricos y anecdóticos del funcionamiento del sistema durante los años.

Entre los posibles factores que afecten la viabilidad del proyecto está la disponibilidad del tiempo pues siempre pueden emerger problemas no contemplados que puedan retrasar la realización del proyecto. Otro factor que puede afectar es el tema económico pues se debería realizar la posible cotización para los equipos de detección de fugas. Entre otros factores que pueden afectar la viabilidad se encuentran la posición de la gerencia pues su posición puede interferir en una posible implementación y de tal manera también el presupuesto es importante pues afecta de la misma forma una posible implementación a futuro.

Con todos los factores tomados en cuenta puede tomarse como viable la realización del proyecto debido a que se trata de un análisis teórico.

Administración del Riesgo

Entre las limitaciones más importantes a tomar en cuenta está la disponibilidad financiera debido a que se debe realizar el pedido de equipo para la detección de fugas del sistema. Aunque el tema de las fugas es importante también es importante tomar en cuenta que se debe evaluar el sistema para definir la secuencia óptima y de esta manera poder tratar de solucionar los problemas más serios si es que las fugas no lo fueran. Otro posible factor que puede afectar de forma considerable el proyecto es que la empresa decida en algún momento previo a que se termine de completar el dejar de apoyar el proyecto de trabajo final de forma tal que ya no se tendría el permiso de ellos para continuar, entrar a las instalaciones o incluso el continuar consiguiendo información de las máquinas y sistemas que sean necesarios para completar los objetivos previstos. También es de suma importancia tener en cuenta el factor humano en cuestión de la salud pues puede ocurrir una situación de salud ya sea personal, de terceros, o social que pueda interrumpir el proceso del proyecto, entre estas posibles situaciones se encuentran casos de enfermedad, incapacidad, lesiones menores que afecten temporalmente, o y en casos sociales se encuentran las pandemias. En cuanto a la confidencialidad este no es una limitante pues la empresa no pide la confidencialidad de datos de la empresa.

Metodología

Tabla No 2. Metodología.

Objetivo Específico	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos con criterios estadísticos	Resultados esperados
<p>Evaluar el estado actual del sistema de vapor de la empresa Caminos de Sol S.A. para la identificación de oportunidades de mejora.</p>	<p>Entendimiento del proceso productivo. Documentación de proceso productivo. Investigación de fugas y faltas de aislamiento.</p>	<p>Recolección propia en planta.</p>	<p>Comprensión de consumo de vapor del diseño, posibles fallas de construcción.</p>	<p>Pérdidas generadas por fugas. Cantidad de tubería sin o con mal aislamiento. Documentación de la maquinaria en el proceso productivo. Inspección para identificar fugas.</p>
<p>Diseñar detalladamente las propuestas de mejora identificadas.</p>	<p>Creación de planos de los conductos sistema de vapor junto con los tipos de conductos.</p>	<p>Recolección propia en planta y bibliografía [14], [15].</p>	<p>Comprensión y evaluación del nuevo sistema de vapor.</p>	<p>Planos del sistema de vapor, tipos de conductos a utilizar, válvulas a utilizar, trampas a utilizar</p>
<p>Analizar la factibilidad económica de la implementación del rediseño del sistema de vapor.</p>	<p>Realización de un análisis financiero del sistema propuesto.</p>	<p>Proveedores de partes de sistemas de vapor, [16]</p>	<p>Costos de la realización del proyecto.</p>	<p>Análisis financiero con costos de todas las nuevas implementaciones. Tablas de costos a</p>

				partir de cotizaciones.
Desarrollar un plan de implementación de las propuestas de mejora en el sistema de vapor.	Secuencia de implementación de la propuesta del diseño.	Bibliografía y catálogos de fabricantes, [1], [16].	Comprensión y evaluación del proceso de implementación del nuevo sistema de vapor.	Secuencia de implementación de la propuesta de rediseño.

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso importante es saber cuál es el estado actual del sistema de vapor de la empresa y del estado de producción pues estos dos están correlacionados uno con el otro. Entre los primeros pasos a realizar para tener un entendimiento del estado actual es necesario realizar una inspección del sistema en específico del estado de las tuberías para saber si tienen problemas de fugas o de mal aislamiento pues estos son los defectos más comunes cuando falta un plan de mantenimiento. Seguido de esto uno de los pasos más importantes es la documentación y medición de los componentes en caso de una falta de reportes de seguimiento del sistema, en el supuesto de que la empresa Caminos del Sol esté en este caso por lo cual se debe hacer un estudio de los componentes tales como horas de operación, producto que utilizan, consumo de vapor, presión de trabajo. Por último, es necesario realizar esquemas donde quede recolectada toda la información para un fácil entendimiento del sistema.

Según [17] los diseñadores deben de tomar en cuenta el impacto que tienen en la producción, los costos de operación, calidad, y tiempos de producción. Por lo cual es importante siempre tener en cuenta las metas generales de la tarea a realizar. Siendo de suma importancia tomar en cuenta todo el conocimiento ganado por experiencia que tienen los trabajadores del lugar para así realizar un diseño que sea compatible con las prácticas que ya se encuentran en la empresa. También se explica que entre los puntos más importantes para realizar un diseño se deben de abordar la funcionalidad, ensamble de operaciones, y la producción.

Tomando lo anterior como conocimientos base para realizar un diseño se concentra en resolver varios problemas también mencionados por [17] tales como la mejora de un estado actual indeseable, alcanzar un estado deseado, minimizar la complejidad, minimizar la incertidumbre de partes del sistema. Otro aspecto importante para tomar en cuenta es conocer el tamaño de la empresa, su experiencia, conocimiento en planeación de líneas de productos.

Con todo esto de referencia, se utilizan como ideas para realizar un proceso de planeamiento de un diseño que cumpla con estos aspectos de mejora de la producción, eliminación de errores, reparación de problemas, entendimiento de la forma de trabajo de la empresa, mejora del proceso de producción, reducción de consumo, reducción de contaminantes.

Por último, a la hora de realizar la planificación de la implementación del diseño propuesto es importante realizar un estudio del horario de uso de los componentes y del horario de los trabajadores del área de construcción para tomar en cuenta que el tiempo de implementación no supere el necesario y se realice de tal manera que afecte lo menos posible a la producción. Esto se puede lograr al planificar bien el orden de desconexión de las tuberías existentes y la implementación de las nuevas por sectores pues de esta manera se realiza de forma más rápida.

Marco teórico

Los sistemas de vapor están compuestos por diferentes partes las cuales corresponden a: Caldera, líneas de vapor, válvulas reguladoras de presión de vapor, trampas de vapor, líneas de retorno de condensado, tanque de alimentación, bombas de alimentación. [18] Debido a la naturaleza del proyecto planteado es importante saber cómo realizar cálculos de fugas de vapor, tamaño de tuberías, consumo de vapor, caída de presiones, entre otras. También es importante analizar diferentes métodos en los cuales se pueden mejorar el rendimiento de la red de vapor. Entre algunas opciones de mejora según [19] se encuentran: Realizar un análisis de la red de vapor, mantenimiento regular, aislamiento de tuberías, purgadores de vapor eficientes, controlar la presión de vapor, funcionamiento correcto de válvulas de control, recuperación de vapor condensado, optimizar la distribución de vapor, mejoramiento de drenaje de condensado, capacitación de personal.

Como se menciona anteriormente es importante mejorar el sistema de vapor, en algunos casos en los sistemas se encuentran fugas las cuales a veces no se arreglan por tema de desconocimiento de los efectos de ellas, pero es importante tener en cuenta que si tienen efectos posibles en el impacto económico de consumo de combustible. Estas fugas generar un coste de vapor el cual se puede calcular con la siguiente ecuación: [20]

$$\text{Costo de la fuga} = \frac{F \times H \times C}{1000} \quad (1)$$

$$\text{Fuga de vapor: } S^2 \times C \times P \quad (2)$$

En donde el:

- F: Fuga de vapor
- H: Horas de operación.
- C: Costo de generación de vapor (€/Tn).
- S: Tamaño del orificio (mm).
- C: 4 (constante).
- P: Presión de vapor (MPa)

Para saber el costo de operación de vapor se debe saber la eficiencia de la caldera, consumo de combustible, la eficiencia de la caldera entre otros. Estos datos se pueden observar en la siguiente fórmula para el cálculo consumo de combustible: [21]

$$m_{comb} = \frac{m_{vapor} \times (h_v - h_{AA}) \times 10000}{PCS \times \eta} \quad (3)$$

Donde el:

- m_{comb} : Consumo de combustible (kg/h)
- m_{vapor} : Producción de vapor (ton/h)
- h_v : Entalpía del vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera (kJ/kg)
- h_{AA} : Entalpía del agua de alimentación (105 kJ/kg @ 25°C)
- PCS : Poder calorífico superior del combustible (kJ/kg)
- η : Eficiencia de la caldera respecto al PCS (%)

En muchos casos de cálculos del sistema de vapor es importante saber cuál es la caída de presión de un punto a otro, según [22] la caída de presión se puede encontrar en la siguiente ecuación:

$$F = \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (4)$$

Donde el:

- F : El factor de caída de presión.
- P_1 : Factor basado en la presión inicial.
- P_2 : Factor basado en la presión final.
- L : Longitud equivalente del recorrido.

Estos valores de P_1 y P_2 se pueden encontrar con la *Tabla No 3* de [22] y estos resultados se utilizan en la *Figura No 4* para hallar el factor de velocidad y el diámetro de la tubería.

Tabla No 3. Factores de presión.

Presión Bar Abs	Volumen m ³ /kg	Factor de presión	Presión Bar Man	volumen m ³ /kg	Factor de presión	Presión Bar Man	volumen m ³ /kg	Factor de presión	Presión Bar Man	Volumen m ³ /kg	Factor de presión	Presión Bar Man	volumen m ³ /kg	Factor de presión
0.05	28.192	0.031	0.95	0.901	3.674	2.85	0.477	13.55	6.50	0.255	48.91	10.60	0.169	113.2
0.10	14.674	0.118	1.00	0.881	3.855	2.90	0.471	13.90	6.60	0.252	50.19	10.80	0.166	117.0
0.15	10.022	0.258	1.05	0.860	4.042	2.95	0.466	14.24	6.70	0.249	51.47	11.00	0.163	120.9
0.20	7.649	0.448	1.10	0.841	4.234	3.00	0.461	14.58	6.80	0.246	52.77	11.20	0.161	124.8
0.25	6.204	0.695	1.15	0.823	4.430	3.10	0.451	15.30	6.90	0.243	54.08	11.40	0.158	128.7
0.30	5.229	0.953	1.20	0.806	4.629	3.20	0.440	16.03	7.00	0.240	55.39	11.60	0.156	132.8
0.35	4.530	1.324	1.25	0.788	4.833	3.30	0.431	16.77	7.10	0.237	56.72	11.80	0.153	136.9
0.40	3.993	1.710	1.30	0.773	5.041	3.40	0.422	17.52	7.20	0.235	58.08	12.00	0.151	141.0
0.45	3.580	2.143	1.35	0.757	5.253	3.50	0.413	18.30	7.30	0.232	59.44	12.20	0.149	145.3
0.50	3.240	2.624	1.40	0.743	5.468	3.60	0.405	19.09	7.40	0.229	60.85	12.40	0.147	149.6
0.55	2.964	3.155	1.45	0.728	5.689	3.70	0.396	19.89	7.50	0.227	62.24	12.60	0.145	153.9
0.60	2.732	3.741	1.50	0.714	5.914	3.80	0.389	20.71	7.60	0.224	63.68	12.80	0.143	158.3
0.65	2.535	4.357	1.55	0.701	6.142	3.90	0.381	21.56	7.70	0.222	65.07	13.00	0.141	162.8
0.70	2.365	5.032	1.60	0.689	6.375	4.00	0.374	22.41	7.80	0.219	66.53	13.20	0.139	167.2
0.75	2.217	5.744	1.65	0.677	6.615	4.10	0.367	23.23	7.90	0.217	68.00	13.40	0.135	171.9
0.80	2.087	6.506	1.70	0.665	6.858	4.20	0.361	24.15	8.00	0.215	69.47	13.60	0.133	176.5
0.85	1.972	7.311	1.75	0.654	7.103	4.30	0.355	25.07	8.10	0.212	70.96	13.80	0.132	181.1
0.90	1.869	8.161	1.80	0.643	7.353	4.40	0.348	25.98	8.20	0.210	72.49	14.00	0.130	185.9
0.95	1.777	9.067	1.85	0.632	7.608	4.50	0.342	26.93	8.30	0.208	73.99	14.20	0.128	190.6
1.013	1.673	1.024	1.90	0.622	7.863	4.60	0.336	27.87	8.40	0.206	75.54	14.40	0.127	195.5
Bar Man			1.95	0.612	8.127	4.70	0.330	28.82	8.50	0.204	77.11	14.60	0.125	200.4
0	1.673	1.024	2.00	0.603	8.392	4.80	0.325	29.82	8.60	0.202	78.66	14.80	0.124	205.5
0.05	1.601	1.125	2.05	0.594	8.662	4.90	0.320	30.82	8.70	0.200	80.26	15.00	0.122	210.4
0.10	1.533	1.228	2.10	0.585	8.939	5.00	0.315	31.83	8.80	0.198	81.87	15.20	0.121	215.7
0.15	1.471	1.339	2.15	0.576	9.217	5.10	0.310	32.86	8.90	0.196	83.49	15.40	0.119	220.8
0.20	1.414	1.451	2.20	0.568	9.501	5.20	0.305	33.90	9.00	0.194	85.06	15.60	0.118	226.0
0.25	1.361	1.569	2.25	0.560	9.788	5.30	0.301	34.95	9.10	0.192	86.70	15.80	0.117	231.3
0.30	1.312	1.691	2.30	0.552	10.08	5.40	0.296	36.04	9.20	0.191	88.37	16.00	0.115	236.4
0.35	1.268	1.818	2.35	0.544	10.38	5.50	0.292	37.14	9.30	0.189	90.05	16.20	0.114	241.8
0.40	1.225	1.947	2.40	0.536	10.68	5.60	0.288	38.23	9.40	0.187	91.73	16.40	0.113	247.4
0.45	1.186	2.084	2.45	0.529	10.98	5.70	0.284	39.36	9.50	0.185	93.46	16.60	0.111	252.8
0.50	1.149	2.222	2.50	0.522	11.29	5.80	0.280	40.50	9.60	0.184	95.17	16.80	0.110	258.4
0.55	1.115	2.366	2.55	0.515	11.60	5.90	0.276	41.66	9.70	0.182	96.92	17.00	0.109	264.1
0.60	1.083	2.514	2.60	0.509	11.91	6.00	0.272	42.83	9.80	0.181	98.68	17.20	0.108	269.9
0.65	1.051	2.668	2.65	0.502	12.24	6.10	0.269	44.02	9.90	0.179	100.4	17.40	0.107	275.5
0.70	1.024	2.823	2.70	0.496	12.56	6.20	0.265	45.21	10.00	0.177	102.2	17.60	0.106	281.5
0.75	0.997	2.985	2.75	0.489	12.88	6.30	0.261	46.43	10.20	0.174	105.8	17.80	0.105	287.3
0.80	0.971	3.151	2.80	0.483	13.21	6.40	0.258	47.66	10.40	0.172	109.5	18.00	0.104	293.2
0.85	0.946	3.321												
0.90	0.923	3.493												

Fuente: [22].

F		15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	175 mm	200 mm	225 mm	250 mm	300 mm	
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	12"	
0.00010	x						24.12	48.96	75.96	154.8	279.4	525.6	727.2	957.6	1329	1868	2963	
	y						3.316	3.862	4.304	5.117	5.975	7.738	7.747	7.98	8.809	9.342	10.7	
0.00013	x					14.4	27.72	56.16	87.12	177.8	320.8	554.4	835.2	1098	1584	2146	3406	
	y					3.144	3.811	4.43	4.937	5.879	6.881	8.162	8.584	9.15	10.12	10.73	12.3	
0.00016	x				10.44	16.2	30.36	62.64	97.56	198.7	358.2	579.6	832.4	1224	1768	2398	3816	
	y				3.129	3.537	4.257	4.942	5.538	6.569	7.661	8.533	9.583	10.2	11.29	11.99	13.78	
0.00020	x				11.88	18.36	34.56	70.56	109.8	223.6	403.2	651.6	1051	1379	1987	2696	4284	
	y				3.561	4.009	4.752	5.566	6.222	7.39	8.624	9.993	10.8	11.49	12.7	13.48	15.47	
0.00025	x			6.12	13.32	20.52	38.88	75.36	123.5	251.6	453.6	734.4	1161	1552	2236	3035	4824	
	y				3.289	3.992	4.48	5.346	6.276	6.997	8.318	9.702	10.81	12.14	12.93	14.28	15.17	17.42
0.00032	x			7.2	15.48	23.4	44.28	80.36	140.8	286.6	518.4	835.2	1346	1771	2549	3456	5472	
	y				3.87	4.64	5.109	6.088	7.128	7.976	9.472	11.09	12.3	13.84	14.76	16.28	17.28	19.76
0.00040	x			4.32	7.92	17.28	28.28	50.04	101.9	158.4	322.6	583.2	943.2	1516	1991	2869	3708	6156
	y				3.671	4.257	5.179	5.738	6.88	8.037	8.976	10.66	12.47	13.89	15.58	16.59	18.33	22.23
0.00050	x			4.68	9.00	19.44	29.52	56.16	114.5	178.2	363.6	655.2	1058	1706	2239	3229	4392	6948
	y				3.977	4.837	5.827	6.445	7.722	9.031	10.1	12.02	14.01	15.58	17.54	18.66	20.63	25.09
0.00063	x			5.4	10.08	21.96	33.48	63.72	129.6	201.6	410.4	741.6	1199	1922	2531	3639	4968	7848
	y				4.588	5.418	6.582	7.31	8.761	10.22	11.42	13.57	15.86	17.65	19.76	21.09	23.23	24.84
0.00080	x	2.52	6.12	11.52	24.84	37.8	72.36	146.9	228.6	464.4	838.8	1357	2189	2873	4140	5616	8892	
	y	4.013	5.2	6.192	7.445	8.253	9.949	11.59	12.95	15.35	17.94	19.28	22.5	23.94	26.45	28.08	32.11	
0.0010	x	2.88	6.84	12.96	28.08	42.84	81.36	165.6	257.4	525.6	943.2	1530	2506	3233	4644	6336	10010	
	y	4.588	5.812	6.966	8.416	9.353	11.19	13.06	14.99	17.37	20.17	22.52	25.73	26.94	29.67	31.68	36.14	
0.0013	x	3.6	7.92	14.76	32.04	48.96	93.24	190.1	295.9	601.2	1087	1757	2830	3708	5364	7272	11520	
	y	5.733	6.73	7.933	9.603	10.69	12.82	14.99	16.77	19.87	23.25	25.86	29.08	30.9	34.27	36.36	41.6	
0.0016	x	3.96	9.00	16.56	36.00	54.72	104.0	212.0	330.1	673.2	1213	1962	3161	4140	5976	8100	12860	
	y	6.306	7.647	8.901	10.79	11.95	14.3	16.73	18.71	22.25	29.95	28.88	32.49	34.5	38.16	40.50	46.52	
0.0020	x	4.32	10.08	18.72	40.32	61.56	117.4	238.7	370.8	756	1364	2207	3556	4680	6732	9108	14470	
	y	6.88	8.565	10.06	12.08	13.44	16.14	18.83	21.01	24.99	29.18	32.49	36.56	39.00	43.01	45.54	52.26	
0.0025	x	5.04	11.52	20.88	45.36	69.48	132.1	268.9	417.6	849.6	1534	2484	3996	5256	7560	10260	16270	
	y	8.026	9.789	11.22	13.59	15.17	18.17	21.21	23.66	28.08	32.8	36.57	41.07	43.8	48.3	51.3	58.76	
0.0032	x	5.76	12.96	23.76	51.84	79.2	150.5	306.4	475.2	972	1750	2830	4558	5976	8640	11700	18580	
	y	9.173	11.01	12.77	15.54	17.29	20.69	24.17	26.93	32.13	37.42	41.66	46.84	49.8	55.2	58.5	67.08	
0.0040	x	6.48	14.76	27.00	58.3	88.92	169.2	344.5	536.4	1091	1969	3186	5112	6732	9720	13180	20880	
	y	10.32	12.54	14.51	17.48	19.41	23.26	27.18	30.4	36.06	42.12	46.9	52.54	56.1	63.1	65.88	75.4	
0.0050	x	7.2	16.56	30.24	65.52	100.1	190.4	380.8	604.8	1228	2214	3586	5780	7596	10910	14830	23510	
	y	11.47	14.07	16.25	19.64	21.85	26.18	30.67	34.27	40.58	47.35	52.79	59.2	63.3	69.69	74.16	84.89	
0.0063	x	7.92	18.72	34.2	74.16	113	215.3	439.2	684	1390	2502	4068	6516	8640	12350	16740	26570	
	y	12.61	15.91	18.36	22.23	24.68	29.6	34.65	38.76	45.93	53.51	59.69	66.97	70.5	78.89	83.7	95.94	
0.008	x	9.00	20.88	38.88	84.24	128.5	244.4	496.8	774	1577	2840	4608	7416	9720	13880	19010	30130	
	y	14.33	17.74	20.9	25.25	28.06	33.61	39.19	43.86	52.12	60.75	67.84	76.22	81	89.47	95.04	108.8	
0.010	x	10.44	23.76	43.56	94.68	144.7	275	561.6	871.2	1771	3197	5184	8316	10940	15770	21380	33910	
	y	16.63	20.19	23.41	28.38	31.6	37.82	44.3	49.37	58.55	68.36	78.32	85.47	91.2	100.7	106.0	122.5	
0.013	x	11.88	27.36	50.04	109.1	166	315.7	644.4	1001	2038	3672	5940	9576	12564	18110	24950	38880	
	y	18.92	23.25	26.9	32.69	36.23	43.41	50.84	54.71	67.34	78.54	87.54	98.42	104.7	115.7	122.9	140.4	
0.016	x	13.32	30.24	55.8	121.7	185.4	351.4	716.4	1116	2275	4104	6624	10660	14040	20230	27430	43560	
	y	21.21	25.69	29.99	36.47	40.48	48.46	56.52	63.34	75.21	87.78	97.52	109.5	117	129.3	137.2	157.3	
0.020	x	14.4	34.2	63	136.8	208.4	396	806.4	1256	2560	4608	7452	12020	15800	22750	30990	48960	
	y	23.5	29.06	33.86	41.00	45.51	54.45	63.62	71.2	84.61	98.56	109.7	123.6	131.7	145.4	154.4	176.8	
0.025	x	16.56	38.52	70.92	154.1	234.7	446.4	910.8	1415	2880	5184	8388	13540	17860	25600	34740	55080	
	y	26.37	32.73	38.12	46.18	51.25	61.38	71.85	80.17	95.2	110.9	123.5	139.1	148.2	163.5	173.7	198.9	
0.032	x	19.08	43.92	80.64	175.3	267.5	507.6	1037	1613	3283	5904	9576	15410	20270	29200	39600		
	y	30.38	37.32	43.34	52.55	58.4	69.79	81.79	91.39	108.5	126.3	141	158.4	168.9	186.5	198		
0.040	x	21.24	49.32	93.72	197.6	301.7	572.4	1166	1814	3708	6660	10760	17350	22790	32800			
	y	33.82	41.91	48.76	59.24	65.71	78.7	92.02	102.8	122.6	142.4	158.5	178.3	189.9	209.8			
0.050	x	24.12	55.44	102.2	222.1	338.8	644.4	1314	2041	4140	7488	12130	19550	25670				
	y	38.41	47.11	54.95	66.57	73.96	88.6	103.7	115.7	136.8	160.2	178.6	200.9	213.9				
0.063	x	27.36	62.64	115.6	251.3	381.6	727.2	1483	2308	4680	8460	13720						
	y	43.57	53.23	62.11	75.31	83.32	99.99	117	130.8	154.7	180.9	201.9						
0.080	x	30.96	71.28	131	285.1	435	828	1685	2621	5332	9612							
	y	79.3	80.57	70.43	85.46	95.11	113.8	132.9	148.5	176.2	205.6							
0.100	x	34.92	80.28	147.6	320.8	489.6	928.8	1894	2948	6012								
	y	55.61	68.21	79.33	95.14	106.9	127.7	149.4	167.1	198.7								
0.13	x	39.96	92.16	169.6	367.2	561.6	1069	2178	3388									
	y	63.64	78.31	91.14	110.1	122.6	147	171.8	192									
0.16	x	44.64	103	189	410.4	626.4	1192	2430										
	y	71.09	87.49	101.6	123	136.8	163.8	191.7										
0.20	x	50.04	115.6	212.8	460.8	705.6	1343	2736										
	y	79.69	98.19	114.3	138.1	154.1	184.6	215.8										
0.25	x	56.52	130.3	246.6	518.4	796.6	1512											
	y	90.01	110.7	132.5	155.4	173.7	207.9											
0.32	x	64.44	148.3	272.9	590.4	907.2												
	y	102.6	126	146.7	177	198.1												
0.40	x	72.36	168.3	307.1	666													
	y	115.2	141.9	165	199.6													
0.50	x	81.36	187.9	345.5														
	y	129.6	159.7	185														

Con estos resultados se puede utilizar la *ecuación 5* para poder encontrar la velocidad real del vapor el cual según [22] no debe nunca de exceder los 25 a 35 m/s en las tuberías principales y no debe exceder los 15 m/s en las tuberías hechas por derivaciones. Esto último se debe a que si no se cumplen estos topes se va a producir ruido y erosión.

$$y = \frac{\text{Velocidad real} \times 1}{\text{Volumen Real}} \quad (5)$$

Donde el:

- *y*: es el factor de velocidad encontrado con la *Figura 3* y *Figura 4*.

Entre los procesos de la empresa en que se ocupa el vapor se calientan diferentes productos. Algunos de ellos son productos para el consumo y otros son productos necesarios para cocinar o calentar algo. Estos diferentes productos tienen un calor específico único el cual se puede observar en la *Tabla No 4*: [23] [24]

Tabla No 4. *Calor específico de diferentes productos.*

Producto	Calor específico del Producto (kJ/(kg°C))
Mango	3,74
Piña	3,68
pepino	4,1
zanahoria	3,81
coliflor	3,89
cebolla	3,77
agua	4,18
bunker	4,18
aceite vegetal	2

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la estimación de consumo de vapor de los equipos se necesita saber primero la cantidad de energía que se va a ocupar. Para estos cálculos se necesita la masa del alimento que se va a calentar, el calor específico del alimento y saber qué tanto se va a incrementar la temperatura [25]. Con estos datos podemos aplicar la ecuación según [25] para hallar la cantidad de energía:

$$Q: m \times c_p \times \Delta T \quad (6)$$

Donde:

- m : Cantidad de energía (kJ)
- c_p : Calor específico de la sustancia (kJ/kg °C)
- ΔT : Aumento de temperatura de la sustancia (°C)
- Q : Cantidad de energía (kJ)

En el caso de los equipos de la planta, todos estos califican como aplicaciones estáticas. Por lo cual se puede saber la tasa media de transferencia de calor al dividir la cantidad de energía obtenida anteriormente por el tiempo del proceso de calentamiento en segundos.

$$\dot{Q} \text{ (kJ/s)} = \frac{Q}{T} \quad (7)$$

Con todos estos datos se puede hallar el consumo medio de vapor con la ecuación según [26]:

$$\dot{m}_s \times h_{fg} = \dot{Q} \quad (8)$$

Para el aislante térmico es necesario saber según [27] como regla de dedo que se va a ahorrar cerca de un 95% de pérdidas de calor al aplicar aislante térmico. El valor exacto según [27] de las pérdidas de calor se pueden observar en las siguientes ecuaciones:

$$Q_c = \frac{T_1 - T_a}{\frac{rs}{K} \times \ln\left(\frac{rs}{r1}\right) + \frac{1}{f}} \times A \times H \quad (9)$$

Donde el:

- Q_c : Pérdidas con aislamiento (BTU).
- T_1 : Temperatura superficial de la tubería (°F).
- T_2 : Temperatura ambiente (°F).
- rs : Diámetro de la tubería (pies).
- K : Calor específico de la sustancia (BTU/hora-pie² °F).
- $r1$: Radio de la tubería (pies).
- f : Coeficiente de conductividad (BTU/hora-pie² °F).
- A : Área lineal con aislante.

- H : Horas de operación anual.

$$Q_s: U \times A \times H \times \Delta T \quad (10)$$

Donde el:

- Q_s : Pérdidas sin aislamiento (BTU).
- ΔT : Cambio de temperatura entre tubería y medio ambiente ($^{\circ}\text{F}$).
- A : Área lineal de la tubería.
- H : Horas de operación anual.
- U : Coeficiente de transmisión de calor (BTU/hora-pie² $^{\circ}\text{F}$)

Según [22] es importante que cuando se realicen en puntos de drenaje en la tubería cada 30-50m y en cada punto de bajo del recorrido también se debe drenar. También es de suma importancia crear bolsillos de drenaje en vez de conectar una tubería directa a la tubería de vapor pues de hacerlo de esa manera el condensado no se puede acumular y salir de forma completa.

Diseño

Estado actual de la planta

Las operaciones de Caminos del Sol se realizan en dos diferentes plantas las cuales son llamadas *Planta 1* localizada en el centro de la propiedad de la empresa y en la cual se realizan los procesos productivos de freír plátano y cocción de pastas las cuales están representadas en la *Figura No 1* y la *Figura No 3*, mientras que la otra es llamada *Planta 2* y es en donde se realiza parte de la cocción de pastas (cuando el producto necesita el uso de autoclave) y el proceso de producción de copitas en las cuales ambos procesos son representados también en la *Figura No 2* y la *Figura No 3*. En *Planta 1* también se realiza el procesado de piña el cual consta en el lavado, pelado, descorazonar la piña, cortado, congelamiento, empaquetado y almacenamiento, pero este proceso no ocupa vapor. Estos procesos ocupan de diferentes máquinas donde se puede ver la conexión entre una y otra en la *Figura No 6*. En cuanto al esquema de distribución de la maquinaria y la tubería dentro de la empresa, esto se puede observar en el *Anexo* en los esquemas llamados *Planta actual 1*, *Planta actual 2*, *Planta actual 3*, *Planta actual 4*, y *Planta actual 5*.

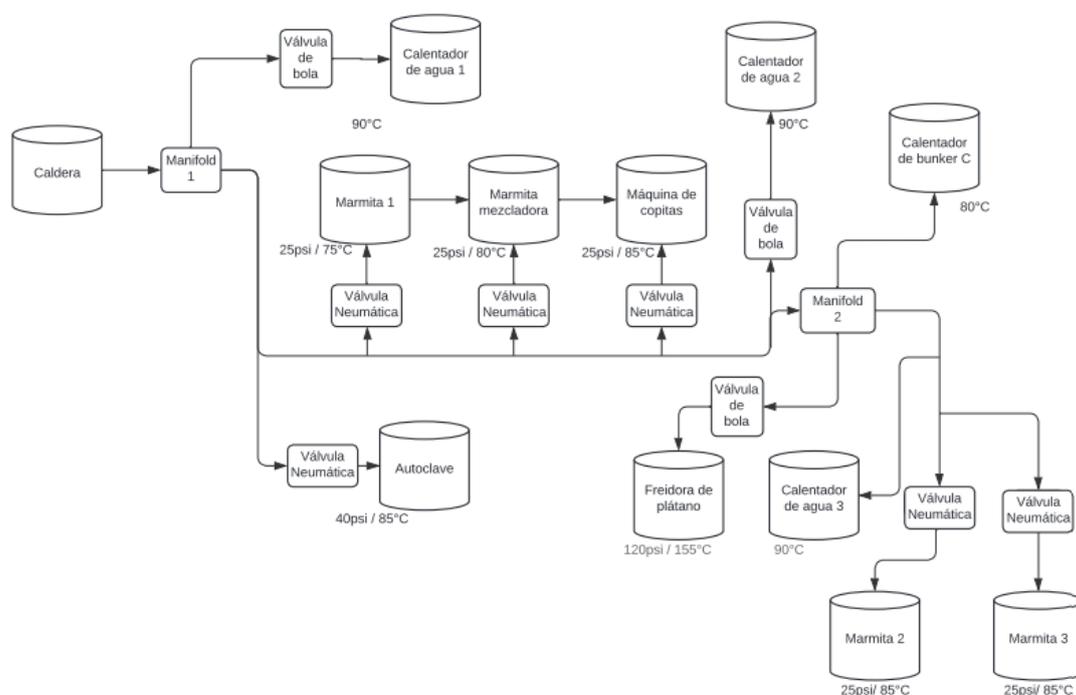


Figura No 5. Esquema de maquinaria de Planta 1 y Planta 2.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema actual de vapor de la empresa Caminos del Sol cuenta con 342,95 metros de tubería de líneas de vapor, 7 válvulas reguladoras, 1 tanque de alimentación, 2 bombas de alimentación, y con 11 diferentes equipos que utilizan vapor. Entre el sistema de vapor actual también se encuentra una caldera en plata 1 junto con su taque de agua, pero esta no está en uso debido a la falta de mantenimiento y permisos para activarla. Los diámetros de los diferentes segmentos de la tubería principal del esquema de *Anexo* llamados *Planta actual 1*, *Planta actual 2*, *Planta actual 3*, *Planta actual 4*, y *Planta actual 5* se pueden observar en la *Tabla No 5*, mientras que los diámetros de las tuberías que alimentan las marmitas que están conectadas a la tubería principal se encuentran en la *Tabla No 6*.

Tabla No 5. *Diámetros de segmentos de tubería principal.*

Segmento	Diámetro (pulg)
AB	3
CJ	3/4
CD	3
CE	3
EF	3
FG	3
GI	3
HI	3
IK	3
KM	3
MN	1,5
OL	2
PS	2
SU	1
UV	1
UZ	0,5
SW	0,5
QR	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No 6. *Diámetros de tubería que alimentan equipos.*

Segmento	Diámetro (pulg)
J-Calentador 1	0,5
D-Autoclave	1
E-Copitas	0,5
F-Marmita Mez	0,5
K-Calentador 2	0,5
R-Freidora	1
Z-Marmita 4	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Entre los tanques de alimentación se encuentra el tanque de agua 1 el cual tiene una capacidad de 2 900 litros la cual es utilizada para alimentar la caldera de *Planta 2*. Al mismo tiempo esta utiliza 3 bombas de agua las cuales son 2 de 3hp y 1 de 7.5hp. El tanque de agua 2 alimenta la caldera de *Planta 1* tiene una capacidad de 5 350 litros de agua y utiliza bombas de 7.5hp.



Figura No 6. Tanque de agua 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 7. Tanque de agua 2.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de vapor es utilizado en *Planta 2* para alimentar 6 diferentes dispositivos. El primero es una *Autoclave* que trabaja con una presión de 50 psi, ocupa 15kW 220V 2P 60hz, y tiene un volumen máximo de 3 500 litros. Seguidos de 1 marmita la cual se le llamara *Marmita 1* de las cuales la tiene una capacidad de 750 kg, trabaja a 25 psi y calienta el producto hasta 75°C, luego sigue una *Marmita Mezcladora* con capacidad de 550 kg, trabaja a 25 psi y calienta el producto hasta 80°C. A la par de estas se encuentra la máquina *Empaquetadora de copitas* la cual tiene una capacidad de 50kg y termina de calentar el producto hasta los 85°C. Estos equipos se encuentran conectados uno con otro por medio de una bomba la cual pasa el producto de marmita en marmita.



Figura No 8. Autoclave.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 9. Marmita 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 10. Marmita mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 11. Empaquetadora de copitas.

Fuente: Elaboración propia.

En la parte norte de la planta solo se encuentran dos dispositivos los cuales son 2 calentadores de agua, la *Calentadora de Agua 1* tiene una capacidad de 500 litros y trabaja a 90°C, mientras que la *Calentadora de Agua 2* tiene una capacidad de 1000 litros y también trabaja a 90°C.



Figura No 12. Calentadora de Agua 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 13. Calentadora de Agua 2.

Fuente: Elaboración propia.

La *Calentadora de Agua 3* tiene una capacidad de 443 litros y calienta el agua hasta los 90°C. Esta es utilizada para el sistema de descongelamiento de la cámara de congelamiento que se encuentra en el cuarto que está a la par.



Figura No 14. Calentadora de Agua 3.

Fuente: Elaboración propia.

El *Calentador de Búnker C* calienta el búnker C a 80°C para luego bombearlo al tanque de suministro de la caldera.



Figura No 15. Calentador de Búnker C.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de *Planta 2* el sistema de vapor de esta está conectado al sistema de sistema de *Planta 1* y alimenta 2 diferentes dispositivos. El primero es una freidora para plátano maduro que ocupa calentar aceite a una temperatura de 155°C, una presión de 120psi, tiene una capacidad de 540kg de aceite Dorofrit el cual es un aceite de palma.



Figura No 16. Freidora de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

Las últimas 2 marmitas son utilizadas en la realización de pastas de vegetales y la *Marmita 2* tiene una capacidad de 3 000kg, trabaja a 25psi y calienta el producto a 85°C. La *Marmita 3* tiene una capacidad de 550kg, trabaja a 25psi y calienta el producto a 85°C.



Figura No 17. Marmita 2.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 18. Marmita 3.

Fuente: Elaboración propia.

De las dos calderas que se tienen disponibles se encuentra la primera que está en desuso la cual es marca Tai Sin Iron Works tipo HB-210, con una presión de trabajo de $8\text{kg/cm}^2 = 113.787\text{psi}$, una presión total de $10\text{kg/cm}^2 = 142,23\text{psi}$. Esta caldera se le va a denominar caldera Tai Sin y es la que está localizada en *Planta 1*. En el caso de la segunda caldera localizada en *Planta 2* esta es de marca Cleaver Brooks modelo CB-500-200 con una presión máxima de 150psi y una eficiencia del 89% según un estudio pedido todos los años por la compañía Solara. Ambas calderas utilizan el Búnker C para su operación.



Figura No 19. Caldera Tai Sin.

Fuente: Elaboración propia.



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE EMISIONES. MUESTRA SOLARA 20240502-01

Análisis	Concentración	Método analítico/Método muestreo-análisis- Método de referencia
Partículas totales en suspensión *	(100 ± 3) mg/m ³	SOL-PT-025/Isocinético-gravimétrico-EPA 05
Oxidos de nitrógeno (NOx, como NO ₂) *	(697 ± 14) mg/m ³	SOL-PT-026/Directo-EPA CTM-034
Dióxido de azufre (SO ₂) *	(4003 ± 80) mg/m ³	SOL-PT-026/Directo-EPA 06C
Oxígeno (O ₂) *	(6,6 ± 0,1) %	SOL-PT-026/Directo-EPA 03A
Dióxido de carbono (CO ₂) *	(11,5 ± 0,3) %	SOL-PT-026/Directo-EPA 03A
Monóxido de carbono (CO) *	(8 ± 1) mg/m ³	SOL-PT-026/Directo/EPA CTM-034
Humedad (H ₂ O) **	(7,3 ± 0,4) %	SOL-PT-025/Adsorción-gravimétrico-EN 14790
Temperatura de los gases **	(117 ± 2) °C	SOL-PT-025/UNE 77225:2000
Velocidad promedio de los gases ***	(2,1 ± 0,1) m/s	SOL-PT-025/UNE 77225:2000
Presión estática de los gases ***	(-0,03 ± 0,01) "H ₂ O	SOL-PT-025/UNE 77225:2000
Flujo volumétrico **	(7,69 ± 0,38) m ³ /min	SOL-PT-025/UNE 77225:2000
Eficiencia **	(89 ± 1,0) %	N/A
Exceso de aire **	(45,7 ± 0,9) %	N/A

Figura No 20. Caldera Cleaver Brooks y su eficiencia.

Nota: Elaboración propia.

Entre las ineficiencias del sistema se encuentran las que son causadas por fugas de vapor y por mal aislamiento. Entre las fugas se encuentran 3 principales las cuales se van a denominar *fuga 1*, *fuga 2*, y *fuga 3*. La *fuga 1* se encuentra en el cuarto de vapor de la caldera 1 en la unión de la tubería con el manifold mientras que la *fuga 2* se encuentra en una unión de

la tubería a inicios del segmento HI el cual está ubicado específicamente cuando la tubería sube al área entre el sector norte y este de *Planta 2*. Mientras tanto la *fuga 3* se encuentra en la siguiente unión después de *fuga 2*.

Según la información de la empresa el consumo de combustible es de 283,81€ en promedio por litro de búnker C y se consume 7580 litros cada 12 días y con la medición en lugar se comprobó que la caldera trabaja 3 horas por día y densidad del búnker C es de 989,7 kg/m³ [28], con estos datos el consumo es de 208,39 kg/h, el h_v según [29] es de 2 036,62 kJ/kg a 862 kPa (125psi), el PCS según [30] es de 42 460 kJ, y el η de la caldera según la información de la empresa es del 89%.

$$m_{vapor} = \frac{PCS \times \eta \times m_{comb}}{(h_v - h_{AA}) \times 10\,000} = \frac{42\,460 \times 0,89 \times 208,39}{(2\,036,62 - 104,89) \times 10\,000} = 0,408 Tn/h$$

En el caso de la *fuga 1* la cual tiene una hora de operación de 3 horas, el costo de generación de vapor es de 59 757,77 €/Tn, el tamaño del orificio es de 2mm, y una presión de vapor de 0,86MPa.

$$Fuga\ de\ vapor: 2^2 \times 4 \times 0,86 = 13,76$$

$$Costo\ de\ la\ Fuga = \frac{13,76 \times 3 \times 59\,757,77}{1\,000} = 2\,466,80\%$$

La *Fuga 1* genera pérdidas de 2466,8€ al día y por año esta fuga genera €887 81,19. Para las demás fugas se realiza el mismo procedimiento el cual se puede observar en la sección de cálculos. Los resultados de las pérdidas monetarias generadas por fugas se pueden observar en la *Tabla No 7*.

Tabla No 7. Costo por fugas.

	Tamaño (mm)	Horas de trabajo (h)	Costo de generación (€/Tn)	Presión de vapor (Mpa)	Costo de la fuga al día (€)	Costo de la fuga al año (€)	Costo total anual por fugas (€)
Fuga 1	2	3	59 742	0,86	2 466,15	887 813,91	
Fuga 2	1	3	59 742	0,56	404,51	145 623,68	1 179 061,27
Fuga 3	1	3	59 742	0,56	404,51	145 623,68	

Fuente: *Elaboración propia.*



Figura No 21. fuga 1.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 22. fuga 2.

Fuente: Elaboración propia.



Figura No 23. fuga 3.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las pérdidas de calor por falta de aislamiento o mal aislamiento se encuentra un total de 85,5m de tubería en estados de aislamiento defectuoso el cual está en tal estado que prácticamente no realiza ningún trabajo y 70m se encuentran sin aislamiento.



Figura No 24. Ejemplos de mal aislamiento del sistema de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis de la situación actual del sistema de vapor se puede observar que existen oportunidades de mejora tales como:

1. Fugas en diferentes partes del sistema.
2. Mal aislamiento o faltante de aislamiento en las tuberías.
3. Un sistema de tuberías innecesariamente largo.
4. Falta de trampas de vapor.
5. La falta de uso de la caldera Tai Sin.
6. Mala localización de los componentes que utilizan vapor.
7. El desuso de la freidora pues solo se utiliza 1 vez cada 15 días.
8. Cambio del sistema de descongelamiento por lo cual ya no es necesario el uso de la *Calentadora de Agua 3*.
9. Un cambio de tubería de menor calibre a mayor cuando en realidad debe de hacerse, al contrario.

Rediseño

Para el nuevo sistema de vapor se van a implementar diferencias notorias que van a ayudar a incrementar la eficiencia, la economía y el impacto ambiental respecto al sistema actual que posee la compañía. Entre las primeras propuestas se encuentra el traslado de diferentes equipos de *Planta 1* a *Planta 2* y esto es debido a diferentes razones. Entre las razones más importantes es que tal como se ven en el levantamiento de planos se puede observar que *Planta 2* posee suficiente espacio para almacenar estos equipos junto con los que ya se encontraban en sitio, por ende, esto haría que en *Planta 1* solo quede la freidora de plátano y por ende al mover la *Marmita 2* y *Marmita 3* de planta se va a ahorrar todos los metros de tubería por lo cual se reducen las pérdidas generadas por pérdida de calor, también es de bastante importancia que se estaría moviendo todos los procesos de generación de pastas en una sola planta lo cual se estaría ahorrando el traslado de producto de planta a planta y también se evita la división del personal en 2 sección bastantes separadas. Estos problemas de planeación de producción era un tema el cual la sección de producción de la empresa está bastante deseosa de solucionar debido a las molestias y problemas que generaba la planificación de producción. Esto último es de gran importancia debido a que la freidora de plátano solo es utilizada 1 vez cada 15 días por lo cual solo se tendría que enviar vapor a planta 1 cada 15 días haciendo casi innecesaria el sistema de vapor de *Planta 1*. También se estaría desconectando el calentador de agua 3 debido a que solo funcionaba cuando la caldera estaba encendida y es tan pequeño que fácilmente se puede cambiar por calentamiento por resistencias. Lo que se estaría ahorrando es de 118,8 m de tuberías de vapor al trasladar las marmitas que van de *Planta 2*, también se estaría ahorrando en 40 m de aislamiento que se debe poner o reemplazar, por último, se estaría ahorrando en todas las pérdidas que se ocasionan debido a la condensación de vapor al este viajar por tantos metros de tuberías.

Entre otros de los factores a mejorar se encuentra el utilizar en todo el sistema un aislamiento de forma correcta de 1 in y como regla de dedo se puede decir que se puede eliminar hasta un 95% de la pérdida de calor de una superficie sin aislar al utilizar aislante. Otro factor que arreglar en el nuevo sistema es la eliminación de fugas de vapor que se pudieron observar anteriormente que generan alrededor de 1 179 061 colones en pérdidas al año.

Con los datos de las máquinas se puede encontrar el consumo de vapor de estas y por ende la presión de trabajo y tamaño de las tuberías adecuadas. El nuevo diseño consta de un

sistema en forma de anillo con trampas de calor alrededor de *Planta 2* que alimenta todos los dispositivos y utiliza válvulas de cerrado para cerrar partes del anillo según el proceso de producción que se está realizando. Este nuevo sistema se puede observar en el esquema mostrado de la *Figura No 25* y en *Anexo* en los esquemas llamados *Planta rediseño 1*, *Planta rediseño 2*, *Planta rediseño 3*, *Planta rediseño 4*, y *Planta rediseño 5*.

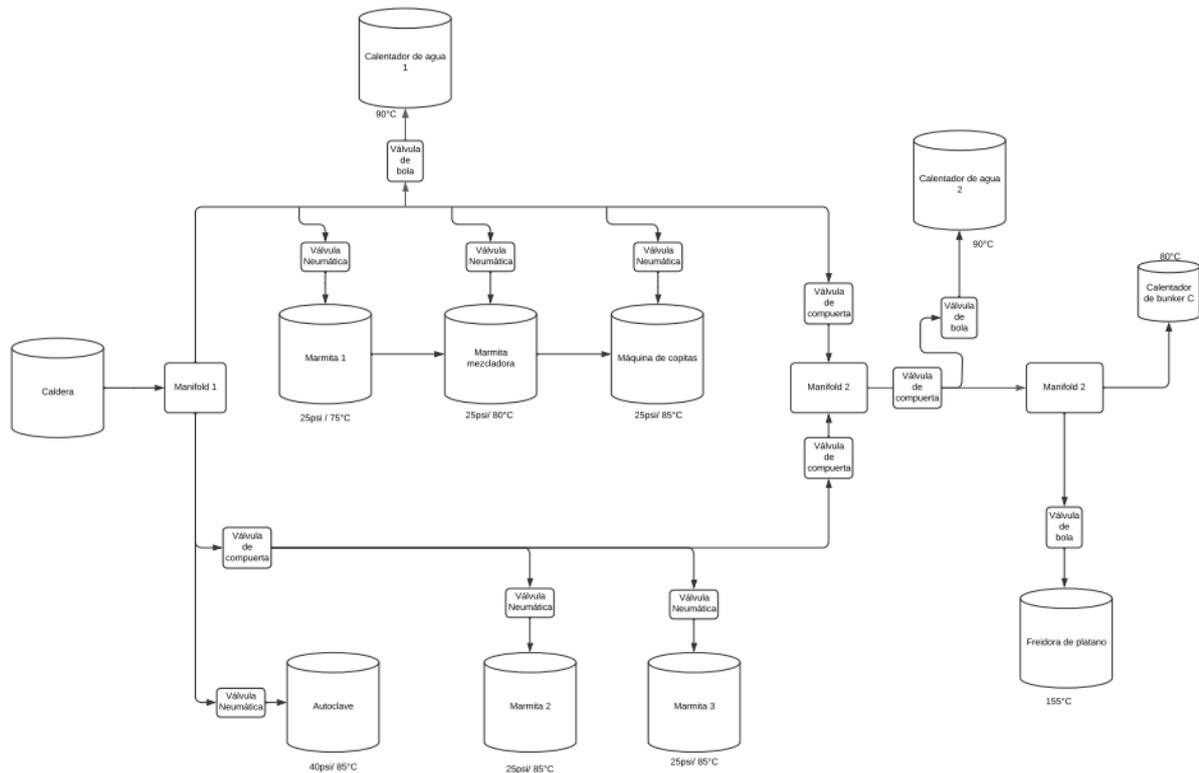


Figura No 25. Esquema de distribución de tuberías de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la estimación de consumo de vapor de los equipos se necesita saber primero la cantidad de energía que se va a ocupar. Para estos cálculos se necesita la masa del alimento que se va a calentar, el calor específico del alimento y saber qué tanto se va a incrementar la temperatura [25]. En el caso de la *Marmita 1* al cocinar mango se tiene una cantidad de 750kg, el calor específico del mango es de 3,74 kJ/ (kg °C) [23]. Con estos datos podemos aplicar la ecuación según [25] para hallar la cantidad de energía (Q):

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 750\text{kg} \times \frac{3,74\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (75 - 20)^\circ\text{C} = 154\,275\text{kJ}$$

En el caso de los equipos de la planta, todos estos califican como aplicaciones estáticas. Por lo cual se puede saber la tasa media de transferencia de calor al dividir la cantidad de energía obtenida anteriormente por el tiempo del proceso de calentamiento en segundos.

$$Q (kJ): \frac{154\,275\text{kJ}}{1\,500\text{s}} = 85,71\text{kJ/s}$$

Con todos estos datos se puede hallar el consumo medio de vapor con la ecuación según [PPP]:

$$Q (kg/s): \frac{128,56\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,038\text{kg}}{\text{s}} = 136,65\text{kg/h}$$

Con los consumos de los componentes los cuales se pueden observar en la *Ilustración 25*, el sistema de *Planta 2* se tiene un consumo total de 1 181 kg/h de vapor. Según el récord de la empresa del proceso de producción no se tiene más de un 30% como factor de simultaneidad debido a como está distribuida la producción y esto implica que máximo se utiliza la *Marmita 1*, *Marmita mezcladora*, *Máquina de copitas* y la *Autoclave* al mismo tiempo. En si el resto de los procesos funcionan a que la freidora de plátano se utiliza solamente 1 vez cada 2 semanas o como cuando se cocinan pastas no se utiliza el área de copitas.

Tabla No 8. Consumo de los equipos.

Equipo	Cantidad de producto (kg)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Tiempo de calentamiento (s)	Consumo medio de vapor (kg/h)
Marmita 1	750	20	75	1 800	136,65
Marmita mezcladora	550	75	80	1 800	9,11
Empaquetadora de copitas	50	80	85	600	2,48
Marmita 2	3 000	20	85	7 200	177,04
Marmita 3	500	20	85	3 600	59,01
Autoclave	700	20	85	1 800	156,77
Calentador de agua 1	500	20	90	1 800	129,58
Calentador de agua 2	1 000	20	90	2 400	194,38
Freidora	541,86	20	155	1 800	129,59
Calentador bunker C	1 903,4	20	80	5 400	140,94
Calentador de agua 3	1 000	20	80	1 800	222,14

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos podemos hallar el consumo actual

$$\frac{1\,135\text{kg}}{h} \times 0,3 = 305,01\text{kg/h}$$

Ahora se puede usar la *ecuación 4* para poder hallar el Factor de presión

$$F = \frac{8,62\text{bar} - 7,39\text{bar}}{34,26\text{m}} = 0,035$$

Con este dato podemos usar la Tabla 3 de [22] que se muestra en la *Figura No 4* para hallar la velocidad y el diámetro de tubería. En este caso al interpolar el valor de 572,4 / 78,70 y 275 / 37,82 dando un $y = 41,94$ con diámetro de 2 in. Utilizando la Tabla 4 de [22] se puede observar que se muestra en la Figura 3 se puede calcular la velocidad real de vapor según [22]:

$$\text{Velocidad real} = 41,94 \times 0,272 = 11 \text{ m/s}$$

Como la velocidad no supera los 25/35 m/s se puede tomar como correcto el diámetro. En la siguiente imagen se puede observar los diámetros de tubería principal tomando en cuenta los consumos más importantes y abriendo el sector izquierdo del anillo para la alimentación de la *Calentadora de Agua 2* y *Freidora*.

Tabla No 9. Diámetros de tubería.

Segmento	Diámetro (pulg)
AB	2
BJ	2
CJ	1,5
CJ	2
JK	2
KM	2
O-Freidora	2,5
N-Bunker	2,5

Fuente: Elaboración propia.

Por último, es importante añadir dos trampas en los sectores más bajos del sistema las cuales consisten en los puntos I y K que en este caso sería una trampa de vapor termodinámica Spirax Sarco TD42 la cual es manejada por la empresa Tecnoval ubicada en Costa Rica. Esta trampa se escogió debido a que tiene una presión máxima de operación de 42 bar g, una temperatura máxima de 400°C las cuales son condiciones superiores a las necesitadas y por falta de un modelo con condiciones más bajas esta se vuelve una opción viable. También se

utilizó válvulas de compuertas en diferentes sectores del anillo de distribución de vapor de *Planta 2* de tal modo que solo se va a poder un sector del anillo según el proceso productivo que se esté realizando.

Análisis de costos.

Al comparar los dos sistemas, el actual y el propuesto se puede ver que entre los errores que posee el actual es de que este se encuentra sobredimensionado pues en partes se necesita una tubería de 1,5, 2, y 2,5 pulgadas y las actuales son de 2 y 3 pulgadas basta para las aplicaciones actuales del sistema mientras que la actual es de 3 pulgadas. Entre los efectos del sobredimensionamiento según [31] se encuentran que se formará mayor volumen de condensado a causa de las pérdidas de calor debido a que el área de la tubería es mayor y se pueden observar en el calor perdido en el cálculo de aislante térmico, como esta tubería ya se encuentra hecha no se debe preocupar por el costo de instalación, pero otro efecto que si es de tomar encuentra es que la calidad de vapor disminuye.

En cuanto a pérdidas se puede observar que en el sistema actual se ocupan generar 407 kg/h de vapor para alimentar la producción, pero en si lo que se cupa es cerca de 305kg/h de vapor por lo cual se puede ver que cerca de un cuarto de vapor es desperdiciado, esto equivale a cerca de 1 900 litros de búnker C desperdiciados que tienen un costo de 542 565,42 colones cada 12 días, esto en años vendría a ser de 16 276 962 colones. Esto se puede lograr con buenos aislantes, buena distribución, mejora de eficiencia con retorno de condensados, entre otros.

Entre las pérdidas por aislante se encuentra que se pueden calcular con la *ecuación 9*. Esta ecuación es para hallar las pérdidas en el estado actual:

$$Q_c = \frac{(320 - 68)}{\frac{0,33}{0,24} \times \ln\left(\frac{0,33}{0,0835}\right) + \frac{1}{1,65}} * (2 \times \pi \times 0,1667 \times 357,12) \times 3\ 240$$
$$= 122,37 \text{ millones BTU}$$

Para las pérdidas sin aislante se encuentra que se pueden calcular con la *ecuación 10*. Esta ecuación es para hallar las pérdidas en el rediseño:

$$Q_s = 2,95 \times (320 - 68) \times (2 \times \pi \times 0,125 \times 541,17) \times 3240 = 965,1 \text{ millones BTU}$$

El ahorro sería cerca de 842,73 millones de BTU y el costo se puede sacar con la siguiente ecuación según [27]:

$$\text{Ahorro} = 842,73 \times 10^6 \text{ BTU} \times \frac{0,0010551 \text{ MJ}}{1 \text{ BTU}} * \frac{1 \text{ L}}{41,9 \text{ MJ} * 0,89} * 283,5 \frac{\text{¢}}{\text{L}} = 6\ 759\ 757 \text{ ¢}$$

De siguiente forma se calcula las pérdidas generadas por los metros de tubería con y sin aislante que se están removiendo al eliminar tuberías innecesarias. Estos cálculos se pueden observar en la sección de anexos. Con estos datos podemos observar que el ahorro total suma cerca de 10 977 432,27 colones.

Los costos para poder realizar el rediseño se pueden observar en la *Tabla No 10* en la cual se encuentra el desglose de todos los componentes necesarios para la creación del anillo de distribución y del aislante necesario.

El análisis de flujo de efectivo realizado demuestra la alta rentabilidad del proyecto. La *Tabla No. 11* presenta los resultados trimestrales, donde se observa una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 55% por trimestre, significativamente superior al costo de capital trimestral del 2,5% (equivalente al 10% anual) detallado en la misma tabla.

Tabla No 10. Costos de componentes.

Componente	Precio (colones)	Cantidad	Total (colones)
Trampa termodinamica	345 940	2	691 880
Tubo Hierro negro 2" 6m	78 000	22	1 716 000
Aislante 2" 90cm	4 500	171	769 500
Valvulas de compuerta bronce 2"	120 810	4	483 240
codo hierro negro 2"x90°	2 900	6	17 400
Flanger C/Rosca Acero A105 2"	3 000	22	66 000
TEE Hierro negro ced-40 2"	3 280	7	22 960
Niple hierro negro 2"	1 350	25	33 750
Separador P/vapor rosca spirax sarco 1"	332 970	1	332 970
Total			4 133 700

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No 11. Análisis de rentabilidad.

Costo Capital Anual	10%				
Costo Capital Trimestral	0.025				
Periodo de análisis	Cuatro trimestres				
Trimestre	0	1	2	3	4
Inversion Inicial	-CRC 4,133,700.00				
Costos de operación	0				
Beneficio en reducción de costos en producción de vapor		CRC 2,744,358.07	CRC 2,744,358.07	CRC 2,744,358.07	CRC 2,744,358.07
Flujo de efectivo	-CRC 4,133,700.00	CRC 2,744,358.07	CRC 2,744,358.07	CRC 2,744,358.07	CRC 2,744,358.07
TIR	55%				
VAN	CRC 6,190,504.27				

Nota: Elaboración propia.

Implementación

Para el caso de la implementación es necesario hacerlo por diferentes etapas. En caso de realizar el proceso de cambio de tubería se sugiere seguir los siguientes pasos los cuales según [17] deben de tomar en cuenta el impacto en la producción, calidad y tiempos de producción:

1. Planeación de la compra de los materiales.
2. Elección de días para la desinstalación e instalación de las tuberías. Se sugiere un sábado en la tarde y Domingos pues en ese horario no se utiliza el vapor para la producción por lo cual no se interrumpe la producción.
3. Desinstalar la tubería de *Planta 2*.
4. Instalar la nueva sección de tubería junto con su respectivo aislamiento.
5. Realizar prueba para evitar una mala colocación.
6. Desinstalar la tubería del área superior de *Planta 2*.
7. Instalar la nueva sección de tubería junto con su respectivo aislamiento.
8. Realizar prueba para evitar una mala colocación.
9. Desinstalar la tubería del área de conexión entre *Planta 2* y *Planta 1*.
10. Instalar la nueva sección de tubería junto con su respectivo aislamiento.
11. Realizar prueba para evitar una mala colocación.

Estas consideraciones se hicieron respecto a la planificación de producción de la empresa. En cuanto a la implementación de la instalación del aislante en secciones viejas de la tubería, este se puede realizar de forma menos invasiva al proceso de producción pues una gran

cantidad de las tuberías a instalar aislante no se encuentran en un área compartida con el proceso de producción. También es importante aclarar que la empresa tiene trabajadores los cuales se encargan de la construcción y por lo tanto ya sea para la implementación de cualquiera de las dos situaciones o las dos al mismo tiempo solamente se les debe de coordinar para que estén libres y no se encarguen de labores menores la cual es la mayor parte del tiempo.

Conclusiones

1. Se realizó de forma correcta un análisis de la efectividad que tiene el diseño actual del sistema el cual tiene varias carencias, entre estas un gran número de metros de tubería sin aislante o en mala condición, sobredimensionado de tuberías, y un red larga e ineficiente de distribución de vapor. Estos defectos generan el consumo extra de 57 791,67 litros de búnker C al año con un valor aproximado de 16 503 018,75 colones.
2. En el nuevo diseño que se realizó atacó efectivamente tres diferentes factores tales como: las ineficiencias en el sistema que se veían como en falta de aislante térmico y falta de arreglo de las fugas de vapor, dejar de tener dividida la producción en dos diferentes plantas, la reducción de la longitud del sistema de distribución mediante la creación del anillo de distribución en Planta 2. Estos cambios generan una mejora en la coordinación y ejecución del proceso productivo y a su vez una reducción del consumo de 38 721 litros de búnker C al año con un valor aproximado de 10 977 432,27 colones.
3. También se logró realizar un análisis financiero el cual demuestra que es bastante rentable el realizar los cambios propuestos con un valor de TIR de 55% y un VAN de 6 190 504,27 colones.
4. Se realizó la creación de un sistema de pasos con sugerencias el cual se puede seguir de forma tal que interrumpe la producción de la menor manera posible.

Recomendaciones

1. Entrenar al personal para que se corrija el modo de operar actual donde no se reportaban los daños en las tuberías y en el aislamiento, De esta forma se puede mejorar la eficiencia y por ende reducir las pérdidas y las emisiones liberadas al medio ambiente.
2. Realizar la conexión de la caldera Tai Sin en el caso que la freidora se empiece a utilizar en mayor medida para así no tener las pérdidas de calor de enviar el vapor desde *Planta 2*.
3. Realizar un sistema de retorno el cual no consta en estos momentos para así ahorrar en químicos de tratamiento de agua y al calentar el agua de alimentación se estaría mejorando la eficiencia.
4. Eliminar toda la tubería que no esté en uso, esto con el fin de facilitar las labores de mantenimiento.
5. Realizar un plan de mantenimiento preventivo para asegurar el buen estado de las líneas.
6. Considerar una nueva caldera en caso de que la actual no se encuentre en los parámetros establecidos en el reglamento de caldera. En este caso se recomienda una caldera Bosch ELSB 1 con una capacidad de 350 kg/h de vapor y 238 kW. Esta caldera es de menor capacidad a la actual pero debido al consumo se puede observar que esta es más que suficiente. Otro aspecto que considerar es que esta caldera es eléctrica por lo cual según los precios del kWh del país puede generar un ahorro en dinero respecto al consumo.

Bibliografia

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. (2020) 2020 ASRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (I-P Edition). [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpASHRAEX1/toc?b-q=steam%20system%20design&include_synonyms=no&q=steam%20system%20design&sort_on=default
- [2] CIBSE. (2015) Design and Operation of Modern Steam Systems - CIBSE TM58 – 2015. [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpDOMSSCI1/toc?b-q=steam%20system&cid=kpDOMSSCI1&include_synonyms=no
- [3] R. Martin, (2022) Thermal Systems Design – Fundamentals and Projects. [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpTSDFP003/toc?b-q=steam%20system%20design&cid=kpTSDFP003&include_synonyms=no
- [4] G. Pienta, (2015) Plumbing Engineering Design Handbook - A Plumbing Engineer's Guide to System Design and Specifications, Volume 3 - Special Plumbing Systems. [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpPEDHAP42/toc?b-q=Plumbing%20Engineering%20Design%20Handbook%20-%20A%20Plumbing%20Engineers%20Guide%20to%20System%20Design%20and%20Specifications%2C%20Volume%203%20-%20Special%20Plumbing%20Systems&cid=kpPEDHAP42&include_synonyms=no
- [5] H. Taplin, (2014) Boiler Plant and Distribution System Optimization Manual. [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpBPDSOME2/toc?b-q=steam%20system%20pressure%20drop&cid=kpBPDSOME2&include_synonyms=no
- [6] I. Sutton, (2017) Plant Design and Operation. [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpPDOE0001/toc?b-q=steam%20traps&cid=kpPDOE0001&include_synonyms=no
- [7] X. Ma, Y. Du, T. Zhao, T. Zhu, B. Lei, Y. Wu, "A comprehensive review of compression high-temperature heat pump steam system: status and trend" 2023. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.itcr.ac.cr/science/article/pii/S014070072400152X>

- [8] P. Therkelsen, A. McKane. "Implementation and rejection of industrial steam system energy efficiency measures" 2013. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.itcr.ac.cr/science/article/pii/S0301421513000876>
- [9] P. Thollander, M. Karlsson, P. Rohdin, J. Wollin, J. Rosenqvist, "Energy efficiency in steam and pumping systems" 2020. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.itcr.ac.cr/science/article/pii/B9780128172476000080>
- [10] A. Hasanbeigi, G. Harell, B. Schreck, P. Monga, "Moving beyond equipment and to systems optimization: techno-economic analysis of energy efficiency potentials in industrial steam systems in China" 2016. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.itcr.ac.cr/science/article/pii/S0959652616001682>
- [11] T. Xu, Z. Huo, T. Wang, J. Lv, Y. Han, L. Mu, "Multi-objective optimization of gas-steam-power system for an integrated iron and steel mill considering carbon emission reduction and cost" 2023. [Online]. Available: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.itcr.ac.cr/science/article/pii/S095965262303562X>
- [12] N. Rona, Libelula, "Costa Rica: Programa País de Carbono Neutralidad 2.0 – Categoría Organizacional" 2019. [Online]. Available: https://ledslac.org/wp-content/uploads/2020/05/EdC-Carbono-Neutralidad-Costa-Rica-ene20_mod.pdf
- [13] Caminos de Sol, "Sistema de gestión de la energía" 2023.
- [14] Soporte, "¿CÓMO SE CALCULA EL CONSUMO DE VAPOR INDUSTRIAL?" 2023. [Online]. Available <https://vaporparalaindustria.com/como-se-calcula-el-consumo-de-vapor-industrial/>
- [15] Soporte, "RETORNO DE CONDENSADO EN SISTEMAS DE VAPOR: ¿QUÉ DEBES SABER PARA SACARLE EL MÁXIMO PROVECHO?" 2019. [Online]. Available: <https://vaporparalaindustria.com/retorno-de-condensado-en-sistemas-de-vapor-que-debes-saber-para-sacarle-el-maximo-provecho/>
- [16] A. Lester, (2017) "Project Management, Planning and Control - Managing Engineering, Construction and Manufacturing Projects to PMI, APM and BSI Standards" [Online]. Available: https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/kn/resources/kpPMPCMEC9/toc?b-q=economic%20viability%20of%20engineering%20project&include_synonyms=no&q=economic%20viability%20of%20engineering%20project&sort_on=default
- [17] G. Pahl and W. Beitz and J. Feldhusen and K. H. Grote, Engineering Design, London, Sringer, 2007.
- [18] Corporación interamericana de inversiones, "Reducción de facturación de combustibles fósiles a través del uso racional de la energía" 2018 [Online]. Available: <https://www.pesic.org/wp-content/uploads/2018/05/1-Componentes-de-un-Sistema-de-Vapor.pdf>

- [19] Soporte, “10 consejos prácticos para optimizar el rendimiento de las líneas de vapor y reducir costos”, 2023. [Online]. Available: <https://vaporparalaindustria.com/10-consejos-practicos-para-optimizar-el-rendimiento-de-las-lineas-de-vapor-y-reducir-costos/>
- [20] AMS Steam Technology, “¿Cuánto cuestan las fugas de vapor?” 2020 [Online]. Available: <https://www.amspain.es/cuanto-cuestan-las-fugas-de-vapor>
- [21] Thermal Engineering LTDA, “Costo de generación de Vapor” [Online]. Available: https://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo_precio_generacion_vapor.pdf
- [22] Sarco s.a, Distribución de vapor.
- [23] “Specific Heat of selected Fruits and Vegetables” [Online]. Available: https://fyi.extension.wisc.edu/cropstorage/files/2019/09/Specific_heat_fruits-Vegetables.pdf
- [24] Vaxasoftware, “Tabla de calor específico” [Online]. Available: https://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/calorespec.pdf
- [25] Spirax Sarco, “Methods of Estimating Steam Consumption” [Online]. Available: <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/methods-of-estimating-steam-consumption#article-top>
- [26] Soporte, “¿Cómo se calcula el consumo de vapor industrial?” 2023 [Online]. Available: <https://vaporparalaindustria.com/como-se-calcula-el-consumo-de-vapor-industrial/>
- [27] CII, “REDUCCIÓN DE FACTURACIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES A TRAVÉS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA” 2018 [Online]. Available: <https://www.pesic.org/wp-content/uploads/2018/05/3-Aislamiento-Termico-en-Sistemas-de-Vapor.pdf>
- [28] Recope, “Búnker C” 2023 [Online]. Available: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/bunker-c/>
- [29] TLV, “Calculadora: Tabla de Vapor Saturado por Presión” 2024 [Online]. Available: <https://toolbox.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-pressure.html>
- [30] Recope, “Poder calórico” 2021 [Online]. Available: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/poder-calorico/>
- [31] Spirax Sarco, “Guía de referencia técnica Distribución de Vapor” [Online]. Available: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/fca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315#:~:text=Sobredimensionar%20las%20tuber%C3%ADas%20significa%20que,de%20condensado%20que%20se%20forma.>

Apéndice

Cálculos

Costo de la Fuga 2

Datos: el consumo es de 208,39 kg/h, el h_v según es de 2 036,62 kJ/kg a 0,56 MPa (125psi), el PCS es de 42 460 kJ, y el η es del 89%. Horas de operación de 3 horas, el costo de generación de vapor es de 59 757,77 ¢/Tn, el tamaño del orificio es de 1mm.

$$Fuga\ de\ vapor: 1^2 * 4 * 0,56 = 2,24$$

$$Costo\ de\ la\ Fuga = \frac{2,24 * 3 * 59\ 757,77}{1\ 000} = 401,57\text{¢}$$

Costo de la Fuga 3

Datos: el consumo es de 208,39 kg/h, el h_v según es de 2036,62 kJ/kg a 0,56 MPa (125psi), el PCS es de 42 460 kJ, y el η es del 89%. Horas de operación de 3 horas, el costo de generación de vapor es de 59757.77 ¢/Tn, el tamaño del orificio es de 1mm.

$$Fuga\ de\ vapor: 1^2 * 4 * 0,56 = 2,24$$

$$Costo\ de\ la\ Fuga = \frac{2,24 * 3 * 59\ 757,77}{1\ 000} = 401,57\text{¢}$$

Consumo de Marmita Mezcladora

$$Cantidad\ de\ energia\ (kJ): 550kg * \frac{3,74kJ}{kg^{\circ}C} * (80 - 75)^{\circ}C = 10\ 285kJ$$

$$\dot{Q}\ (kJ): \frac{154\ 275kJ}{600s} = 17,14kJ/s$$

$$\dot{m}_s\ (kg/s): \frac{128,56kJ/s}{2\ 258kJ/kg} = \frac{0,00759kg}{s} = 27,33kg/h$$

Consumo de Empaquetadora de copitas

$$Cantidad\ de\ energia\ (kJ): 50kg * \frac{3,74kJ}{kg^{\circ}C} * (85 - 80)^{\circ}C = 935kJ$$

$$\dot{Q}\ (kJ): \frac{935kJ}{600s} = 1,558kJ/s$$

$$\dot{m}_s\ (kg/s): \frac{1,558kJ/s}{2\ 258kJ/kg} = \frac{0,0069kg}{s} = 2,48kg/h$$

Consumo de la Marmita 2

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 3\,000\text{kg} * \frac{4,1\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (85 - 20)^\circ\text{C} = 799\,500\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{799\,500\text{kJ}}{7200\text{s}} = 111,04\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{111,04\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,0491\text{kg}}{\text{s}} = 177,04\text{kg/h}$$

Consumo de la Marmita 3

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 500\text{kg} * \frac{4,1\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (85 - 20)^\circ\text{C} = 133\,250\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{133\,250\text{kJ}}{3600\text{s}} = 37,01\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{37,01\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,0164\text{kg}}{\text{s}} = 59,01\text{kg/h}$$

Consumo de la Autoclave

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 700\text{kg} * \frac{3,89\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (85 - 20)^\circ\text{C} = 176\,995\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{176\,995\text{kJ}}{1\,800\text{s}} = 98,33\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{98,33\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,0435\text{kg}}{\text{s}} = 156,77\text{kg/h}$$

Consumo del Calentador de agua 1

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 500\text{kg} * \frac{4,18\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (90 - 20)^\circ\text{C} = 146\,300\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{146\,300\text{kJ}}{1\,800\text{s}} = 81,277\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{81,277\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,0359\text{kg}}{\text{s}} = 129,58\text{kg/h}$$

Consumo del Calentador de agua 2

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 1\,000\text{kg} * \frac{4,18\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (90 - 20)^\circ\text{C} = 292\,600\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{292\,600\text{kJ}}{2\,400\text{s}} = 121,916\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{121,916\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,00539\text{kg}}{\text{s}} = 194,38\text{kg/h}$$

Consumo del Calentador de agua 3

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 1\,000\text{kg} * \frac{4,18\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (80 - 20)^\circ\text{C} = 250\,800\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{250\,800\text{kJ}}{1\,800\text{s}} = 139,33\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{139,33\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,062\text{kg}}{\text{s}} = 222,14\text{kg/h}$$

Consumo de la Freidora

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 541,86\text{kg} * \frac{2\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (155 - 20)^\circ\text{C} = 146\,302,2\text{kJ}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{146\,302,2\text{kJ}}{1\,800\text{s}} = 81,279\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{81,279\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,0359\text{kg}}{\text{s}} = 129,59\text{kg/h}$$

Consumo del Calentador de búnker C

$$\text{Cantidad de energía (kJ): } 1903,4\text{kg} * \frac{4,1\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (80 - 20)^\circ\text{C} = 477\,372,72\text{J}$$

$$\dot{Q} \text{ (kJ): } \frac{477\,372,72\text{kJ}}{5\,400\text{s}} = 88,40\text{kJ/s}$$

$$\dot{m}_s \text{ (kg/s): } \frac{88,40\text{kJ/s}}{2\,258\text{kJ/kg}} = \frac{0,0391\text{kg}}{\text{s}} = 140,94\text{kg/h}$$

$$1\,135\text{kg/h} * 0,3 = 305,01\text{kg/h}$$

Ahora se puede hallar usar la ecuación 4 para poder hallar el Factor de presión

$$F = \frac{8,62\text{bar} - 7,39\text{bar}}{34,26\text{m}} = 0,035$$

Diámetro marmita 2

$$F = \frac{8,62\text{bar} - 7,77\text{bar}}{16\text{m}} = 0,05$$

Con este dato podemos usar la Tabla 3 de [22] que se muestra en la Figura 4 para hallar la velocidad y el diámetro de tubería. En este caso al interpolar el valor de 338,8 / 73,96 y 301,7 / 65,71 dando un $y = 66,45$ con diámetro de 1,5 pulg. Utilizando la Tabla 4 de [22] se

puede observar que como se muestra en la Figura 3 se puede calcular la velocidad real de vapor según [22]:

$$Velocidad\ real = 66,45 * 0,219 = 14,55m/s$$

Diámetro Autoclave

$$F = \frac{8,62bar - 8,2bar}{10,07m} = 0,04$$

Con este dato podemos usar la Tabla 3 de [22] que se muestra en la *Figura 4* para hallar la velocidad y el diámetro de tubería. En este caso al interpolar el valor de 572,4 / 78,70 y 275/ 37,82 dando un $y = 41,94$ con diámetro de 2 pulg. Utilizando la Tabla 4 de [22] se puede observar que como se muestra en la Figura 3 se puede calcular la velocidad real de vapor según [22]:

$$Velocidad\ real = 41,94 * 0,272 = 11m/s$$

Diámetro Calentador de agua 2

$$F = \frac{7,02bar - 6,7bar}{48,65m} = 0,0065$$

Con este dato podemos usar la Tabla 3 de [22] que se muestra en la *Figura 4* para hallar la velocidad y el diámetro de tubería. En este caso al interpolar el valor de 496,8 / 39,19 y 268,9/ 21,21 dando un $y = 24,05$ con diámetro de 2 pulg. Utilizando la Tabla 4 de [22] se puede observar que como se muestra en la Figura 3 se puede calcular la velocidad real de vapor según [22]:

$$Velocidad\ real = 24,05 * 0,361 = 8,68m/s$$

Diámetro Freidora

$$F = \frac{6,3bar - 6,02bar}{90m} = 0,003$$

Con este dato podemos usar la Tabla No 3 de [22] que se muestra en la *Figura No 4* para hallar la velocidad y el diámetro de tubería. En este caso al interpolar el valor de 306,4 / 54,45 y 275/ 37,82 dando un $y = 24,06$ con diámetro de 2,5 pulg. Utilizando la *Tabla No 4* de [22] se puede observar que como se muestra en la *Figura No 3* se puede calcular la velocidad real de vapor según [22]:

$$Velocidad\ real = 24,06 * 0,361 = 8,7m/s$$

Diámetro de Calentador de búnker C

$$F = \frac{6,3bar - 6,02bar}{82,8m} = 0,003$$

Con este dato podemos usar la Tabla 3 de [22] que se muestra en la *Figura 4* para hallar la velocidad y el diámetro de tubería. En este caso al interpolar el valor de 306.4 / 54.45 y 275/ 37.82 dando un $y = 24.06$ con diámetro de 2.5 in. Utilizando la Tabla 4 de [22] se puede observar que como se muestra en la *Figura 3* se puede calcular la velocidad real de vapor según [22]:

$$Velocidad\ real = 24,06 * 0,361 = 8,7m/s$$

Pérdidas por tuberías eliminadas

Para las pérdidas con aislante se pueden calcular con la ecuación 9. Esta ecuación es para hallar las pérdidas en el rediseño:

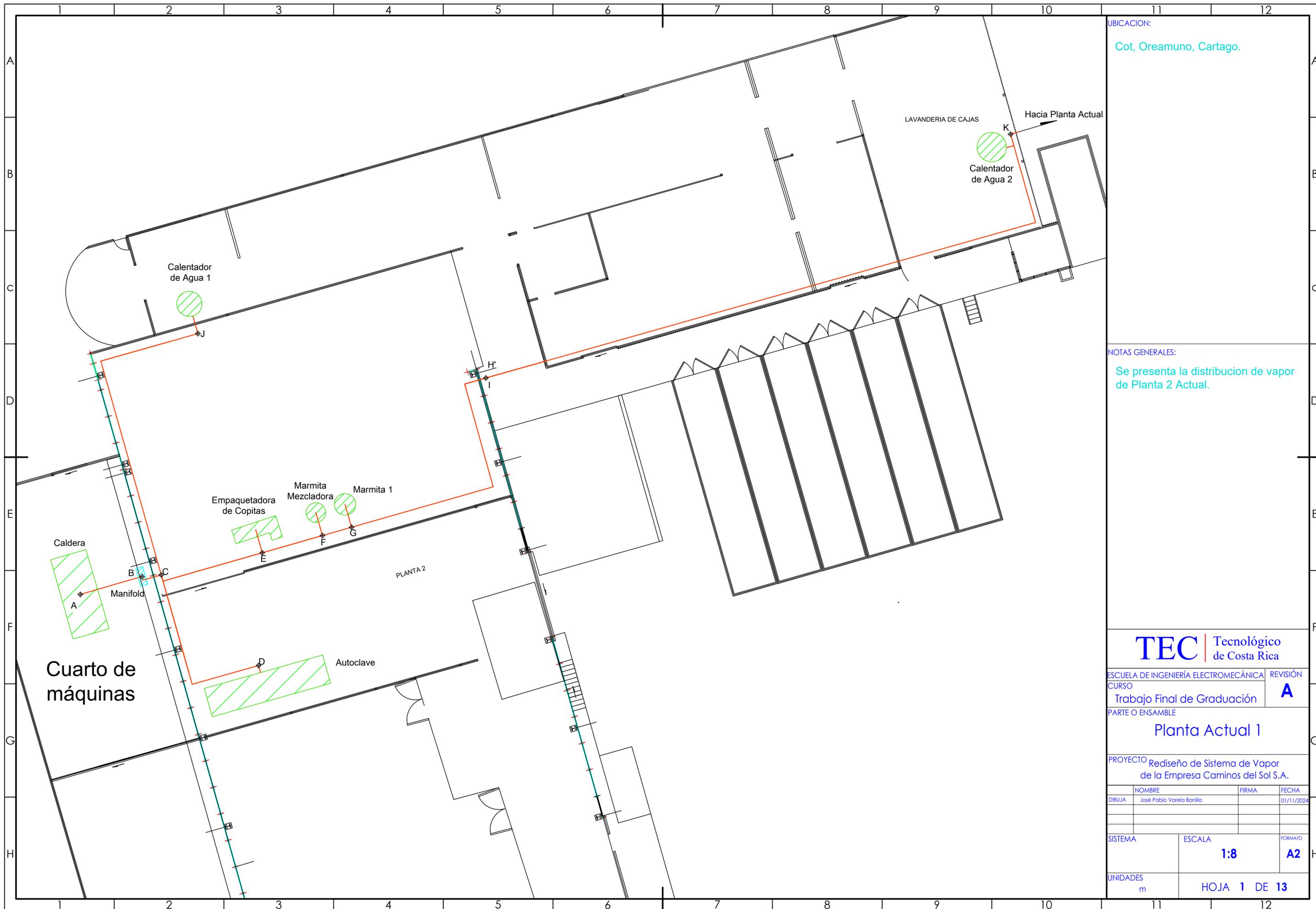
$$Q_c = \frac{(320 - 68)}{\frac{0,167}{0,24} \times \ln\left(\frac{0,167}{0,0833}\right) + \frac{1}{1,65}} * (2 \times \pi \times 0,167 \times 236,22) \times 3\ 240$$

$$= 185,66\ millones\ BTU$$

Para las pérdidas sin aislante se encuentra que se pueden calcular con la *ecuación 10*. Esta ecuación es para hallar las pérdidas en el rediseño:

$$Q_s = 2,95 \times (320 - 68) \times (2 \times \pi \times 0,0833 \times 153,22) \times 3\ 240 = 193,16\ millones\ BTU$$

$$Ahorro = 378,82 \times 10^6 BTU \times \frac{0,0010551 MJ}{1 BTU} * \frac{1 L}{41,9 MJ * 0,89} * 283,5 \frac{\$}{L} = 3\ 038\ 614 \$$$



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta la distribucion de vapor de Planta 2 Actual.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

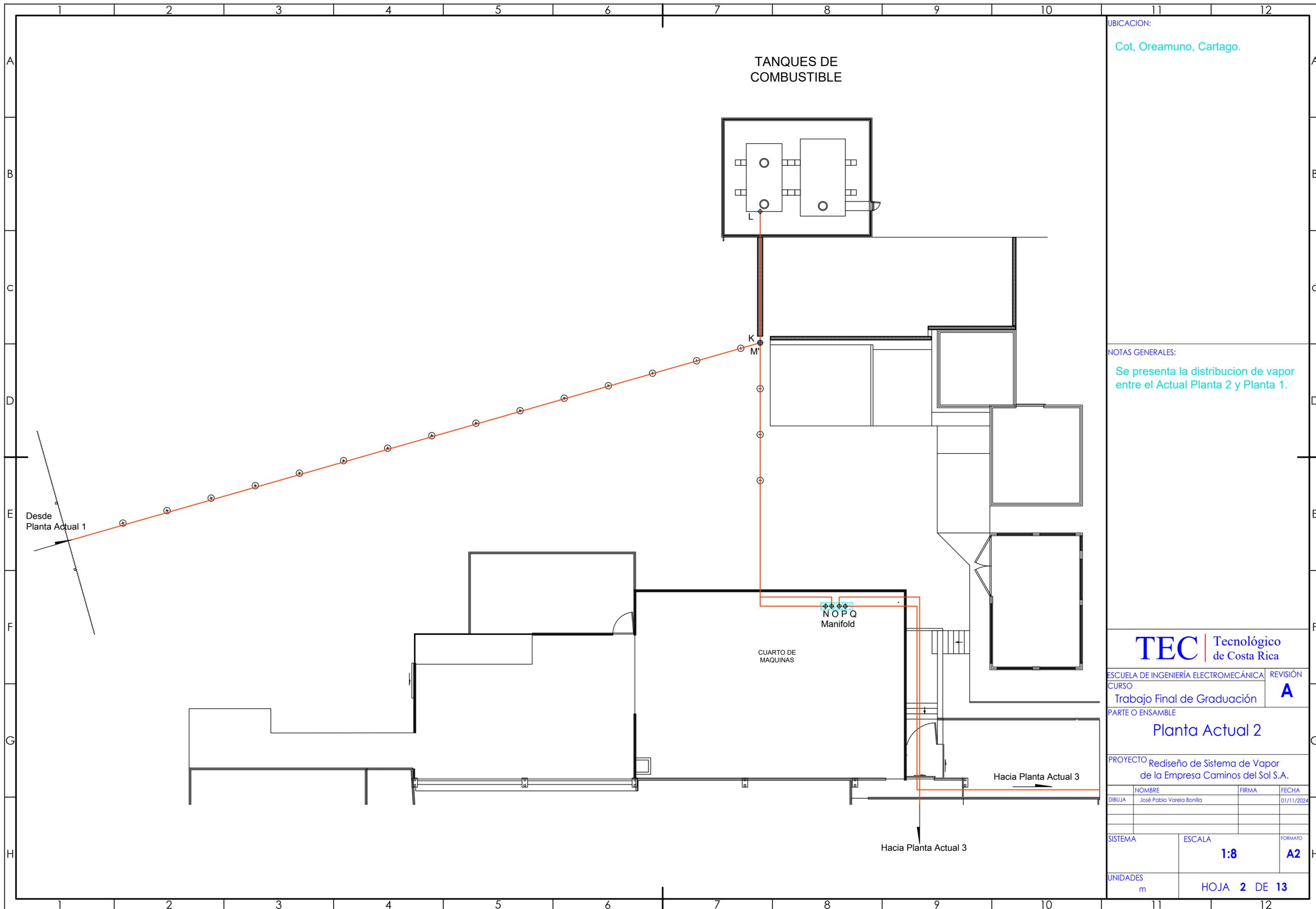
PARTE O ENSAMBLE
Planta Actual 1

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:8	A2

UNIDADES m
HOJA **1** DE **13**



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta la distribución de vapor entre el Actual Planta 2 y Planta 1.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

PARTE O ENSAMBLE
Planta Actual 2

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:8	A2

UNIDADES m HOJA **2 DE 13**



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta la distribución de vapor en la Actual Planta 1.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

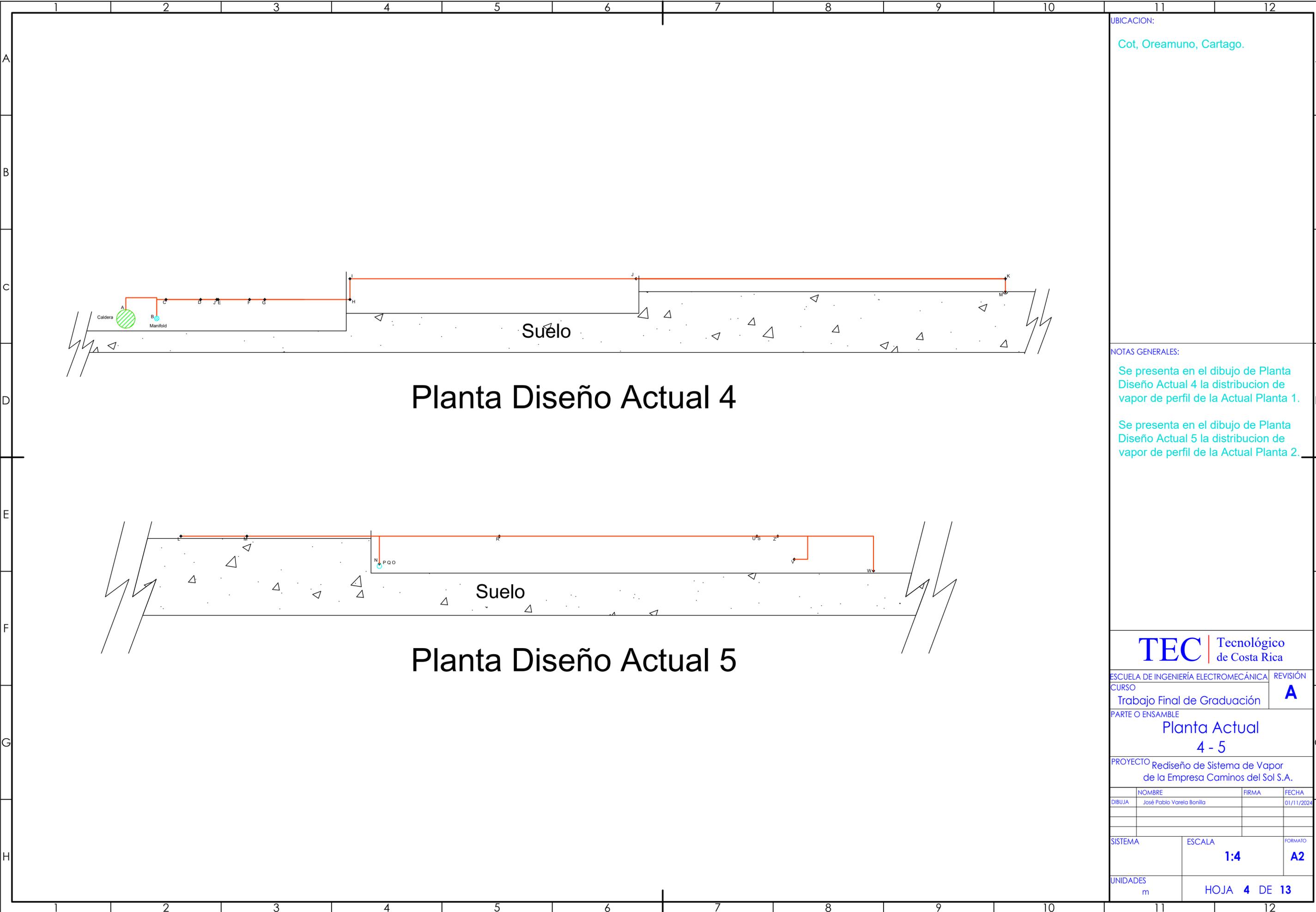
PARTE O ENSAMBLE
Planta Actual 3

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:6,67	A2

UNIDADES m HOJA **3** DE **13**



Planta Diseño Actual 4

Planta Diseño Actual 5

UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta en el dibujo de Planta Diseño Actual 4 la distribución de vapor de perfil de la Actual Planta 1.
Se presenta en el dibujo de Planta Diseño Actual 5 la distribución de vapor de perfil de la Actual Planta 2.

TEC Tecnológico de Costa Rica			
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA			REVISIÓN
CURSO			A
Trabajo Final de Graduación			
PARTE O ENSAMBLE			
Planta Actual 4 - 5			
PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.			
DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024
SISTEMA		ESCALA	FORMATO
		1:4	A2
UNIDADES		HOJA 4 DE 13	
m			



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta la distribución de vapor del rediseño de Planta 2.

- Simbología:
-  Válvula de Compuerta
 -  Trampa de Vapor
 -  Termodinámica

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

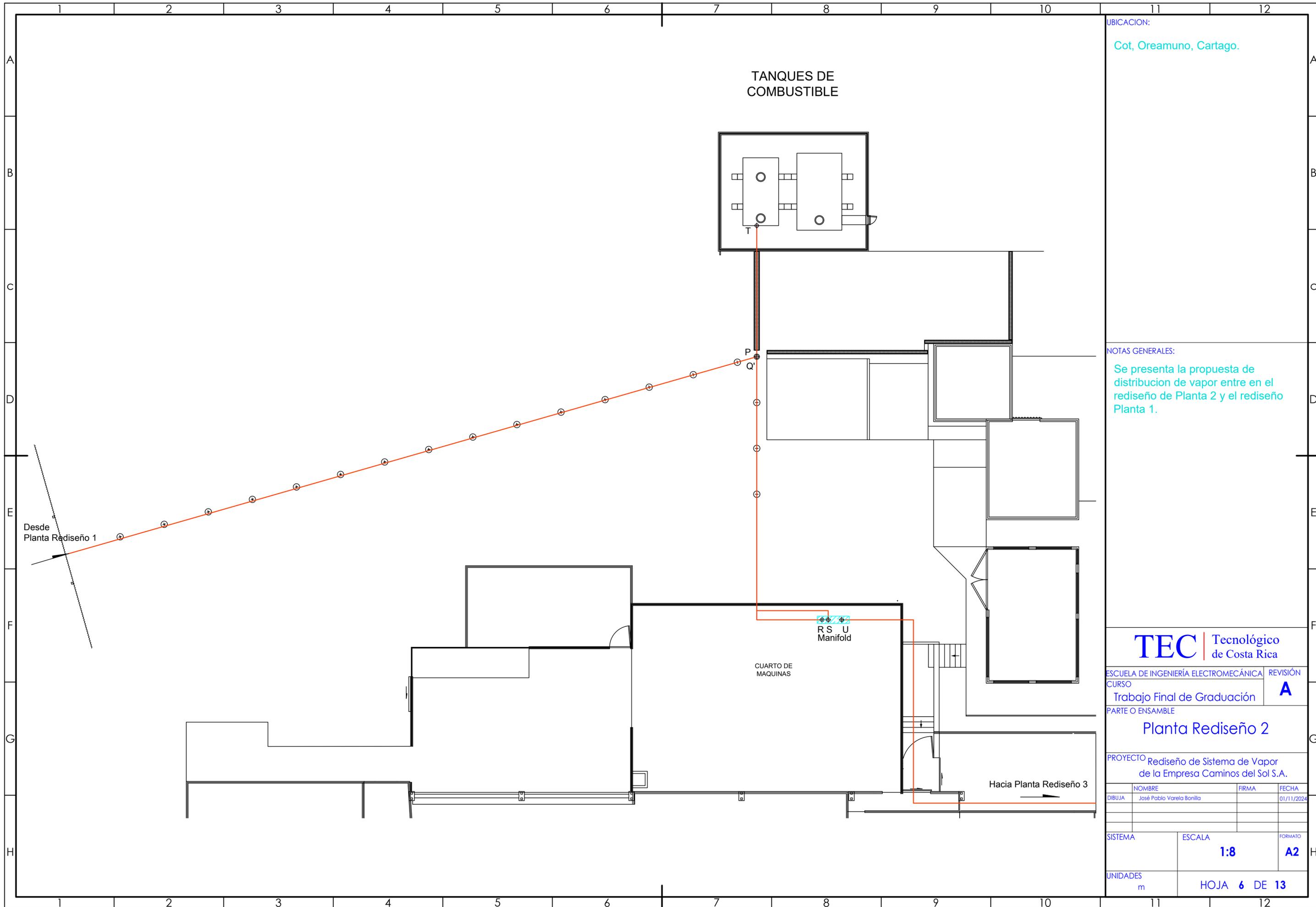
PARTE O ENSAMBLE
Planta Rediseño 1

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:8	A2

UNIDADES	HOJA	DE	TOTAL
m	5	DE	13



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta la propuesta de distribución de vapor entre en el rediseño de Planta 2 y el rediseño Planta 1.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

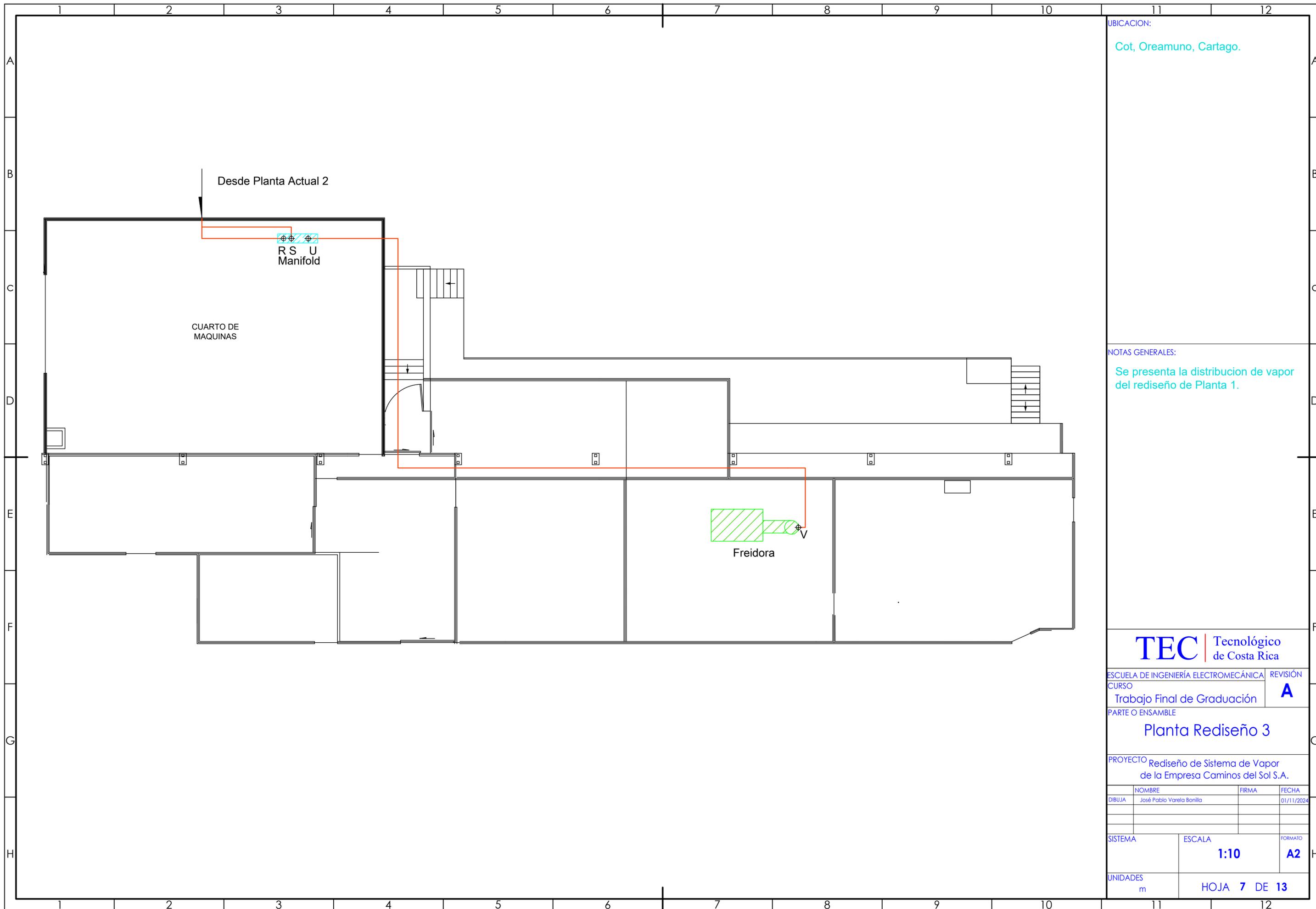
PARTE O ENSAMBLE
Planta Rediseño 2

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:8	A2

UNIDADES	HOJA	DE	TOTAL
m	6	DE	13



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta la distribución de vapor del rediseño de Planta 1.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

PARTE O ENSAMBLE
Planta Rediseño 3

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

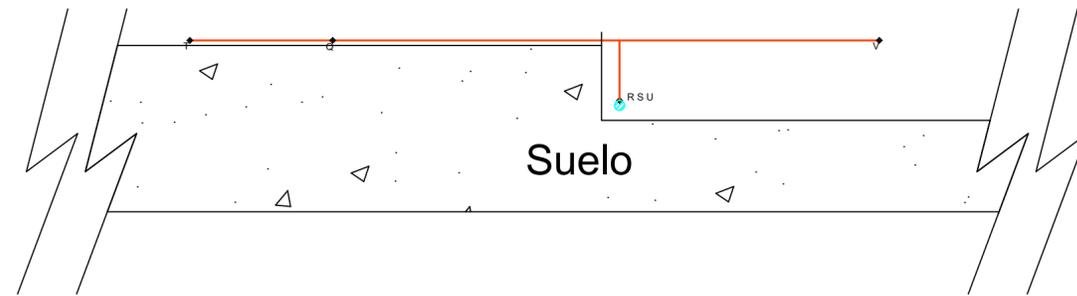
DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:10	A2

UNIDADES	HOJA	DE	TOTAL
m	7	DE	13



Rediseño de Planta 4



Rediseño de Planta 5

UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Se presenta en el dibujo de Planta Rediseño 4, la distribución de vapor de perfil del rediseño de Planta 1.
Se presenta en el dibujo de Planta Rediseño 5, la distribución de vapor de perfil del rediseño de Planta 2.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

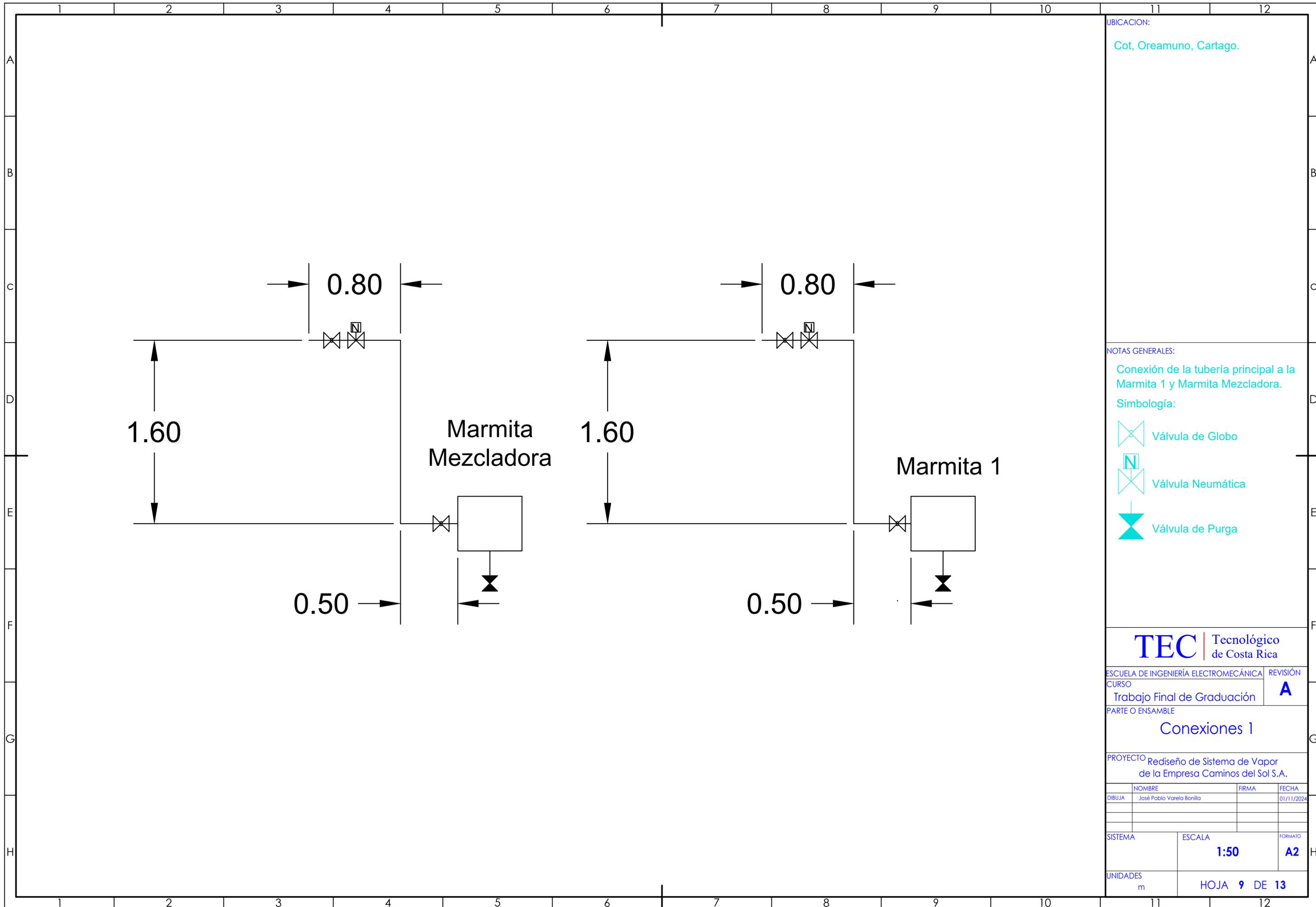
PARTE O ENSAMBLE
Planta Rediseño 4-5

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:4	A2

UNIDADES	HOJA	DE	TOTAL
m	8	DE	13



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Conexión de la tubería principal a la Marmita 1 y Marmita Mezcladora.
Simbología:

-  Válvula de Globo
-  Válvula Neumática
-  Válvula de Purga

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN

CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

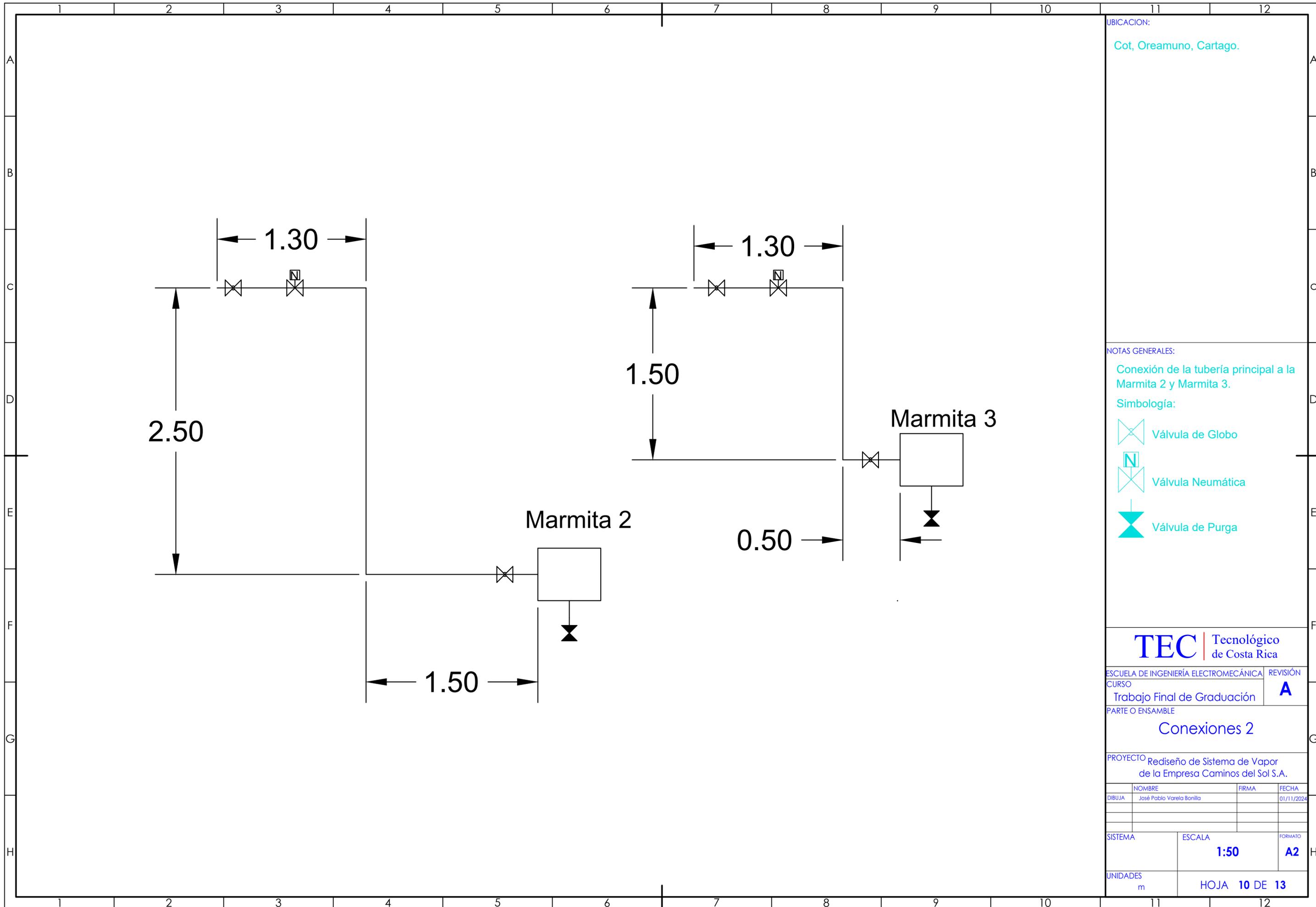
PARTE O ENSAMBLE
Conexiones 1

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:50	A2

UNIDADES	HOJA	DE	TOTAL
m	9	DE	13



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Conexión de la tubería principal a la Marmita 2 y Marmita 3.

- Simbología:
-  Válvula de Globo
 -  Válvula Neumática
 -  Válvula de Purga

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN
CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

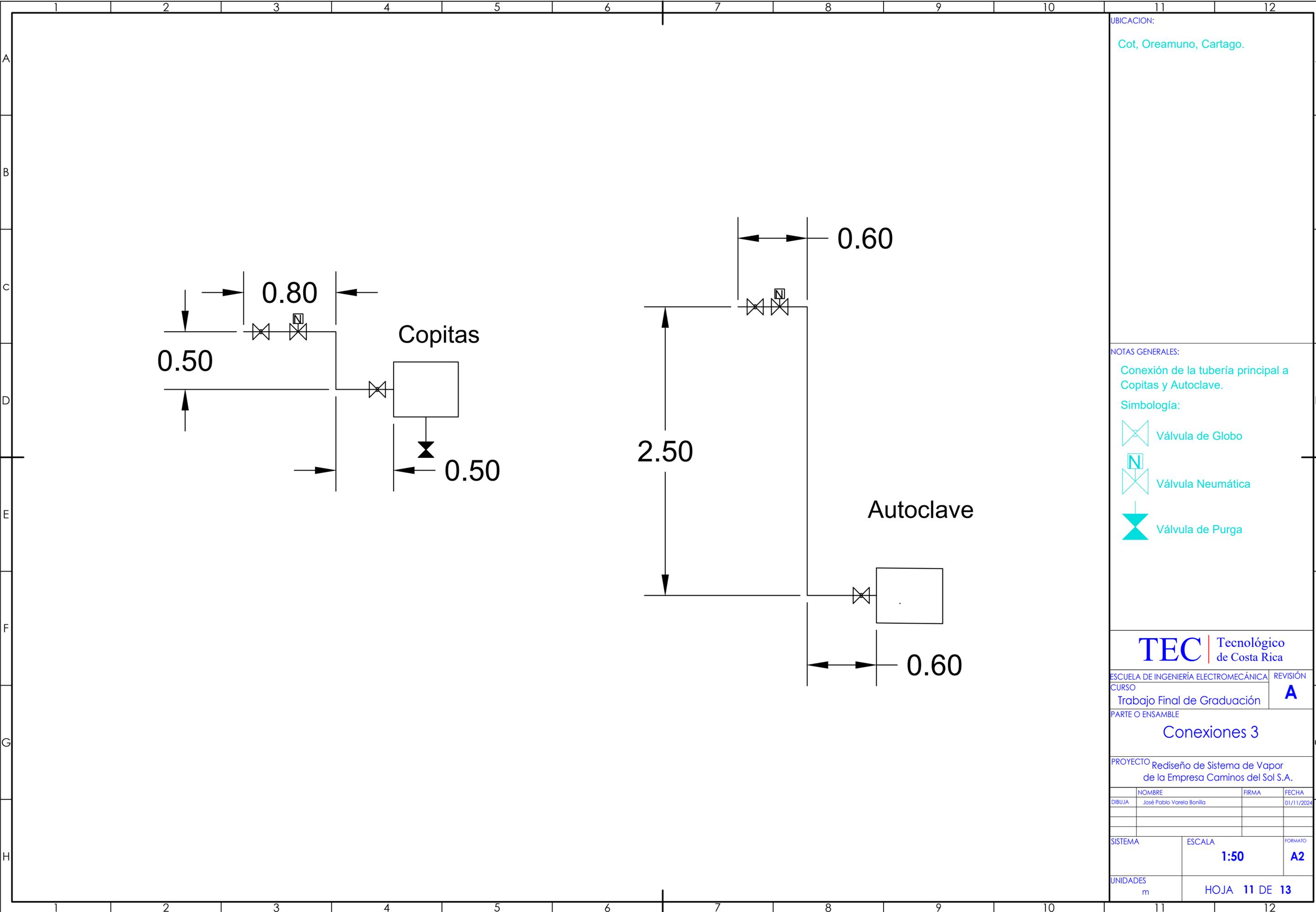
PARTE O ENSAMBLE
Conexiones 2

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:50	A2

UNIDADES	HOJA	DE	TOTAL
m	10	DE	13

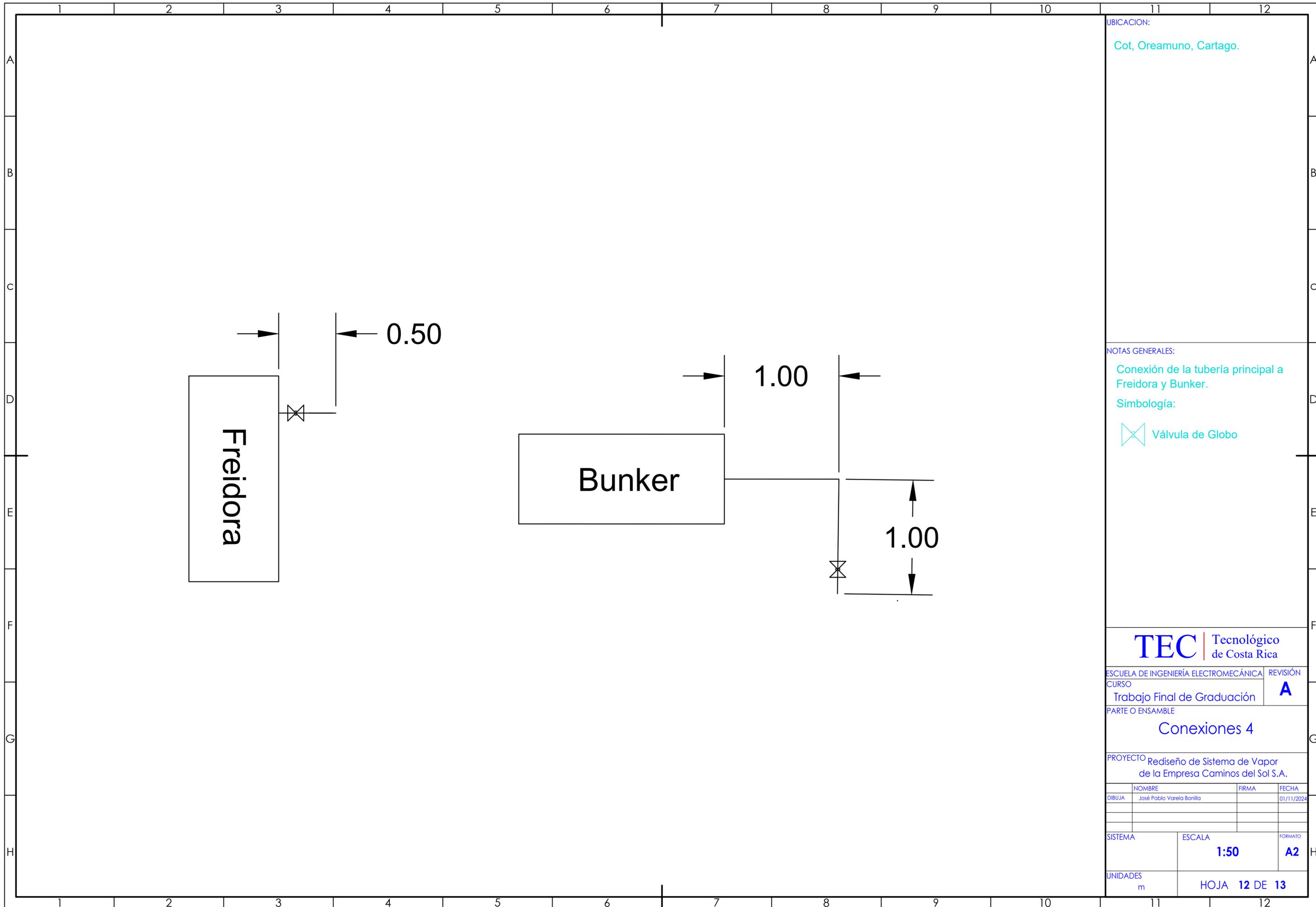


UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Conexión de la tubería principal a Copitas y Autoclave.
Simbología:
 Válvula de Globo
 Válvula Neumática
 Válvula de Purga

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	REVISIÓN	
CURSO	A	
Trabajo Final de Graduación		
PARTE O ENSAMBLE		
Conexiones 3		
PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.		
NOMBRE	FIRMA	FECHA
José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024
SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:50	A2
UNIDADES	HOJA 11 DE 13	
m		



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:
Conexión de la tubería principal a Freidora y Bunker.

Simbología:
 Válvula de Globo

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN

CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

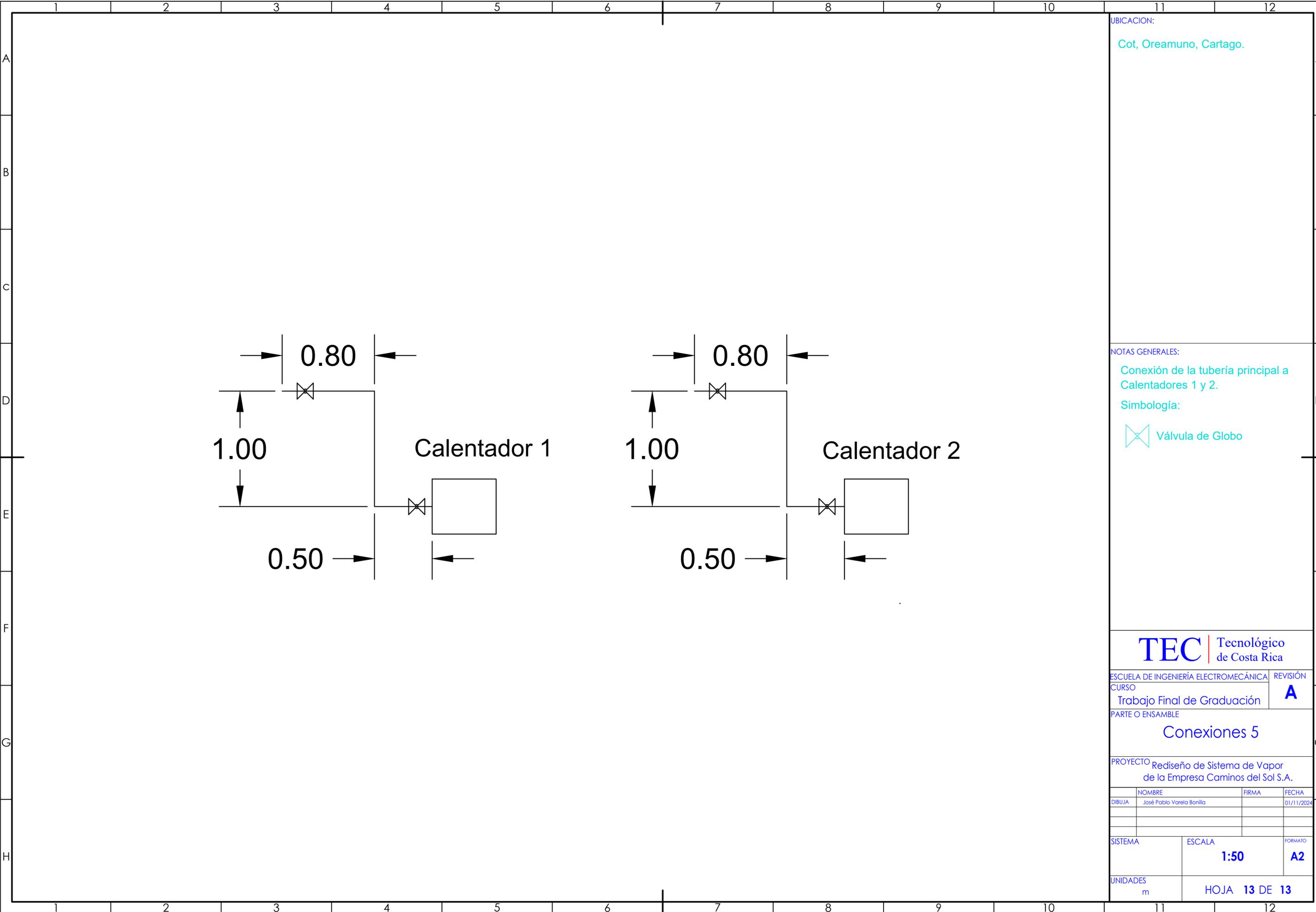
PARTE O ENSAMBLE
Conexiones 4

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:50	A2

UNIDADES	HOJA
m	12 DE 13



UBICACION:
Cot, Oreamuno, Cartago.

NOTAS GENERALES:

Conexión de la tubería principal a Calentadores 1 y 2.

Simbología:



TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA REVISIÓN

CURSO Trabajo Final de Graduación **A**

PARTE O ENSAMBLE

Conexiones 5

PROYECTO Rediseño de Sistema de Vapor de la Empresa Caminos del Sol S.A.

DIBUJA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	José Pablo Varela Bonilla		01/11/2024

SISTEMA	ESCALA	FORMATO
	1:50	A2

UNIDADES	HOJA
m	13 DE 13