

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
PARA UNIDADES HPU MARCA MTS

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

LABORATORIO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
LANAMMEUCR

PROFESOR TUTOR:
ING. MANUEL CENTENO LÓPEZ.

ESTUDIANTE:
MANUEL JIMÉNEZ ROMERO. 200903383.

SAN PEDRO, MONTES DE OCA, SAN JOSÉ, COSTA RICA 2014



Escuela Acreditada por el
Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)

Profesor guía: Ing. Manuel Centeno López
Asesor industrial: Encargado de Mantenimiento Jorge Mora Paniagua

Información del estudiante y de la empresa

Nombre: Manuel de Jesús Jiménez Romero

Cédula o No. Pasaporte: 3-386-740

Carné ITCR: 200903383

Dirección de su residencia en época lectiva: Pacayas, Alvarado, Cartago. 500 m este del BNCR.

Dirección de su residencia en época no lectiva: Pacayas, Alvarado, Cartago. 500 m este del BNCR.

Teléfono en época lectiva: 25344074 / 88815130.

Teléfono época no lectiva: 25344074 / 88815130

Email: manjimrom@gmail.com

Fax: NaN

Información del Proyecto:

Nombre del Proyecto: Diseño e implementación de un sistema de enfriamiento para unidades HPU marca MTS.

Profesor Asesor: Ing. Manuel Centeno López.

Horario de trabajo del estudiante: Lunes, Martes, Jueves y Viernes. 8:00 – 16:00

Información de la Empresa:

Nombre: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanemmeUCR)

Zona: Departamento de Mantenimiento.

Dirección: San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica. Ciudad de la Investigación. Universidad de Costa Rica.

Teléfono: (506) 2511-2500

Fax: (506) 2511-4440

Apartado: 11501-2060

Actividad Principal: se especializa en la investigación para la mejora de la infraestructura civil, vial y líneas vitales mediante el uso de la tecnología aplicada en ensayos a los materiales de construcción

Dedicatoria

Por todo el apoyo que me han dado en todos estos años, por enseñarme el valor no de lo material sino de lo que realmente importa en la vida, lo cual son las personas que nos rodean.

Por enseñarme a nunca rendirme y que no importa lo que se obtiene sino es lo que se da.

Por enseñarme el valor de la familia, aprender que no importan los problemas, enfermedades o dificultades que se tengan en la vida si nos mantenemos unidos.

Porque por ustedes soy quién soy ahora y cada día me hace querer ser mejor persona.

A ustedes mis padres les dedico esto.

Simplemente, ¡gracias por todo!

Agradecimiento

Primeramente y más importante, agradezco a toda mi familia, padres, abuelita, hermanos, sobrinos, primos y todos aquellos que han estado ahí siempre apoyándome para seguir adelante, y me han dado ese empujón importante para no detenerme en esta travesía.

Agradezco también a los profesores, Ing. Manuel Centeno López, profesor tutor de la práctica y al Ing. Alberto Garro Zabaleta en el desarrollo de la práctica, sin ellos no hubiese sido posible culminarla de la mejor manera.

A los profesores en general de la escuela de Ing. en Mantenimiento Industrial por todos estos años que me instruyeron no sólo para aprender los conceptos básicos de mi carrera y ponerlos en práctica, sino que es una obligación como profesional aplicarlo al ámbito social y ayudar a quienes lo necesiten y más importante hacerlo por el beneficio de nuestro país

Al encargado en Mantenimiento del LanammeUCR el señor Jorge Mora Paniagua por la ayuda brindaba en el desarrollo de la práctica y por los conocimientos que me transmitió y que trascenderán con el tiempo.

A todas las personas del LanammeUCR, que no sólo me ayudaron en el desarrollo de la práctica, sino que hicieron una estadía confortable y me brindaron su mano cuando lo necesité.

Agradezco por último y no menos importante a todas esas personas que estuvieron ahí y que de alguna u otra forma ya sea con consejos, experiencia o apoyo, me ayudaron para seguir adelante en el transcurso de la carrera.

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo.....	15
Abstract.....	17
Introducción	19
Definición del problema.....	21
Capítulos.....	24
Capítulo I – Acerca de la empresa	24
Capítulo II – Análisis de equipos.	28
Capítulo III – Diseños propuestos	36
Diseño 1.....	36
Implementar intercambiador de calor y depósito de agua caliente para calentar agua y utilizarla en otros laboratorios del LanammeUCR.	36
Análisis energético y económico para poder implementar un intercambiador de calor y calentar agua para equipos de otros laboratorios del LanammeUCR.	39
Diseño 2.....	44
Implementación de circuito cerrado con sistema de enfriamiento por intercambiador de calor y reposición de agua por agua llovida.	44
Análisis de ahorro económico y del recurso acuífero al implementar un circuito cerrado de enfriamiento de agua.....	46
Diseño 3.....	54
Implementación de intercambiador de calor y depósito de agua, con un circuito cerrado de abastecimiento de agua fría para los equipos HPU.....	54
Capítulo IV – Análisis de diseños y selección de diseño a implementar	56
Capítulo V – Desarrollo del diseño	62
Capítulo VI – Equipo a utilizar	65
Sistema de enfriamiento y caudal necesario en los equipos para enfriamiento. ...	67
Tubería para agua caliente y agua fría.....	72
Bomba para recirculación de agua.....	74
Variador de frecuencia	77
Instalación eléctrica.....	84

Capítulo VII – Análisis del agua llovida	88
Capítulo VIII – Impacto ambiental	90
Capítulo IX – Análisis económico y tiempo de retorno de inversión.....	91
Conclusiones	94
Recomendaciones	95
Bibliografía	96
Apéndice	97
Anexos	137

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones para HPU modelo 505.07 (HPU 1).	28
Tabla 2. Especificaciones para HPU modelo 505.11-G2 (HPU 2).	29
Tabla 3. Especificaciones para HPU modelo 510.21C (HPU 3).	30
Tabla 4 – Consumo en KWh/mes de las HPU.....	33
Tabla 5 – Consumo de agua calculado en metros cúbicos (m ³) y Litros (L) del uso de las HPU por año. (Datos medidos en sitio).....	34
Tabla 6 – Consumo de agua calculado en un tiempo de determinado.	35
Tabla 7. Equipos consumidores de agua caliente en otros laboratorios del LanammeUCR.	37
Tabla 8. Valores de la temperatura máxima de salida del agua de las HPU.	39
Tabla 9. Masa de agua a calentar en los equipos.	40
Tabla 10. Consumo de energía en las resistencias para calentar agua de 26,4° C a temperatura de uso.	40
Tabla 11. Consumo de energía en las resistencias para calentar agua de 55° C a temperatura de uso.	41
Tabla 12. Potencia consumida total antes de implementar el diseño calentando el agua de 26,4° C a su temperatura de uso.....	42
Tabla 13. Potencia consumida total después de implementar el diseño calentando el agua de 55° C a su temperatura de uso.	42
Tabla 14. Consumo eléctrico del mes de agosto, según datos suministrados por CNFL.	43
Tabla 15. Consumo eléctrico del mes de agosto, después de haber implantado el diseño.	43
Tabla 16. Consumo de agua de cada una de las HPU medidas en el sitio.....	48
Tabla 17. Consumo de agua de cada una de las HPU.....	48
Tabla 18. Consumo de agua en m ³ /año de equipos HPU para cálculo de consumo en colones.	49
Tabla 19. Cobro por Acueducto para tarifa de Gobierno.	50
Tabla 20. Cobro por rubro Acueducto para HPU 505.07.	50
Tabla 21. Cobro por rubro Alcantarillado para HPU 505.07.	51
Tabla 22. Cobro por rubro Hidrantes para HPU 505.07.....	51

Tabla 23. Cobro total por año para HPU 505.07.	51
Tabla 24. Cobro por rubro Acueducto para HPU 505.11-G2.	51
Tabla 25. Cobro por rubro Alcantarillado para HPU 505.11-G2.....	52
Tabla 26. Cobro por rubro Hidrantes para HPU 505.11-G2.....	52
Tabla 27. Cobro total por año para HPU 505.11-G2.....	52
Tabla 28. Cobro por rubro Acueducto para HPU 510.21C.	52
Tabla 29. Cobro por rubro Alcantarillado para HPU 510.21C.....	53
Tabla 30. Cobro por rubro Hidrantes para HPU 510.21C.	53
Tabla 31. Cobro total por año para HPU 505.11-G2.....	53
Tabla 32. Cobro total por año para las tres HPU.....	53
Tabla 33. Consumo de agua de equipos HPU según temperatura de entrada del agua.....	62
Tabla 34. Características del agua de enfriamiento para la HPU modelo 505.07.	66
Tabla 35. Características del agua de enfriamiento para la HPU modelo 505.11- G2.....	66
Tabla 36. Características del agua de enfriamiento para la HPU modelo 510.21C.	66
Tabla 37. Valores mínimos y máximos de las condiciones ambientales requeridas para el diseño del sistema de enfriamiento.	67
Tabla 38. Flujo de agua necesario a Temperaturas máximas y mínimas de la torre de enfriamiento para enfriar HPU.....	70
Tabla 39. Energía extraída del agua en la torre de enfriamiento.	71
Tabla 40. Consumo de agua y presión para las HPU para obtener un intercambio de calor eficiente en el sistema.	74
Tabla 41. Caída de presión total debido a la temperatura del agua y longitud de la tubería en el trasiego del agua fría y caliente.	74
Tabla 42. Característica de bomba marca Goulds.	75
Tabla 43. Característica de bomba marca Goulds.	77
Tabla 44. Característica de equipos eléctricos a instalar.....	84
Tabla 45. Cálculos para tablero trifásico a instalar.	87
Tabla 46. Química del agua necesaria para intercambiadores de calor de las HPU.	88

Tabla 47. Resultados de análisis de agua llovida hecho por el CICA.....	89
Tabla 48. Cotizaciones para equipos a instalar en implementación.	91
Tabla 49. Gasto en colones de los equipos.....	93
Tabla 50. Tiempo de retorno de inversión.	93
Tabla 51. Cálculo de flujo de agua necesario para enfriamiento de HPU.....	120
Tabla 52. Cálculo de energía necesaria para extraer el calor del agua proveniente de los equipos HPU.	121
Tabla 53. Caída de presión en tubería, tramo 1-3 con agua @Tmin _{fría} = 12° C..	124
Tabla 54. Caída de presión en tubería, tramo 3-5 con agua @Tmin _{fría} = 12° C..	124
Tabla 55. Caída de presión en tubería, tramo 5-6 con agua @Tmin _{fría} = 12° C..	126
Tabla 56. Caída de presión en tubería, tramo 1-3 con agua @Tmin _{caliente} = 26° C.	127
Tabla 57. Caída de presión en tubería, tramo 3-5 con agua @Tmin _{caliente} = 26° C.	128
Tabla 58. Caída de presión en tubería, tramo 6-5 con agua @Tmin _{caliente} = 26° C.	129
Tabla 59. Caída de presión en tubería, tramo 5-7 con agua @Tmin _{caliente} = 26° C.	130
Tabla 60. Consumo estimado de agua por los equipos HPU por año.	131
Tabla 61. Consumo estimado de agua en m ³ /año y costo en colones del uso de HPU 505.07	132
Tabla 62. Consumo estimado de agua en m ³ /año y costo en colones del uso de HPU 505.11-G2	133
Tabla 63. Consumo estimado de agua en m ³ /año y costo en colones del uso de HPU 510.21C.....	134
Tabla 64. Potencia eléctrica consumida por las HPU.....	135
Tabla 65. Potencia eléctrica consumida de equipos eléctricos a implementar. ..	135
Tabla 66. Costo en colones del consumo por los equipos eléctricos antes de implementar.	136
Tabla 67. Costo en colones del consumo por los equipos eléctricos después de implementar.	136
Tabla 68. Viscosidad absoluta y cinemática del agua a diferentes temperaturas.	139

Tabla 69. Promedios mensuales de datos climáticos en la zona de Sabanilla. ... 140

Índice figuras e imágenes.

Imagen 1. Celdas de carga instaladas en los laboratorios del LanammeUCR.	21
Imagen 2. HPU instaladas en los laboratorios del LanammeUCR.....	22
Imagen 3. Ubicación del LanammeUCR.	24
Imagen 4. Estructura Organizacional del LanammeUCR.	27
Imagen 5. Distribución de componentes para HPU modelo 505.07 y 505.11-G2. (Tomado de manual usuario)	31
Imagen 6. Distribución de componentes para HPU modelo 510.21C. (Tomado de manual usuario)	32
Imagen 7. Válvula reguladora y de solenoide de las HPU modelo 505.07 y 505.11- G2. (Tomado de manual de usuario).....	32
Imagen 8. Diseño Diagrama de diseño 1 propuesto para utilización del agua caliente.	36
Imagen 9. Diagrama de diseño 2 propuesto para enfriamiento del agua.....	44
Imagen 10. Diagrama de diseño 3 propuesto para enfriamiento del agua y utilización de agua caliente.	54
Imagen 11. Distribución de equipos a instalar y tubería en implementación de sistema de enfriamiento para equipos HPU.	64
Imagen 12. Carta psicrométrica para cálculo de temperatura de bulbo húmedo en la zona.	68
Imagen 13. Datos aplicados a la carta psicrométrica para cálculo de temperatura de bulbo seco en la zona.	69
Imagen 14. Curva característica para bombas de agua marca Goulds, modelo JRS10.	75
Imagen 15. Dimensiones externas del variador de frecuencia en pulgadas.	78
Imagen 16. Variador de frecuencia seleccionado para el proyecto.....	78
Imagen 17. Partes del variador de frecuencia seleccionado. (Tomado de manual de usuario).....	79
Imagen 18. Diagrama unifilar para la instalación eléctrica de los equipos.	86

Imagen 19. Celda de carga hidráulica para pruebas de tracción y compresión en materiales marca MTS® modelo 370.10 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.	97
Imagen 20. Celda de carga hidráulica para pruebas de tracción y compresión en materiales marca MTS® modelo 318.25 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.	98
Imagen 21. Celda de carga hidráulica para pruebas de tracción y compresión en materiales marca MTS® tipo universal instalada en el laboratorio de estructura civil del LanammeUCR.....	99
Imagen 22. HPU marca MTS® modelo 505.07 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.....	100
Imagen 23. HPU marca MTS® modelo 505.11-G2 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.....	101
Imagen 24. HPU marca MTS® modelo 510.21C instalada en el laboratorio de estructura civil del LanammeUCR.	102
Imagen 25. Entrada de agua fría y salida de agua caliente para HPU modelo 505.07.....	103
Imagen 26. Entrada de agua fría y salida de agua caliente para HPU modelo 510.21C.	104
Imagen 27. Entrada de agua fría y salida de agua caliente para HPU modelo 505.11G2.	105
Imagen 28. Dato de placa de HPU modelo 505.07.	106
Imagen 29. Dato de placa de HPU modelo 507.11-G2.....	107
Imagen 30. Dato de placa de HPU modelo 510.21.	108
Imagen 31. Plano de diseño a implementar.	109
Imagen 32. Vista en planta del Edificio A, LanammeUCR.....	110
Imagen 33. Corte de planta de zona de implementación.....	111
Imagen 34. Corte de planta de zona de implementación y distribución de equipos.	112
Imagen 35. Diagrama unifilar de conexiones mecánicas y longitudes.....	113
Imagen 36. Diagrama unifilar de conexiones mecánicas, diámetros de tuberías y flujos.	114
Imagen 37. Diagrama isométrico de las conexiones mecánicas del sistema.....	115
Imagen 38. Diagrama unifilar de las conexiones eléctricas de los equipos.	116

Imagen 39. Carta psicométrica.	117
Imagen 40. Datos extremos de condiciones ambientales aplicados a la carta psicométrica para encontrar la temperatura del bulbo húmedo en la zona.	118
Imagen 41. Acercamiento de datos extremos de condiciones ambientales aplicados a la carta psicométrica para encontrar la temperatura del bulbo húmedo en la zona.	119
Imagen 42. Intercambiador de calor instalado en HPU modelo 505.07 y 505.11-G2	137
Imagen 43. Intercambiador de calor instalado en HPU modelo 510.21C.	138
Imagen 44. Tarifas del AyA.	141
Imagen 45. Tarifas de CNFL respecto a Energía y Demanda.	141
Imagen 46. Tarifas de CNFL respecto a Alumbrado público.	142
Imagen 47. Recibo eléctrico del mes de Julio para el LanammeUCR.	143
Imagen 48. Recibo eléctrico del mes de agosto para el LanammeUCR.	144
Imagen 49. Recibo de agua del mes de julio para el LanammeUCR.	145
Imagen 50. Recibo de agua del mes de agosto para el LanammeUCR.	146

Índice Apéndices.

Apéndice 1 – Fotografías de los equipos.	97
Apéndice 2 – Planos.	109
Apéndice 3 – Carta psicrométrica.	117
Apéndice 4 – Cálculo de flujo de agua para enfriamiento de HPU.	120
Apéndice 5 – Energía extraída del agua en la torre de enfriamiento y toneladas de enfriamiento.	121
Apéndice 6 – Caída de presión en tuberías.	123
Apéndice 7 – Cálculo de consumo de agua de los equipos HPU en colones. ...	131
Apéndice 8 – Cálculo del consumo de los equipos en kWh y colones.....	135

Índice Anexos.

Anexo 1 – Intercambiadores de calor.	137
Anexo 2 – Viscosidad absoluta y cinemática del agua.	139
Anexo 3 – Condiciones ambientales en la zona de Sabanilla de Montes de Oca.	140
Anexo 4 – Tarifas de agua y electricidad aplicadas al LanammeUCR.....	141
Anexo 5 – Desglose para tarifas de agua y electricidad para el LanammeUCR.	143
Anexo 6 – Cotizaciones.	147
Anexo 7 – Análisis hecho por el CICA para agua llovida en la zona de implementación.	154

Resumen ejecutivo

Este trabajo se realiza con el fin de poder analizar la mejor forma de utilizar el recurso acuífero en la refrigeración de los equipos HPU (Unidades de alta presión por sus siglas en inglés) instalados en los laboratorios del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) y optimizar el proceso por el cual se realizan pruebas a materiales con ayuda de estos equipos.

La problemática se da en el sistema de refrigeración que poseen estas unidades, ya que el agua después de enfriar los equipos sale caliente y se vierte a la alcantarilla, produciendo un gasto enorme e innecesario, económico, energético y más importante, el recurso en litros de agua potable, por lo que se ve en la necesidad de realizar un diseño que resuelva este problema.

Para el desarrollo de la presente investigación se realizan diferentes estudios, con base en ellos se tomarán decisiones para la puesta en marcha del sistema que se diseñará, se seleccionarán equipos y sistemas que cumplan las necesidades de lo diseñado y se reduzca en forma significativa el desperdicio del agua utilizada, además de la viabilidad económica del mismo.

Tales estudios se harán por medio de cálculos, se tomarán en cuenta equipos eléctricos como:

- Bombas.
- Motores.
- Electroválvulas.
- Ventiladores.
- Centros de carga.
- Cableado eléctrico, entre otros que se considerarán más adelante.

Además se harán cálculos para poder determinar los equipos mecánicos a instalar, tales como:

- Tuberías.
- Válvulas de paso.

- Tanques de captación de agua.
- Cálculos de pérdidas de presión.

Por último se harán cálculos como de energía, ahorro energético y económico, gastos de implementación, todo esto con el fin de poder demostrar la viabilidad del proyecto a implementar, así pues se tomarán en cuenta los costos para su compra, instalación y ponerlo a trabajar, y con base en estos factores el tiempo del retorno de la inversión.

Palabras clave: HPU (High Pressure Unit) / LanammeUCR (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales) / Sistema de enfriamiento / Recirculación de agua / Retorno de inversión

Abstract

This project is carried out at Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) labs. The purpose is to analyze the best way of using aquifer resources in the refrigeration of HPU equipments (High Pressure Units) installed in the lab as well as to optimize the process by which materials tests is done using this equipment.

The problem appears in the refrigeration system that these units have since the water, after cooling the equipment, comes out in a hot way and pours into the drains, causing an enormous and unnecessary economic and energetic waste, and most importantly, the loss of liters of the potable water resource. That is why, it is necessary the need to create a design that solves this problem.

Several studies are done to develop this project; based on them, decisions about the implementation of the designed will be made. In this way, the equipments and systems that fulfill the needs of the designed project will be selected reducing significantly the waste of water as its economic viability.

These studies will be done by calculation, so electrical equipment such as the following ones will be considered:

- Pumps
- Motors.
- Electrovalves
- Fans
- Charge centers
- Electrical wiring, among others that will be consideres later on.

Besides that, calculations are going to be made to determine the mechanical equipment to be installed, such as:

- Pipes
- Pass valves
- Water container tank

- Pressure loss and others to be implemented.

Finally, calculations such as energy and economic savings, and implementation costs will be done with the purpose of proving the project to be carried out is viable. In this way, purchasing and installation costs will be taken into account and based on these factors, the time of the investment return.

Key words

HPU (High Pressure Unit) / LanammeUCR (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales) / Cooling System / Water Recirculation / Investment Return

Introducción

Alrededor del planeta existen muchos lugares donde se están viviendo problemas que afectan el desarrollo tanto del medio como de la vida humana por estar uno intrínseco en el otro, problemas tales como contaminación, guerras, escasez de recursos acuíferos y energéticos, entre otros muchos más. Sobre este último, la falta de agua o el uso indebido de ésta es la base del siguiente trabajo.

El uso del agua, tanto en la vida cotidiana como en la industria, es de vital importancia, ya que cumple un papel primordial para la calidad de los productos, independientemente del que sea, por lo que se diseñan sistemas que puedan suplir las necesidades de estas calidades y así crecer la empresa como una sola entidad con bases fuertes, pero teniendo claro que este uso del agua debe ser racional y que realmente lo que se usa es lo que se aprovecha, dejando de lado el desperdicio de este recurso tan importante.

Para que un sistema sea realmente amigable al ambiente debe consumir la menor cantidad de recursos para que éste funcione, además de generar la menor cantidad de contaminación posible al medio.

En el presente trabajo se desarrollarán una serie de pasos que llevarán al diseño de un sistema de enfriamiento para unas bombas hidráulicas (HPU) instaladas en los laboratorios del LanammeUCR.

Como objetivo principal se tiene que diseñar e implementar un sistema de refrigeración para bombas hidráulicas instaladas en el *Laboratorio de escala natural* y el *Laboratorio MTS* del Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

Para la realización se tomará como ayuda conocer las características de los equipos a optimizar, realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento de tuberías y sus accesorios, pérdidas de carga, selección de las bombas que tendrán como fin recircular el agua en el sistema, con sus protecciones electromecánicas correspondientes, intercambiadores de calor como por ejemplo, torres de enfriamiento o convectores, tanques hidroneumáticos, tanques de

captación de agua llovida con sus accesorios tales como filtros, depuradores de agua, entre otros, los cuales se analizarán para su viabilidad para el sistema.

También se harán los diseños y cálculos eléctricos para la instalación de los equipos que requieran potencia eléctrica y control de los mismos, por lo que se harán diagramas unifilares, se seleccionarán calibres de cables, tuberías, protecciones, centros de carga, dispositivos de control, entre otros, según lo requiera el sistema.

Por último y no menos importante se hará un estudio tanto económico como de recursos, en este caso eléctricos y de agua potable para el sistema, lo que llevará un estudio de retorno de inversión, además de la cantidad de recurso que se estaría ahorrando al implementar el sistema de enfriamiento de las HPU.

Hay que tener en cuenta que todo el diseño se hará con base en la suposición de que las 3 HPU estarán trabajando al mismo tiempo, por lo que se diseña para el caso más crítico.

Definición del problema

Es importante tener en consideración el uso apropiado de los recursos en los sistemas para evitar el gasto innecesario de estos y hacer un sistema más amigable al ambiente y a su vez más económico.

En el Laboratorio de Escala Natural y el Laboratorio de MTS del LanammeUCR se encuentran varios equipos los cuales son celdas de carga hidráulicas MTS (**Imagen 1**), utilizadas para realizar pruebas a diferentes probetas hechas con diferentes materiales, las cuales sus bombas hidráulicas (HPU - **Imagen 2**), generan calor al mover el líquido hidráulico para accionar los pistones de las MTS.



Imagen 1. Celdas de carga instaladas en los laboratorios del LanammeUCR.

(Ver **Imagen 19**, **Imagen 20** e **Imagen 21**)

Para poder enfriar el líquido hidráulico en las HPU se debe hacer pasar agua fría por medio del intercambiador de calor que ellas poseen, así pues al entrar el líquido hidráulico al intercambiador se produce una transferencia de energía desde éste al agua reduciendo la temperatura del líquido hidráulico, seguidamente el agua al mantenerse en movimiento sale caliente del intercambiador para ser repuesta por agua fría y seguir manteniendo la transferencia de energía y así enfriando el líquido hidráulico.



Imagen 2. HPU instaladas en los laboratorios del LanammeUCR.

(Ver **Imagen 22**, **Imagen 23** e **Imagen 24**)

El problema a solucionar se dio ya que el enfriamiento de las HPU se daba gracias a un sistema similar para cada una de ellas, el cual se comentará a continuación. Consistía en llaves de paso de tipo bola que permitían que agua de la tubería principal entrara a su intercambiador de calor, luego que el líquido hidráulico era enfriado dentro de este intercambiador, el agua al salir de él desfogaba hacia la alcantarilla, produciendo un gasto del recurso acuífero, por lo que se vio la necesidad de diseñar un sistema en el cual se disminuyera al mínimo este consumo de agua y se detuviera el desperdicio.

Este nuevo sistema consiste en un circuito cerrado de agua donde esta al ser utilizada en el intercambiador de calor de cada una de las HPU por separado, salga de ellos y se trasiegue por medio de tuberías hasta otro intercambiador que saque el calor de ella y la enfríe, seguidamente el agua fría con ayuda de bombas recirculará por el sistema para volver a entrar a las HPU y completar el ciclo, además se implementó la captación de agua llovida para introducirla al sistema, así pues en caso de faltante de agua se tomará de acá y no del suministro del AYA.

Con respecto al agua llovida se tomaron en cuenta sus características químicas para ver si no comprometía la integridad de los intercambiadores de calor, esto en comparación con los manuales de las HPU y el manual de los intercambiadores de calor, donde vienen adjuntas las características necesarias para mantenerlos en condiciones óptimas.

Como se mencionó, los laboratorios en los cuales se implementó el diseño, cuentan con 3 HPU, por lo que el sistema se diseñó tal que dependiendo de la cantidad de HPU que estén funcionando simultáneamente, el flujo de agua en las tuberías se varió con ayuda de una bomba gobernada por un variador de frecuencia para poder así suministrar el caudal necesario para cada HPU para que el enfriamiento del líquido hidráulico sea el óptimo. Este último cálculo citado se realizó con ayuda de los manuales de las HPU donde se adjuntan las tablas de flujo de agua respecto a la temperatura de entrada de esta misma.

Por último se diseñó e instaló un sistema eléctrico el cual suplirá de potencia eléctrica tanto a los equipos como al sistema de control eléctrico. Más adelante se mostrará el diagrama unifilar tanto del sistema de potencia como el de control que manejarán el sistema de enfriamiento.

Capítulos

- **Capítulo I – La empresa**

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanemmeUCR) está ubicado en la Ciudad de la Investigación, Finca 2, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José.

Este laboratorio fue fundado en los años 50's enfocado a la investigación, docencia y aplicación de la tecnología en la protección de infraestructura civil, vial y líneas vitales. Éste se encuentra anexado a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Sus estudios se basan en las áreas de la ingeniería estructural, sísmica de infraestructura de transportes, geotécnica y de materiales.

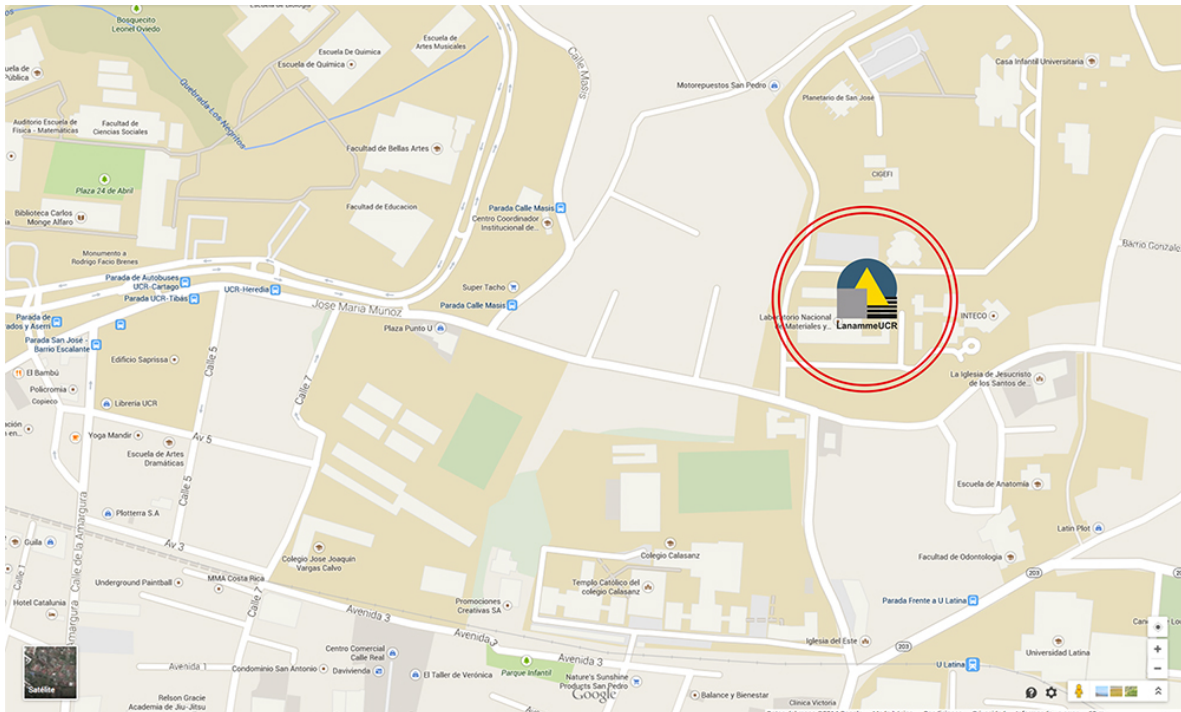


Imagen 3. Ubicación del LanammeUCR.

Tomado de: www.lanamme.ucr.ac.cr

El LanammeUCR para su óptimo desempeño va guiado respecto a tres lineamientos, los cuales son su objetivo, misión y visión.

Como principal objetivo tiene *“...la creación de conocimiento especializado y su transferencia, así como la prestación de servicios a la empresa privada, las instituciones autónomas, las instituciones académicas, los centros especializados y los gobiernos locales con procesos tecnológicos modernos y seguros que fortalezcan los procesos productivos y la competitividad en el campo de la ingeniería de infraestructura de transportes, sísmica, estructural, de materiales y geotécnica...”*

Misión.

“...El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales es un ente de la Universidad de Costa Rica especializado en el desarrollo de la ingeniería en materia de infraestructura civil y vial a nivel nacional y regional, con el objetivo principal de mejorar la calidad de vida, la protección humana y la inversión en infraestructura por medio de la investigación aplicada, docencia, transferencia tecnológica, prestación de servicios y cooperación técnica, guiados por los principios de liderazgo, excelencia, honestidad, calidad y responsabilidad...”

Visión

“...Ser un centro de investigación especializado en materia de infraestructura civil y vial con proyección nacional e internacional, que mediante una gestión dinámica y eficaz de su quehacer, ofrezca soluciones transformadoras a diferentes problemáticas del entorno construido, en aras de contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo del país; orientados por los principios de liderazgo, excelencia, honestidad, calidad y responsabilidad...”

Además, para una mejor calidad de sus actividades se rigen bajo normas, por lo que a partir del año 2001 implementa un Sistema de Calidad basado en la **Norma INTE-ISO/IEC 17025**, denominada "Requisitos Generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración".

A la fecha lleva acreditado ante el ECA (Ente Costarricense de Acreditación) 79 ensayos y 2 procedimientos para calibración de máquinas e instrumentos de fuerza., con patrones de fuerza adquiridos desde 1987 con el fin de realizar comprobaciones de los equipos, tales como máquinas universales, máquinas para ensayos de suelos, mezclas asfálticas, entre otros.

Con respecto de su estructura organizativa cuenta con varios departamentos que agilizan su gestión y logran un equilibrio entre las gestiones y se optimiza su desarrollo como ente. Esta estructura organizativa se muestra en la página siguiente.

Con respecto al marco legal, LanammeUCR se rige con base en la Ley número 7099 de Ratificación del Contrato de Préstamo entre el Gobierno de la República de Costa Rica y el Banco Interamericano de Desarrollo para desarrollar un programa de Ciencia y Tecnología.

Por otro lado se respalda por la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, el Convenio entre el Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas y la Universidad de Costa Rica para el establecimiento del Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales del Programa de Ciencia y Tecnología CONICIT-BID.

Este marco legal está respaldado por el Estatuto Orgánico de la UCR, el Reglamento General de Institutos y Centros de Investigación y Estaciones Experimentales y el organigrama vigente del LanammeUCR.

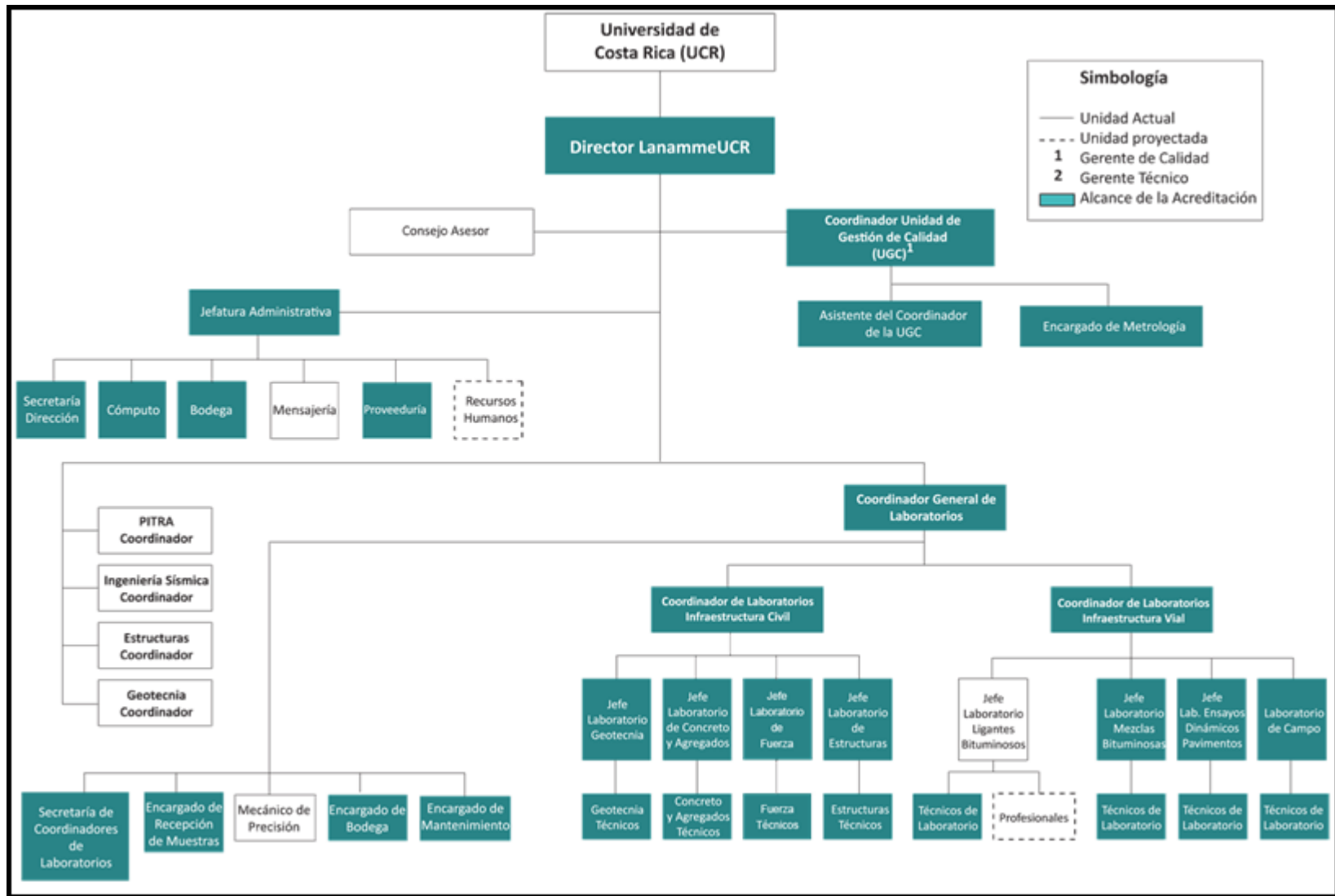


Imagen 4. Estructura Organizacional del LanammeUCR.

Tomado de: www.lanamme.ucr.ac.cr

Capítulo II – Análisis de equipos.

Primeramente se hace un levantamiento mecánico y eléctrico de los equipos instalados en los laboratorios, esto se refiere tanto a los datos de consumo de agua para enfriamiento de las unidades como de consumo eléctrico cuando las HPU están trabajando, entre otras características que sean considerables en el momento de diseñar.

Los equipos MTS están instalados en el Laboratorio de Escala Natural y el Laboratorio MTS, mientras que las HPU están instaladas en el Piso Fuerte ubicado en el Laboratorio de Escala Natural. De los equipos MTS no se hará más referencia en el presente documento ya que no son de importancia para el desarrollo de la práctica.

Según los manuales y los datos de placa de los equipos se anotan en las **Tablas 1, 2 y 3** las características de éstos, por lo que se tiene que:

Tabla 1. Especificaciones para HPU modelo 505.07 (HPU 1).

<i>Intercambiador de calor</i>			
Material	Placa de acero inoxidable refrigerado por agua		
Requerimiento de flujo de agua	Temperatura (° C)	<i>Consumo</i>	
		L/min	gpm
	10	3,8	1
	15,5	4,9	1,3
	21,1	6,1	1,6
	26,7	8,3	2,2
	32,2	15,9	4,2
Presión diferencial del agua	0.24 – 0.34 MPa (35–50 psi)		
Presión máxima del agua	0.83 MPa (120 psi)		
Conexión mecánica para agua (entrada y salida)	19 mm (0.75 in)		
<i>Potencia eléctrica</i>			
Voltaje de línea	230 V AC		
Fases	3		
Potencia del motor de la bomba	11,2 kW (15 Hp)		
Voltaje de control	24 V DC		

Tabla 2. Especificaciones para HPU modelo 505.11-G2 (HPU 2).

<i>Intercambiador de calor</i>			
Material	Placa de acero inoxidable refrigerado por agua		
Requerimiento de flujo de agua	Temperatura (° C)	<i>Consumo</i>	
		L/min	gpm
	10	7,2	1,9
	15,5	9,1	2,4
	21,1	12,1	3,2
	26,7	18,9	5
	32,2	49,2	13
Presión diferencial del agua	0.24 – 0.31 MPa (35–45 psi)		
Presión máxima del agua	0.83 MPa (120 psi)		
Conexión mecánica para agua (entrada y salida)	19 mm (0.75 in)		
<i>Potencia eléctrica</i>			
Voltaje de línea	380 V AC		
Fases	3		
Potencia del motor	18,6 kW (25 Hp)		
Voltaje de control	24		

Para el enfriamiento del líquido hidráulico se tienen básicamente dos válvulas conectadas a los intercambiadores de calor, una de solenoide que se abre y cierra cuando los equipos están encendidos y apagados respectivamente, permitiendo o no dejar pasar el agua hacia los intercambiadores, y otra válvula reguladora de caudal, la cual es controlada por un medidor de temperatura que censa ésta en el líquido hidráulico.

Cuando la temperatura del líquido hidráulico llega hasta una temperatura alrededor de los 40° C el equipo envía la señal para que la válvula solenoide se abra. Al apagarse los equipos esta válvula inmediatamente se cierra.

Únicamente las HPU modelo 505.07 y 505.11-G2 tienen estos dos dispositivos de válvulas, la HPU modelo 510.21C únicamente tiene la válvula reguladora de caudal. (Ver **Imagen 7**).

Tabla 3. Especificaciones para HPU modelo 510.21C (HPU 3).

<i>Intercambiador de calor</i>			
Material	Placa de acero inoxidable refrigerado por agua		
Requerimiento de flujo de agua	Temperatura (° C)	<i>Consumo</i>	
		L/min	gpm
	18,3	30	8
	21,1	30	8
	23,8	30	8
	26,7	34	9
	29,4	42	11
	32,2	57	15
	35	91	24
Presión diferencial del agua	0.24 – 0.34 MPa (35–50 psi)		
Presión máxima del agua	0.83 MPa (120 psi)		
Conexión mecánica para agua (entrada y salida)	19 mm (0.75 in)		
<i>Potencia eléctrica</i>			
Voltaje de línea	208 V AC		
Fases	3		
Potencia del motor	37 kW (50 Hp)		
Voltaje de control	24		

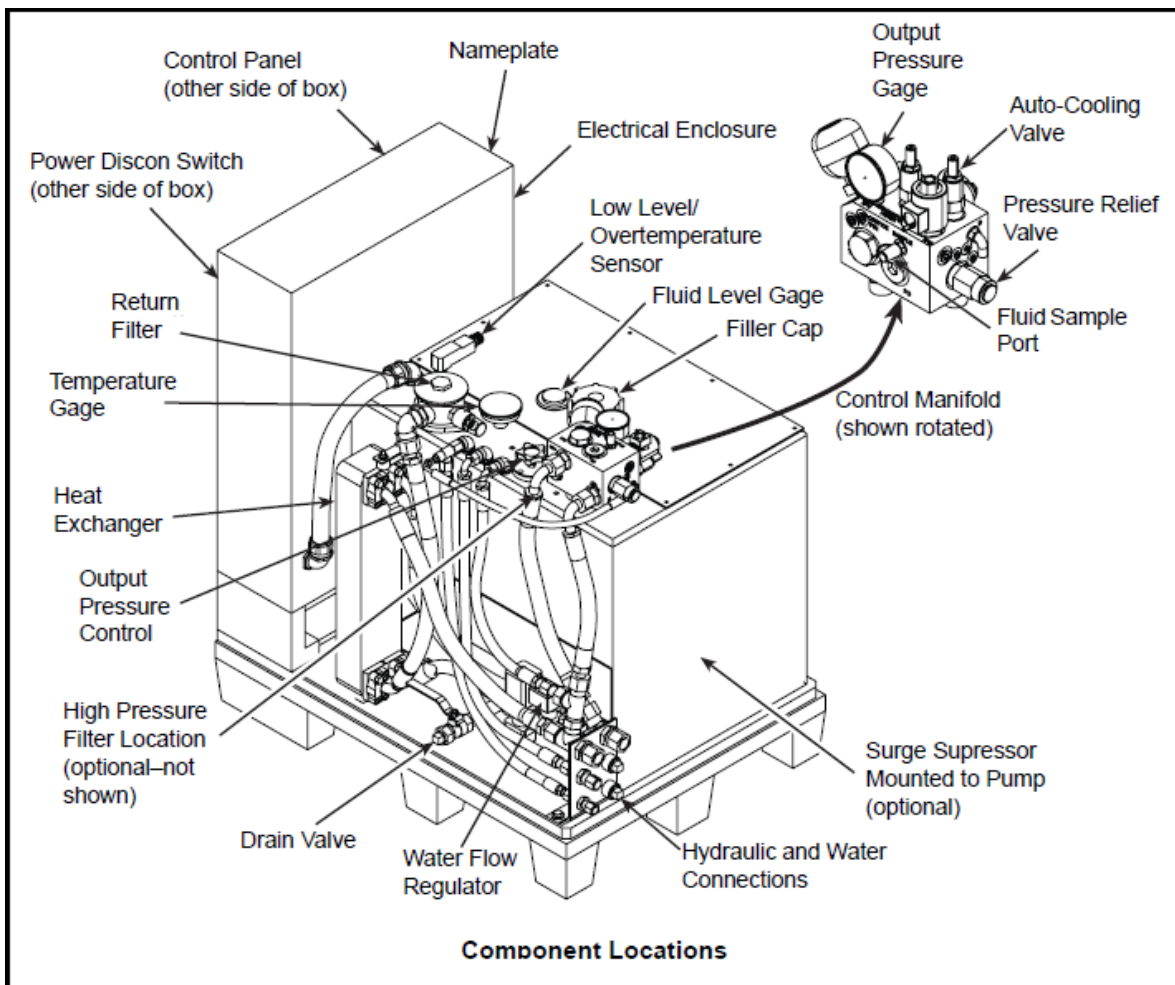


Imagen 5. Distribución de componentes para HPU modelo 505.07 y 505.11-G2. (Tomado de manual usuario)

Se debe recalcar que la válvula solenoide de la HPU modelo 505.07 parece estar en mal estado y permanece abierta en todo momento, por lo que podría incurrir en un gasto innecesario del recurso si se dejara la llave abierta que abastece de agua al intercambiador de calor.

Para optimizar el sistema de esta HPU se hará un análisis de este componente y verificar si está en mal estado o simplemente requiere de algún ajuste para así tomar la decisión de cambiarlo o calibrarlo.

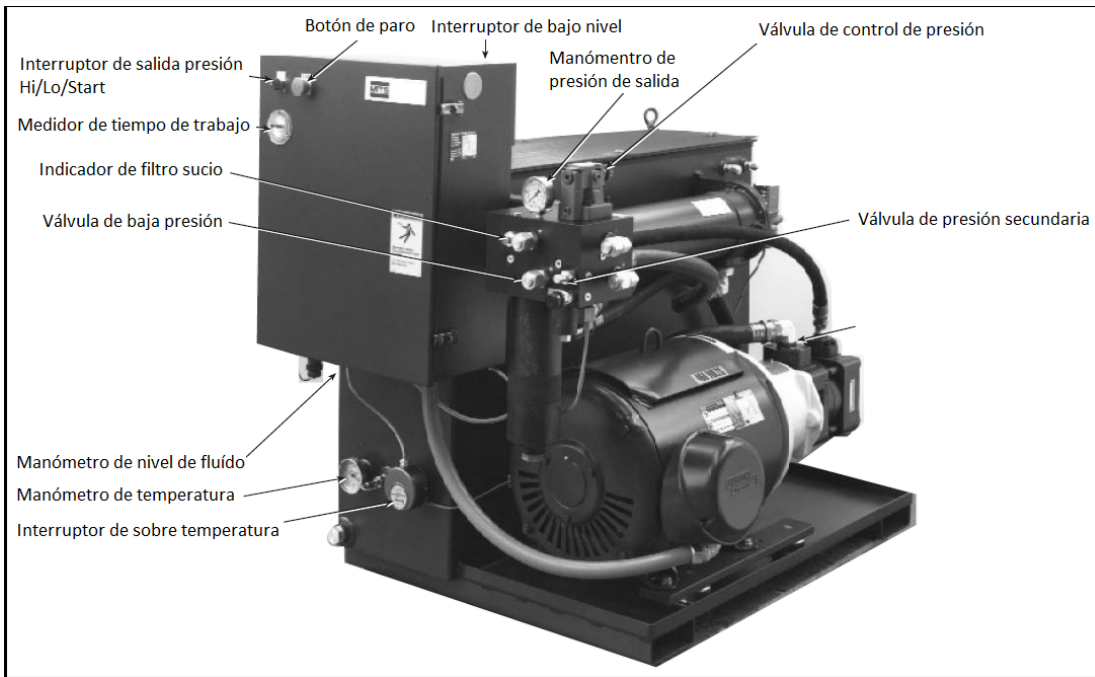


Imagen 6. Distribución de componentes para HPU modelo 510.21C.
(Tomado de manual usuario)

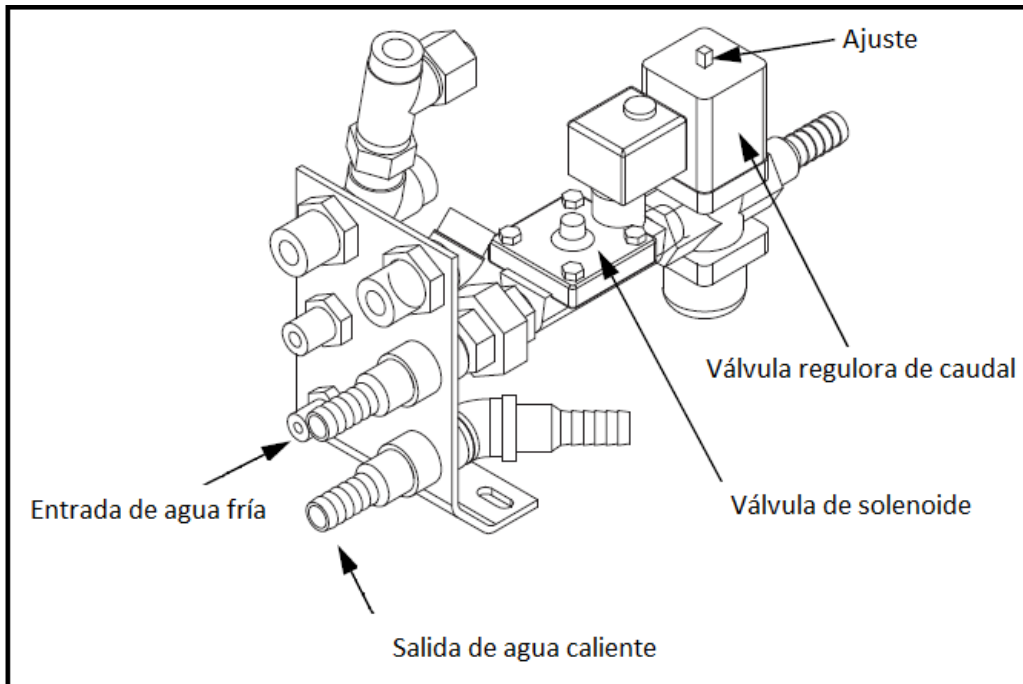


Imagen 7. Válvula reguladora y de solenoide de las HPU modelo 505.07 y 505.11-G2. (Tomado de manual de usuario)

La válvula mostrada en la **Imagen 7** se encuentra en la entrada del agua fría, antes del intercambiador de calor únicamente en las HPU modelo 505.07 y 505.11-G2, como ya se mencionó.

Existen otras características a considerar para poder realizar el diseño más óptimo que pueda responder a la necesidad dada, tales como de uso, consumos reales eléctricos, de caudal, tiempo de uso, entre otras.

Con respecto al consumo eléctrico, por cuestiones de conexión en los tableros eléctricos principales, las HPU modelo 505.07 y 505.11-G2 no trabajan simultáneamente, ya que se puede desconectar el disyuntor principal si esto se hace, no obstante el diseño se realizará considerando las tres HPU trabajando simultáneamente ya que existe la posibilidad de expansión y mejoramiento del sistema eléctrico. Con respecto al uso no se tienen registros del tiempo que los equipos se ponen a trabajar, no obstante se tiene un estimado de media jornada laboral, la cual consta de 8 horas diarias por 49 semanas al año tal y como se anota en la siguiente.

Tabla 4 – Consumo en KWh/mes de las HPU.

Electricidad					
Modelo	Potencia (kW)	Tiempo de consumo			Potencia consumida (kWh/mes)
		horas/día	día/mes	horas/mes	
505.07	11,2	2	20	40	448
505.11G2	18,6	2	20	40	744
510.21C	37	4	20	80	2960
TOTAL					4152

Se realizó un estudio en sitio para calcular el agua que las HPU están consumiendo al momento de ponerlas a trabajar.

Tabla 5 – Consumo de agua calculado en metros cúbicos (m³) y Litros (L) del uso de las HPU por año. (Datos medidos en sitio).

Modelo	GPM	L/min	m ³ /hora	m ³ /día	m ³ /semana	m ³ /año*	L/año
505.07	6,49	24,58	1,47	2,95	14,75	722,61	722 612,75
505.11-G2	5,66	21,41	1,28	2,57	12,85	629,49	629 492,55
510.21C	11,05	41,81	2,51	10,03	50,17	2458,37	2 458 373,26

*Se asume un uso por 49 semanas al año.

El procedimiento que se utilizó fue captar agua en un depósito cilíndrico por un tiempo determinado. Primeramente se midió el diámetro del contenedor para poder determinar su área basal en mm², seguidamente se puso a trabajar cada una de las HPU por separado a una presión alta para poder determinar el consumo máximo de agua que estas tienen, ya que es en esta condición en la que trabajan la mayoría del tiempo.

Seguidamente cuando el flujo de agua fue máximo se ponía a llenar el depósito por un tiempo de 30 s, al pasar este tiempo se retiraba el depósito y se medía la altura en mm a la que se llenaba. Con los datos medidos se obtuvo la Tabla 6 la cual muestra los consumos de agua que tienen los equipos (ver muestra de cálculo en el **Capítulo III - Diseño 2 - Análisis de ahorro económico y del recurso acuífero al implementar un circuito cerrado de enfriamiento de agua**).

Más adelante se harán los cálculos respectivos y análisis de los sistemas para poder determinar si son económicamente viables, además del cálculo del ahorro que daría al implementar el sistema tanto energético como económico.

Tabla 6 – Consumo de agua calculado en un tiempo de determinado.

Consumo HPU 505.07		Consumo HPU 505.11-G2		Consumo HPU 510.21C	
h (mm)	194,00	h (mm)	169,00	h (mm)	330,00
D (mm)	284,00	D (mm)	284,00	D (mm)	284,00
A (mm ²)	63347,07	A (mm ²)	63347,07	A (mm ²)	63347,07
V (mm ³)	12289332,41	V (mm ³)	10705655,55	V (mm ³)	20904534,51
V (m ³)	0,012289332	V (m ³)	0,010705656	V (m ³)	0,020904535
Galones	3,259130955	Galones	2,839139852	Galones	5,543882552
t (s)	30,00	t (s)	30,00	t (s)	30,00
t (min)	0,50	t (min)	0,50	t (min)	0,50
Q (mm ³ /min)	24578664,82	Q (mm ³ /min)	21411311,10	Q (mm ³ /min)	41809069,02
Q (m ³ /min)	2,46E-02	Q (m ³ /min)	2,14E-02	Q (m ³ /min)	4,18E-02
Q (GPM)	6,49	Q (GPM)	5,66	Q (GPM)	11,05

Capítulo III – Diseños propuestos

Diseño 1

Implementar intercambiador de calor y depósito de agua caliente para calentar agua y utilizarla en otros laboratorios del LanammeUCR.

Se diseñó un sistema en el cual el agua proveniente de las HPU no se gaste innecesariamente, además el agua viene con una temperatura de hasta 40° C así pues, aprovechar también esta energía para otros procesos.

En la **Imagen 8** podemos observar lo que respecta al primer diseño, en el cual se considera utilizar el agua caliente en un tanque de captación para poder calentar agua y utilizarla en otros equipos de otros laboratorios.

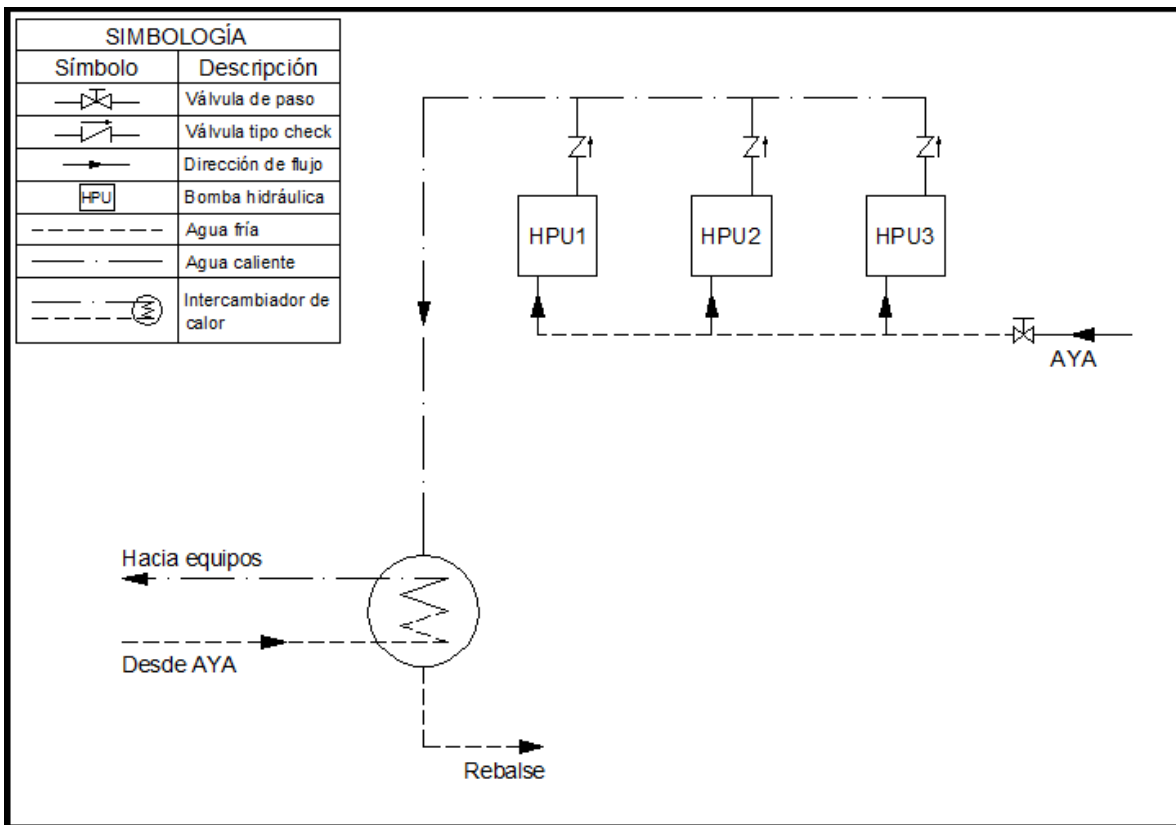


Imagen 8. Diseño Diagrama de diseño 1 propuesto para utilización del agua caliente.

Realizando un estudio visitando todos los laboratorios que tiene el LanammeUCR se hace una lista de los equipos que utilizan agua caliente, por lo que se tiene:

Tabla 7. Equipos consumidores de agua caliente en otros laboratorios del LanammeUCR.

Laboratorio	Equipo	Tmax (° C)	T min (° C)	Volumen (m ³)	Características
Diseños dinámicos	Baño maría	60	25	0,0650	En uso
	Tanque azul	25		0,1640	En uso
Mezclas y bituminosas	Baño maría	60	25	0,0900	En uso
	Baño maría	60		0,0284	En uso
Estructuras	Baño maría ⁽¹⁾	100		0,2106	En mal estado
	Baño maría	100		0,1470	En uso

(1) No se determinará más adelante por estar en mal estado

Todos los equipos cuentan con una resistencia de 2,2 kW, la cual se utiliza para calentar el agua hasta su temperatura máxima de uso.

Analizando la tabla anterior las características de los equipos se puede notar que la mayoría de estos utiliza agua a 60° C, a excepción de un tanque azul y dos baño maría que utilizan agua a 25° C, 100 ° C y 100 ° C respectivamente.

También hay que tener en cuenta que el agua de los baños maría hay que estarla reemplazando cada cierto tiempo ya que se contamina muy fácilmente por los ensayos que se realizan con ella.

Por último se hizo un estudio económico de lo que se ahorraría al llevar esta agua caliente a ellos para disminuir, en el caso de los que utilizan agua a más de 25° C, el consumo de energía en las resistencias para poder llegar a la temperatura deseada.

En este estudio se calculó la potencia que debería consumir la resistencia de cada equipo para poder llevar el agua a la temperatura de uso y con ello hacer un cálculo del ahorro energético y económico que se daría al implementar este sistema, esto en dos escenarios, uno sería el consumo eléctrico que se hace en este momento al calentar el agua desde la temperatura ambiente proveniente del

suministro del AYA hasta su temperatura de uso, el segundo escenario se da cuando se calienta el agua que viene desde el tanque de captación de agua caliente en el que se encuentra el intercambiador de calor, donde el agua viene con mayor temperatura de igual manera hasta la temperatura de uso. (Como *temperatura de uso* se entenderá la temperatura a la que los equipos que consuman agua caliente requieren para trabajar, ya sea 25° C, 60° C ó 100° C).

Hay que tener en claro que el estudio se hizo en la condición menos crítica, así pues se toma por un lado la temperatura del agua a la máxima temperatura ambiente, datos suministrados por el **CIGEFI**, alrededor de 26,4° C (Ver **Anexo 3**). Por otro lado se asume que los intercambiadores de calor tienen una eficiencia del 100% y que después de calentar el agua no existe pérdida de energía al ambiente o por algún otro de transferencia de energía.

Suponiendo estas condiciones citadas es donde se da el menor consumo de energía, así pues a menor temperatura ambiente, menor temperatura tendrá el agua proveniente del suministro del AYA produciendo un mayor consumo de electricidad al emplear las resistencias. Del mismo modo si la eficiencia de los intercambiadores de calor no fuese el 100% y si existen pérdidas de energía también existiría el mismo efecto de consumo eléctrico.

No se debe olvidar que el consumo de agua en estos laboratorios no se podrá disminuir, ya que siempre existirá una reposición del agua en un tiempo determinado. Además que los intercambiadores de calor no tienen esa eficiencia del 100%, tanto del tanque como de las HPU.

Por último, el gasto del recurso acuífero no se estaría mermando, ya que se debería poner un rebalse para cuando el tanque esté a su capacidad máxima gracias a que se necesita un flujo constante a través de los intercambiadores de calor en las HPU para que se produzca la transferencia de calor desde el líquido hidráulico hasta el agua.

Análisis energético y económico para poder implementar un intercambiador de calor y calentar agua para equipos de otros laboratorios del LanammeUCR.

Para el estudio se va a asumir que el intercambiador a instalar tiene una eficiencia de 100% y además poner el caso menos crítico para éste, que sería cuando la temperatura del agua que viene de las HPU esté entre 52° C y 55° C. Según los manuales de los equipos, al llegar el líquido hidráulico a esta temperatura las HPU por protección se apagarían y dejarían de funcionar hasta que la temperatura baje.

También se asumirá que la eficiencia del intercambiador de calor de las HPU es del 100%. Esto se hará para poder calcular la energía mínima que se necesita para poder calentar el agua de la temperatura más alta, que sería la proveniente del suministro de agua del AYA, temperatura que por la época del año puede variar.

Tabla 8. Valores de la temperatura máxima de salida del agua de las HPU.

Equipo	Modelo	T _{salida crítica} (Líqu. Hidr.) (° C)	Eficiencia Int. Calor. (%)	T _{salida crítica} (agua) (° C)
HPU 1	505.07	55	100	55
HPU 2	505.11-G2	55	100	55
HPU 3	510.21C	52	100	52

Para el cálculo de la energía necesaria para calentar agua de una temperatura hasta otra más alta se tiene que:

$$Q = mC_p\Delta T$$

Donde:

Q: energía (kJ)

m: masa de agua a calentar (kg)

ΔT : cambio de temperatura (° C)

Ahora bien, para el cálculo de la masa de agua a calentar se calculó con respecto al volumen de los equipos con dimensiones conocidas, por lo que se tiene lo siguiente:

Tabla 9. Masa de agua a calentar en los equipos.

Laboratorio	Equipo	Volumen (m ³)	m (kg)
Diseños dinámicos	Baño maría	0,0650	65,00
	Tanque azul	0,1640	NA
Mezclas y bituminosas	Baño maría	0,0900	90,00
	Baño maría	0,0284	28,40
Estructuras	Baño maría	0,1470	147,00

Se toma la densidad del agua a 1000 kg/m³

Realizando los cálculos correspondientes para poder determinar la energía necesaria para calentar cierta masa de agua se obtuvo lo que se muestra en la Tabla 10 desde una temperatura de 26,4° C a la temperatura de uso.

El cálculo entonces se hizo de la siguiente manera, por ejemplo, para el caso del baño maría instalado en el laboratorio de Diseños mecánicos:

$$Q = 65 \times 4,179 \times 33,6 = 9126,94 \text{ kJ}$$

Tabla 10. Consumo de energía en las resistencias para calentar agua de 26,4° C a temperatura de uso.

Laboratorio	Equipo	Tmax (° C)	Tmin (° C)	T _{sal} (° C)	ΔT (° C)	m (kg)	Cp ⁽¹⁾ (kJ/K*kg)	Energía (kJ)
Diseños dinámicos	Baño maría	60	25	26,4	33,6	65,00	4,179	9126,94
	Tanque azul	25		26,4	NA	NA	NA	NA
Mezclas y bituminosas	Baño maría	60	25	26,4	33,6	90,00	4,179	12637,30
	Baño maría	60		26,4	33,6	28,40	4,179	3987,77
Estructuras	Baño maría	100		26,4	73,6	147,00	4,185	45278,35

(1) Se toma un promedio entre los valores de temperatura. Tomados de Yunus Cengel, Transferencia de Calor.

Del mismo modo se hizo el cálculo para poder obtener un estimado de la energía necesaria para poder aumentar la temperatura a cierta masa de agua de

una temperatura de 55° C a la temperatura de uso, resultados tabulados en la tabla siguiente.

Tabla 11. Consumo de energía en las resistencias para calentar agua de 55° C a temperatura de uso.

Laboratorio	Equipo	Tmax (° C)	Tmin (° C)	T _{sal} (° C)	ΔT (° C)	m (kg)	Cp (kJ/K*kg)	Energía (kJ)
Diseños dinámicos	Baño maría	60	25	55	5	65,00	4,184	1359,80
	Tanque azul	25		55	NA	NA	NA	NA
Mezclas y bituminosas	Baño maría	60	25	55	5	90,00	4,184	1882,80
	Baño maría	60		55	5	28,40	4,184	594,13
Estructuras	Baño maría	100		55	45	147,00	4,195	27749,93

(1) Se toma la densidad del agua a 1000 kg/m³

(2) Se toma un promedio entre los valores de temperatura. Tomados de Yunus Cengel, Transferencia de Calor.

Cada uno de los equipos que calientan su propia agua tiene instalada una resistencia de 2,2 kW, así que teniendo:

$$Pot = \frac{Q}{t}$$

Donde:

Pot: potencia (kW)

Q: energía para calentar el agua (kJ).

t: tiempo (s)

Por lo que tenemos:

Podemos despejar el tiempo que necesitarían estas resistencias en llegar a calentar el agua ya sea de 26,4° C ó 55° C a la necesaria, la **Tabla 12** y la **Tabla 13** muestran los resultados, por lo que tendríamos:

$$t = \frac{Q}{Pot} = \frac{9126,94}{2,2} = 4148,61 \text{ s} \approx 1,15 \text{ h}$$

En la tabla siguiente se muestran los datos obtenidos para los demás equipos.

Tabla 12. Potencia consumida total antes de implementar el diseño calentando el agua de 26,4° C a su temperatura de uso.

Laboratorio	Equipo	Energía (kJ)	Resis. (kW)	Tiempo (s)	Tiempo (h)	Potencia consumida (kWh)	Potencia consumida total (kWh)
Diseños dinámicos	Baño maría	9126,94	2,2	4148,61	1,15	2,54	19,73
Mezclas y bituminosas	Baño maría	12637,30	2,2	5744,23	1,60	3,51	
	Baño maría	3987,77	2,2	1812,62	0,50	1,11	
Estructuras	Baño maría	45278,35	2,2	20581,07	5,72	12,58	

Tabla 13. Potencia consumida total después de implementar el diseño calentando el agua de 55° C a su temperatura de uso.

Laboratorio	Equipo	Energía (kJ)	Resis. (kW)	Tiempo (s)	Tiempo (h)	Potencia consumida (kWh)	Potencia consumida total (kWh)
Diseños dinámicos	Baño maría	1359,80	2,2	618,09	0,17	0,38	8,77
Mezclas y bituminosas	Baño maría	1882,80	2,2	855,82	0,24	0,52	
	Baño maría	594,13	2,2	270,06	0,08	0,17	
Estructuras	Baño maría	27749,93	2,2	12613,60	3,50	7,71	

Analizando los datos anteriores, si se aplicara este diseño existiría una diferencia de alrededor 10,96 kWh, el cual sería el consumo eléctrico ahorrado.

Si tomamos el consumo eléctrico del mes de agosto y aplicamos estos valores para obtener una aproximación del ahorro que se daría al implementar este diseño se tiene que:

Tabla 14. Consumo eléctrico del mes de agosto, según datos suministrados por CNFL.

AGOSTO				
Energía (kWh)	28800			TOTAL
	3000	¢ 147.000,00	¢ 1.411.200,00	
	25800	¢ 1.264.200,00		
Demanda (kWh)	124,8		¢ 987.667,20	¢ 2.542.759,67
	8	¢ 63.312,00		
	116,8	¢ 924.355,20		
Pérd. Transf.	(Energía + Demanda) x 2%		¢ 47.977,34	
Alum. Público	28800	¢ 3,24	¢ 93.312,00	
Bomberos	1750	¢ 85,00	¢ 2.603,13	

Así pues no se habría gastado 28800 kWh, sino 28789,04 kWh al implementar el diseño propuesto, por lo que la **Tabla 15** nos muestra lo que por ejemplo se hubiera consumido en el mes de agosto si el diseño se hubiera implementado.

Tabla 15. Consumo eléctrico del mes de agosto, después de haber implantado el diseño.

AGOSTO				
Energía (kWh)	28789,04			TOTAL
	3000	¢ 147.000,00	¢ 1.410.663,13	
	25789,0434	¢ 1.263.663,13		
Demanda (kWh)	124,8		¢ 987.667,20	¢ 2.542.176,56
	8	¢ 63.312,00		
	116,8	¢ 924.355,20		
Pérd. Transf.	(Energía + Demanda) x 2%		¢ 47.966,61	
Alum. Público	28789,0434	¢ 3,24	¢ 93.276,50	
Bomberos	1750	¢ 85,00	¢ 2.603,13	

Con esto se tiene una diferencia de ¢583,11 en el mes. Si lo hacemos para 11 meses (alrededor de 49), con una tarifa y consumo estable se tiene que sería un ahorro de ¢6414,20 al año.

Diseño 2

Implementación de circuito cerrado con sistema de enfriamiento por intercambiador de calor y reposición de agua por agua llovida.

Como segunda propuesta se tiene un diseño que consta de hacer un circuito cerrado en el cual, el agua caliente sale de las HPU hacia un sistema de enfriamiento, así pues, después de pasar por éste el agua vuelve hacia las HPU que la requieran.

Además de eso se implementará un tanque de captación de agua llovida para suplir de agua cuando existan faltantes en el sistema y no tomarla del suministro del AYA, no obstante no se dejará de lado la entrada de esta última en el caso que se agotara la reserva de agua llovida.

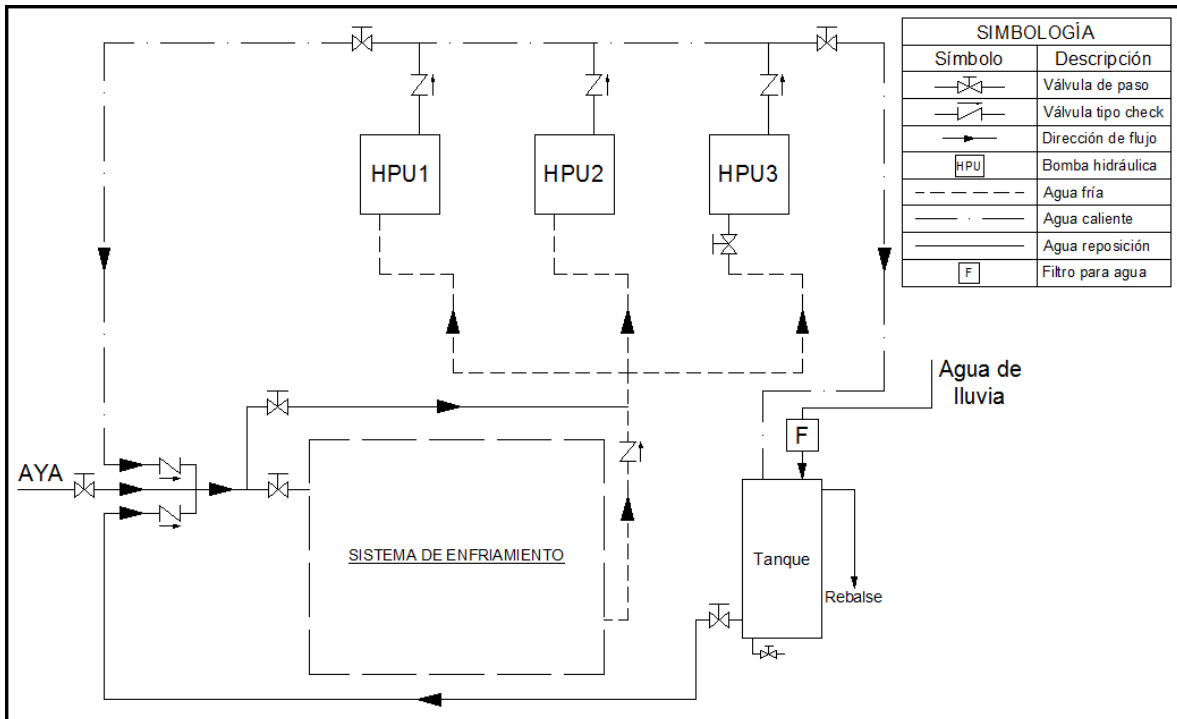


Imagen 9. Diagrama de diseño 2 propuesto para enfriamiento del agua.

Más adelante en otro capítulo se analizará el agua llovida para determinar si hay que tratarla químicamente para que la integridad de los intercambiadores de calor de las HPU, no se vean comprometidos.

Según se puede observar en la **Imagen 9** el sistema consistiría en un circuito cerrado donde existen ramales en paralelo que abastecen de agua fría a cada una de las HPU por separado, lo que hace que independientemente de la cantidad de estos equipos estén trabajando siempre habrá una circulación de agua en ellos, sólo en el caso que ningún equipo requiera agua no habría recirculación.

Después de que el agua pasa por los intercambiadores de calor de cada una de las HPU se recoge en una tubería que trasiega esta agua caliente hasta un sistema de enfriamiento, en el cual baja su temperatura y se regresa a la tubería del agua fría.

Con respecto al sistema de reposición de agua, se hará con agua llovida, así pues se captará por medio de un tanque con un filtro, por lo tanto en el caso que exista la necesidad de reponer agua en el circuito se tomará desde ahí para no tomarla del suministro del AYA.

En el caso de darle mantenimiento al sistema se cuenta con válvulas que lo ponen en *By-Pass* con suministro de agua del AYA para seguir utilizando los equipos HPU, solamente con la diferencia que el agua caliente se dirigirá al depósito de agua llovida, cuando éste se encuentre completamente lleno se rebalsará y se eliminará el exceso de agua.

En el siguiente apartado se realiza un estudio económico de lo que se ahorraría al implementar este diseño. Para poder realizar este estudio se midió el agua que consume cada una de las HPU por separado al momento de ponerlas a trabajar por el método que se comentará más adelante, seguidamente con ayuda de la tarifa que el AYA usa con esta entidad para cobrarle el gasto del recurso acuífero con todos sus rubros se calculará el gasto y ahorro que se daría si se implementara este diseño.

Análisis de ahorro económico y del recurso acuífero al implementar un circuito cerrado de enfriamiento de agua.

Primeramente se midió el consumo que tiene cada una de las HPU cuando están trabajando cada una por separado, esto se hizo colocando un tanque con dimensiones conocidas para captar el agua en un tiempo determinado, así pues se puede calcular el flujo de agua mediante la ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q: caudal (m³/s)

V: volumen de agua captada (m³)

t: tiempo de toma de agua (s)

Para el caso del tanque de captación tenemos que era de forma cilíndrica, con un diámetro aproximadamente de 284,00 mm, con lo cual podemos calcular su área basal. El tiempo de captación de agua fue de 30 s, por lo que pasado este tiempo se mide la altura del agua captada y se calcula el volumen. Gracias a los datos recopilados se obtiene la siguiente tabla en la cual se muestra un estimado de los caudales para cada una de las HPU.

El cálculo se hizo mediante la fórmula que se muestra a continuación, y con base en el tiempo medido se hizo un aproximado del consumo, por lo que se tiene:

$$V = A \times H$$

Donde:

V: volumen (mm³)

A: Área basal del cilindro (mm²)

H: altura del agua captada (mm)

Por lo que la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

Seguidamente para encontrar el flujo de agua se divide el resultado entre el tiempo en que se hizo la toma, por lo que tendríamos la siguiente fórmula para obtener este dato de la siguiente manera.

$$Q = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4 \times t}$$

Donde:

Q: caudal (mm³/s)

D: diámetro de la base del cilindro (mm)

H: altura del agua captada (mm)

t: tiempo (s)

Así pues para el equipo HPU modelo 505.07 se tiene un diámetro de 284 mm del cilindro, una altura de agua captada de 194 mm en un tiempo de 30 s, por lo que se tiene:

$$Q = \frac{\pi \times 284^2 \times 194}{4 \times 30} = 409\,644,41 \text{ mm}^3/\text{s} \Rightarrow Q = 6,49 \text{ GPM}$$

Realizando el mismo cálculo para las otras HPU se obtienen los datos de consumo respectivos para ellas (ver **Tabla 6 ó Tabla 16**).

Tabla 16. Consumo de agua de cada una de las HPU medidas en el sitio.

HPU 505.07		HPU 505.11-G2		HPU 510.21C	
h (mm)	194,00	h (mm)	169,00	h (mm)	330,00
D (mm)	284,00	D (mm)	284,00	D (mm)	284,00
A (mm ²)	63347,07	A (mm ²)	63347,07	A (mm ²)	63347,07
V (mm ³)	12289332,41	V (mm ³)	10705655,55	V (mm ³)	20904534,51
V (m ³)	0,01	V (m ³)	0,01	V (m ³)	0,02
Galones	3,26	Galones	2,84	Galones	5,54
t (s)	30,00	t (s)	30,00	t (s)	30,00
t (min)	0,50	t (min)	0,50	t (min)	0,50
Q (mm ³ /min)	24578664,82	Q (mm ³ /min)	21411311,10	Q (mm ³ /min)	41809069,02
Q (m ³ /min)	0,02	Q (m ³ /min)	0,02	Q (m ³ /min)	0,04
Q (GPM)	6,49	Q (GPM)	5,66	Q (GPM)	11,05

Tabla 17. Consumo de agua de cada una de las HPU.

Modelo	GPM	m ³ /min	m ³ /hora	m ³ /día	m ³ /semana	m ³ /mes	m ³ /año
505.07	6,49	0,0245	1,47	2,95	14,75	88,48	722,61
505.11-G2	5,66	0,0213	1,28	2,57	12,85	77,08	629,49
510.21C	11,05	0,0418	2,51	10,03	50,17	301,03	2458,37

Con estos datos de consumo y extrapolando a un año laborado (49 semanas), asumiendo que la tarifa del AYA se mantenga constante y que el uso de las HPU es tal como se muestra en la **Tabla 5** podemos tabular los resultados que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 18. Consumo de agua en m³/año de equipos HPU para cálculo de consumo en colones.

Consumo	Modelo			Diferencia
	505.07	505.11-G2	510.21C	
0 a 15 m ³	722,61	629,49	2458,37	15,00
16 a 25 m ³	707,61	614,49	2443,37	10,00
26 a 40 m ³	697,61	604,49	2433,37	15,00
41 a 60 m ³	682,61	589,49	2418,37	20,00
61 a 80 m ³	662,61	569,49	2398,37	20,00
81 a 100 m ³	642,61	549,49	2378,37	20,00
101 a 120 m ³	622,61	529,49	2358,37	20,00
más de 120 m ³	602,61	509,49	2338,37	>20

Este cálculo se hizo de esta manera para poder aplicarlo a la tarifa que el AYA establece para esta entidad, ya que si usamos los valores de consumo de las HPU por mes, estos no se asemejan a los que se dan en realidad que se consumen en todo el LanammeUCR y se necesita apegarlo más a lo que realmente se está dando en el sitio.

Basado en los datos de la tabla anterior podemos calcular lo que se le cobra al LanammeUCR por acueducto, alcantarillado e hidrantes por año (Ver **Anexo 4**). Aplicando la tarifa del AYA para Gobierno se obtienen los datos que se muestran en las tablas que a continuación se muestran.

Tabla 19. Cobro por Acueducto para tarifa de Gobierno.

Consumo	Precio/Acueducto	Precio/Alcantarillado	Precio/Hidrantes
0 a 15 m ³	₡1.488,00	₡463,00	₡15 x Consumo total
16 a 25 m ³	₡1.822,00	₡571,00	
26 a 40 m ³	₡1.822,00	₡571,00	
41 a 60 m ³	₡1.822,00	₡571,00	
61 a 80 m ³	₡1.822,00	₡571,00	
81 a 100 m ³	₡1.822,00	₡571,00	
101 a 120 m ³	₡1.822,00	₡571,00	
más de 120 m ³	₡1.920,00	₡605,00	

Tomado de: www.aya.go.cr

Tabla 20. Cobro por rubro Acueducto para HPU 505.07.

Acueducto			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	₡1.488,00	₡ 22.320,00
16 a 25 m ³	10,00	₡1.822,00	₡ 18.220,00
26 a 40 m ³	15,00	₡1.822,00	₡ 27.330,00
41 a 60 m ³	20,00	₡1.822,00	₡ 36.440,00
61 a 80 m ³	20,00	₡1.822,00	₡ 36.440,00
81 a 100 m ³	20,00	₡1.822,00	₡ 36.440,00
101 a 120 m ³	20,00	₡1.822,00	₡ 36.440,00
más de 120 m ³	>20	₡1.920,00	₡ 1.157.016,47
Costos fijos			₡ 1.500,00
TOTAL			₡ 1.372.146,47

Tabla 21. Cobro por rubro Alcantarillado para HPU 505.07.

Alcantarillado			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢463,00	¢ 6.945,00
16 a 25 m ³	10,00	¢571,00	¢ 5.710,00
26 a 40 m ³	15,00	¢571,00	¢ 8.565,00
41 a 60 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
61 a 80 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
81 a 100 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
101 a 120 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
más de 120 m ³	>20	¢605,00	¢ 364.580,71
Costos fijos			¢ 600,00
TOTAL			¢ 432.080,71

Tabla 22. Cobro por rubro Hidrantes para HPU 505.07.

Hidrantes		
Precio por m ³	¢15,00	¢10.839,19

Tabla 23. Cobro total por año para HPU 505.07.

Cobro total	¢ 1.815.066,37
-------------	----------------

Tabla 24. Cobro por rubro Acueducto para HPU 505.11-G2.

Acueducto			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢1.488,00	¢ 22.320,00
16 a 25 m ³	10,00	¢1.822,00	¢ 18.220,00
26 a 40 m ³	15,00	¢1.822,00	¢ 27.330,00
41 a 60 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
61 a 80 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
81 a 100 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
101 a 120 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
más de 120 m ³	>20	¢1.920,00	¢ 978.225,69
Costos fijos			¢ 1.500,00
TOTAL			¢ 1.193.355,69

Tabla 25. Cobro por rubro Alcantarillado para HPU 505.11-G2.

Alcantarillado			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢463,00	¢ 6.945,00
16 a 25 m ³	10,00	¢571,00	¢ 5.710,00
26 a 40 m ³	15,00	¢571,00	¢ 8.565,00
41 a 60 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
61 a 80 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
81 a 100 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
101 a 120 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
más de 120 m ³	>20	¢605,00	¢ 308.242,99
Costos fijos			¢ 600,00
TOTAL			¢ 375.742,99

Tabla 26. Cobro por rubro Hidrantes para HPU 505.11-G2.

Hidrantes		
Precio por m ³	¢15,00	¢9.442,39

Tabla 27. Cobro total por año para HPU 505.11-G2.

Cobro total	¢ 1.578.541,07
-------------	----------------

Tabla 28. Cobro por rubro Acueducto para HPU 510.21C.

Acueducto			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢1.488,00	¢ 22.320,00
16 a 25 m ³	10,00	¢1.822,00	¢ 18.220,00
26 a 40 m ³	15,00	¢1.822,00	¢ 27.330,00
41 a 60 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
61 a 80 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
81 a 100 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
101 a 120 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
más de 120 m ³	>20	¢1.920,00	¢ 4.489.676,66
Costos fijos			¢ 1.500,00
TOTAL			¢ 4.704.806,66

Tabla 29. Cobro por rubro Alcantarillado para HPU 510.21C.

Alcantarillado			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢463,00	¢ 6.945,00
16 a 25 m ³	10,00	¢571,00	¢ 5.710,00
26 a 40 m ³	15,00	¢571,00	¢ 8.565,00
41 a 60 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
61 a 80 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
81 a 100 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
101 a 120 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
más de 120 m ³	>20	¢605,00	¢ 1.414.715,82
Costos fijos			¢ 600,00
TOTAL			¢ 1.482.215,82

Tabla 30. Cobro por rubro Hidrantes para HPU 510.21C.

Hidrantes		
Precio por m ³	¢15,00	¢36.875,60

Tabla 31. Cobro total por año para HPU 505.11-G2.

Cobro total	¢ 6.223.898,08
-------------	----------------

Tabla 32. Cobro total por año para las tres HPU.

Cobro total/año	¢9.617.505,52
-----------------	---------------

Analizando las tablas anteriores podemos observar que el consumo total por año de las HPU sería alrededor de 3835,06 m³ y en colones asumiendo una tarifa estable un monto alrededor de ¢9 617 505,52.

Si se aplicara este diseño es donde se produciría el ahorro, ya que el circuito cerrado y con ayuda del agua de lluvia captada optimizaría el sistema de enfriamiento de las HPU evitando ese gasto.

Diseño 3

Implementación de intercambiador de calor y depósito de agua, con un circuito cerrado de abastecimiento de agua fría para los equipos HPU.

Se desarrolló un tercer diseño el cual consistió prácticamente en una mezcla de los dos anteriores (Diseño 1 y Diseño 2), esto es instalar un depósito de agua caliente con un intercambiador de calor para que el calor que trae el agua proveniente de las HPU sea transferido hacia agua que se va a ocupar en otros equipos que utilizan agua caliente, tal y como se muestra delante.

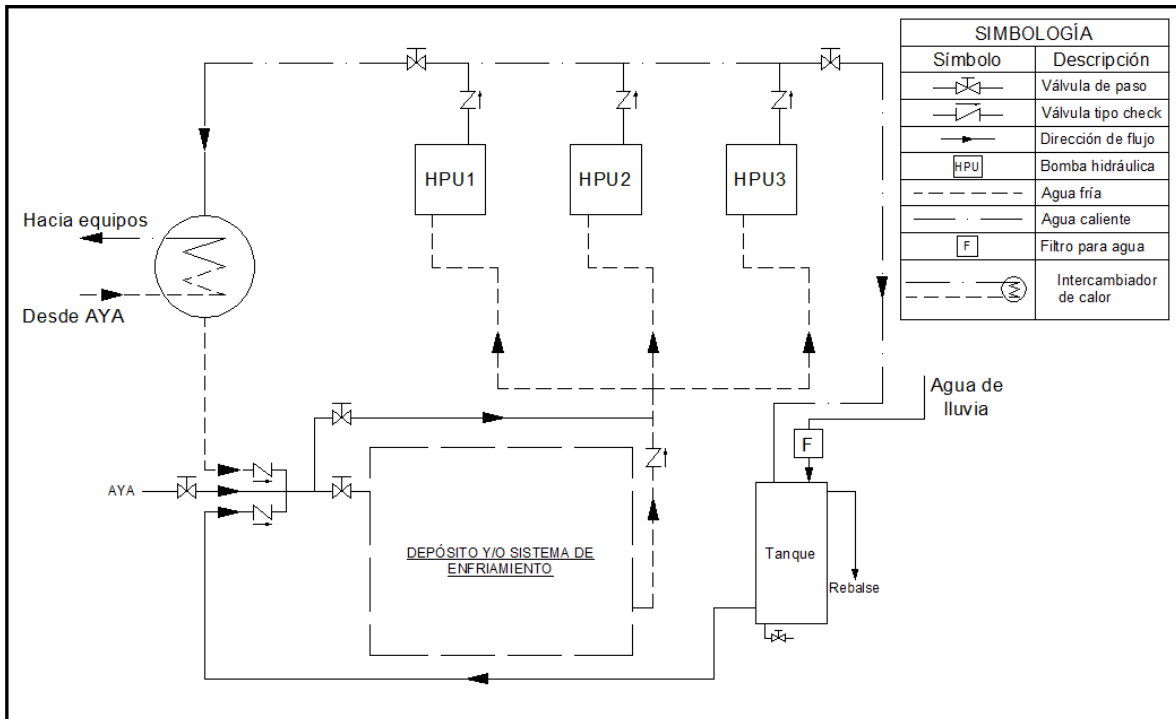


Imagen 10. Diagrama de diseño 3 propuesto para enfriamiento del agua y utilización de agua caliente.

Al ser un diseño en el que se mezclan los dos anteriores se puede decir que los ahorros que cada uno tiene por separado se suman, pero también implica hacer una inversión más grande al implementar más tanques de captación, recubrimiento de tuberías para mantener el calor en el agua, entre otros sistemas para mantener el sistema óptimo.

Además hay que tener en claro que en primer lugar la temperatura del agua proveniente de las HPU no será tan elevada para que haya un buen ahorro al usar este calor para calentar otra agua ya que la temperatura del líquido hidráulico no llegaría tan alto, además que la transferencia de energía de esta agua hacia la otra no es tan eficiente gracias a que los intercambiadores de calor no tienen una eficiencia tan alta.

En el caso de darle mantenimiento al sistema se cuenta con válvulas que lo ponen en *By-Pass* con suministro de agua del AyA para seguir utilizando los equipos HPU, solamente con la diferencia que el agua caliente se dirigirá al depósito de agua llovida, cuando éste se encuentre completamente lleno se rebalsará y se eliminará el exceso de agua.

Se debería analizar todos los componentes necesarios, tales como aislantes y demás para que la transferencia de calor hacia el ambiente no se dé, así pues la inversión aumentaría considerablemente y el tiempo de retorno de inversión también aumentaría.

Capítulo IV – Análisis de diseños y selección de diseño a implementar

En este capítulo se hará un análisis de los diseños propuestos anteriormente y con base en sus ventajas y desventajas se tomará una decisión para implementar el más óptimo teniendo en cuenta los consumos de recursos tanto eléctricos como de agua.

Con respecto al primer diseño (Implementación de circuito cerrado con sistema de enfriamiento por intercambiador de calor y reposición de agua por agua llovida), podemos enumerar las ventajas que posee con respecto a los otros dos, así tenemos:

Ventajas:

1. Es un sistema económicamente viable de implementar.
2. El tiempo de implementación es corto ya que cuenta con pocos equipos.
3. El tiempo en el que los proveedores entregan el producto es relativamente corto ya que se cuentan con ellos en el país.
4. Reduce el consumo eléctrico de las resistencias eléctricas en los laboratorios.
5. Es un sistema confiable con poco mantenimiento ya que cuenta con pocos equipos en su instalación.
6. No requiere de energía externa por lo que no consume potencia eléctrica para su funcionamiento lo que implica que no hay un aumento en los recibos eléctricos por parte de la CNFL.

Desventajas:

1. No es un sistema que ahorre energía considerablemente ya que las resistencias no acortarían en mucho el tiempo que se usan para calentar el agua.
2. La inversión es alta ya que por ejemplo se necesitan tanques de captación, aislantes para contener la energía dentro del depósito y tuberías a comparación con el ahorro que se daría al implementarlo en comparación con el ahorro que se daría.
3. El consumo de agua de la fuente del AYA no se detendría en los laboratorios ni en los equipos HPU.
4. No resuelve el problema que se tiene con respecto al gasto innecesario de agua potable.

Hablando del segundo diseño propuesto (Implementación de circuito cerrado con sistema de enfriamiento por intercambiador de calor y reposición de agua por agua llovida) existen ventajas y desventajas a considerar para poder determinar la viabilidad del proyecto, así pues se tiene que:

Ventajas:

1. Al implementar un tanque de captación de agua llovida se reduce el consumo casi por completo de agua potable proveniente del AyA que se utiliza para enfriar los equipos HPU.
2. Cuenta con un circuito cerrado de agua fría y caliente que reduce el consumo del agua llovida captada, por lo que esta última también puede ser utilizada para otras aplicaciones.
3. El tanque de agua llovida captada cuenta con un sistema que evita que se gaste completamente en otras aplicaciones.
4. Se da un ahorro en litros como en colones considerable respecto al gasto de agua.

5. Con respecto a la energía para su funcionamiento no requiere mucho consumo de potencia eléctrica en los equipos que posee, por lo que no hay un aumento considerable en los recibos eléctricos por parte de la CNFL.
6. Es un sistema confiable ya que los equipos a instalar serían de calidad alta por lo que la garantía y el mantenimiento de ellos sería el óptimo.
7. Es un diseño ecológicamente sostenible ya que no existe un gasto innecesario del recurso acuífero.

Desventajas:

1. Económicamente hablando la inversión es alta ya que requiere de equipos de alto costo económico.
2. Algunos de los equipos no se encuentran en el país por lo que habría que pedirlos al extranjero, así pues el tiempo de implementación es relativamente largo.
3. Se necesita intervenir las tuberías instaladas actualmente para el enfriamiento de las HPU para poder instalar el sistema de circuito cerrado de agua.
4. Para la instalación del sistema se necesitaría intervenir el piso del lugar donde están instaladas las HPU (picar) para la instalación de la tubería nueva.
5. Su mantenimiento es mayor en comparación con el diseño 1 ya que contaría con más equipos a instalar.
6. El agua de lluvia utilizada en el circuito cerrado debería tratarse en cierto tiempo ya que por ser un sistema de este tipo esta característica es intrínseca.

Por último, analizando el tercer diseño propuesto (Implementación de intercambiador de calor y depósito de agua), como todo sistema tienen inmersos pros y contras que se deben analizar para poder determinar si el sistema realmente contribuye con la eficiencia al resolver el problema que se tiene:

Ventajas:

1. Se disminuye considerablemente el consumo de agua del suministro del AyA que se da en las HPU.
2. Es un sistema confiable ya que los equipos a instalar son de alta calidad por lo que su mantenimiento y garantía son de nivel óptimo.
3. Al implementar un tanque de captación de agua llovida se reduce el consumo casi por completo de agua potable proveniente del AyA que se utiliza para enfriar los equipos HPU.
4. Cuenta con un circuito cerrado de agua fría y caliente que reduce el consumo del agua llovida captada, por lo que esta última también puede ser utilizada para otras aplicaciones.
5. El tanque de agua llovida captada cuenta con un sistema que evita que se gaste completamente en otras aplicaciones.
6. Se da un ahorro en litros como en colones considerable respecto al gasto de agua para el enfriamiento de las HPU.
7. Con respecto a la energía para su funcionamiento no requiere mucho consumo de potencia eléctrica en los equipos que posee, por lo que no hay un aumento considerable en los recibos eléctricos por parte de la CNFL.
8. Es un sistema confiable ya que los equipos a instalar serían de calidad alta por lo que la garantía y el mantenimiento de ellos sería el óptimo.
9. Es un diseño ecológicamente sostenible ya que no existe un gasto innecesario del recurso acuífero.
10. Se reduce el consumo de energía en los laboratorios al emplear las resistencias que calientan el agua.

Desventajas:

1. Necesita más equipos a instalar en su implementación por lo que el mantenimiento también aumentaría además de los costos de implementación.
2. Requiere de una alta inversión económica para implementarlo.
3. No reduce el consumo de agua potable en los laboratorios y el ahorro de energía en ellos no es considerable por lo que si se compara la inversión con el ahorro que se daría no sería ventajoso.
4. Las tuberías que llevan agua caliente hacia los laboratorios deberían ir aisladas térmicamente y eso se transcribe en más inversión en el sistema.
5. Con respecto al ahorro de energía empleando las resistencias en menor tiempo, no es un sistema que lo haga considerablemente ya que en las resistencias no se acortaría en mucho el tiempo que se usan.
6. La inversión es alta ya que por ejemplo, se necesitan tanques de captación, aislantes para contener la energía dentro del depósito y tuberías a comparación con el ahorro que se daría al implementarlo en comparación con el ahorro que se daría.
7. Algunos de los equipos no se encuentran en el país por lo que habría que pedirlos al extranjero, así pues el tiempo de implementación es relativamente largo.
8. Se necesita intervenir las tuberías instaladas actualmente para el enfriamiento de las HPU para poder instalar el sistema de circuito cerrado de agua.
9. Para la instalación del sistema se necesitaría intervenir el piso del lugar donde están instaladas las HPU (picar) para la instalación de la tubería nueva.
10. El agua de lluvia utilizada en el circuito cerrado debería tratarse en cierto tiempo ya que por ser un sistema de este tipo esta característica es intrínseca.

Ahora bien, después de enumerar algunas de las ventajas y desventajas que posee cada uno de los diseños propuestos se tomará una decisión para poder determinar cuál de ellos sería el más conveniente, confiable, económicamente viable pero lo más importante, que dé una solución al problema propuesto.

Analizando el *Diseño 1*, éste el de más bajo costo a invertir ya que necesita de menos equipos en su instalación lo que se transcribe en menos mantenimiento, no obstante éste no responde a la necesidad del gasto innecesario del recurso acuífero proveniente del AyA, sino un ahorro energético, algo que no es el objetivo principal del proyecto.

Según lo mostrado en las ventajas y desventajas del *Diseño 2*, a pesar de ser un sistema de alto costo económico para su implementación éste sí responde a la necesidad de detener el despilfarro de agua al enfriar los equipos HPU, analizándolo económicamente como se hizo en el apartado anterior se denota que el tiempo de retorno de inversión es relativamente corto (alrededor de 1 año), función que se da al comparar el valor en colones de la inversión al implementar con lo que se ahorra la entidad al no usar agua del AyA.

Seguidamente se razonan los pros y contras que posee el *Diseño 3* al querer ser implementado, éste por ser prácticamente una mezcla de los dos anteriores sus ventajas y desventajas serían muy similares, teniendo esto en cuenta y recordando que en el *Diseño 1* se iría a instalar más equipos que no reducen el gasto del recurso del AyA, además no tienen un impacto realmente importante en el ahorro de energía.

Por consiguiente y con base en estos análisis de los sistemas diseñados se determina que más óptimo a implementar sería el ***Diseño 2 - Análisis de ahorro económico y del recurso acuífero al implementar un circuito cerrado de enfriamiento de agua***. El diseño respondería con eficacia al problema suscitado en la entidad.

Capítulo V – Desarrollo del diseño

Para el desarrollo del diseño a implementar primeramente se deben tener las características de los equipos con los cuales se va a trabajar. Retomando el **Capítulo II** podemos determinar tanto los consumos de agua que requiere cada uno de los equipos HPU para su óptimo desempeño, además de los eléctricos y demás características que sean relevantes, ayudados también de los manuales de usuario de las HPU.

Para el consumo de agua que tiene cada una de las HPU se toman los datos que suministran los manuales acerca de los flujos de agua necesarios que tienen que pasar por los intercambiadores de calor de las HPU para que el enfriamiento sea óptimo, así pues tomando los datos de la **Tabla 1**, **Tabla 2** y **Tabla 3** obtenemos las características denotadas en resumen en la tabla que seguidamente se mostrará, se denota que el flujo de agua depende de la temperatura de entrada en el intercambiador de calor de cada una de ellas.

Tabla 33. Consumo de agua de equipos HPU según temperatura de entrada del agua.

Modelo								
505.07			505.11-G2			510,21C		
Temperatura (° C)	Consumo		Temperatura (° C)	Consumo		Temperatura (° C)	Consumo	
	L/min	GPM		L/min	GPM		L/min	GPM
10	3,8	1	10	7,2	1,9	18,3	30	8
15,5	4,9	1,3	15,5	9,1	2,4	21,1	30	8
21,1	6,1	1,6	21,1	12,1	3,2	23,8	30	8
26,7	8,3	2,2	26,7	18,9	5	26,7	34	9
32,2	15,9	4,2	32,2	49,2	13	29,4	42	11
---	---	---	---	---	---	32,2	57	15
---	---	---	---	---	---	35	91	24

Tomado de Manuales de Usuario. HPU modelo 505.07, 505.11-G2, 510.21C.

Para poder extraer el calor del agua proveniente de los intercambiadores de calor de los equipos HPU se va a implementar un sistema de enfriamiento que consistirá de una *torre de enfriamiento* con sus componentes necesarios que pueda suplir las necesidades relacionadas a las características que deba tener el agua que ingrese en los intercambiadores de calor. Más adelante se hará un análisis y se escogerá la torre de enfriamiento adecuada para el sistema.

Con respecto a la tubería para trasegar el agua en el sistema se escogerán según el diseño, teniendo la salvedad que la velocidad del agua sería alrededor de 2 m/s dentro de la tubería, se calculará las pérdidas de presión que se darán en ella, esto también para la selección de la bomba.

Para poder transportar el agua por el circuito cerrado de enfriamiento de las HPU se seleccionarán bombas de agua luego de analizar cuál sería la correcta para instalar en él, que supla las pérdidas tanto en tubería, como por elevación, además de los diferenciales de presión en los intercambiadores de calor, accesorios, entre otros.

Para que el sistema sea lo más eficiente posible se instalará un variador de frecuencia, el cual gobernará la bomba que trasladará agua, por lo tanto el sistema será un *circuito cerrado a presión constante*, así pues dependiendo del consumo y la presión requerida en el sistema el variador de frecuencia hará que la bomba supla las necesidades que se estén dando en el momento.

La captación de agua llovida se hará por medio de un tanque, el cual se instalará a la salida de un bajante que recoge el agua desde el techo de la nave, contará con un filtro que no dejará pasar impurezas al sistema. En el siguiente apartado se mostrarán las características de este y otros equipos a instalar.

Seguidamente se debe hacer un análisis de las posibles locaciones donde se puedan instalar los equipos, tales como las bombas, tanque de captación de agua fría y/o caliente, sistema de enfriamiento, tanque de captación de agua llovida, tableros de potencia eléctrica, tablero de control, posible paso de las

tuberías de agua, entre otros, todo esto para poder determinar características mecánicas y eléctricas de los sistemas, hablamos de longitudes de tuberías, potencia eléctrica, cables, tableros, entre otros, escogencia del sistema de enfriamiento, bombas y demás equipos que se requieran para el que el sistema trabaje de la forma más eficiente.

Así pues según el plano de las instalaciones suministrado por el encargado en Mantenimiento del LanammeUCR (ver **Apéndice 2**) se hizo una posible distribución de los equipos.

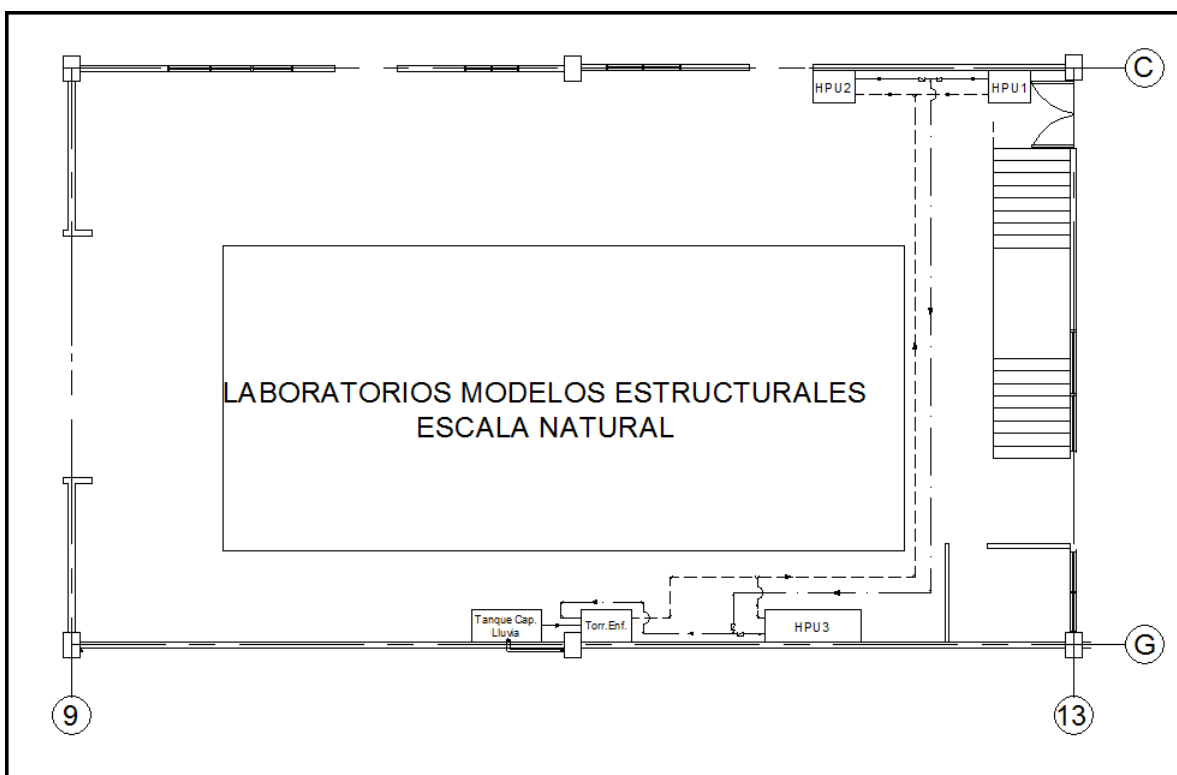


Imagen 11. Distribución de equipos a instalar y tubería en implementación de sistema de enfriamiento para equipos HPU.

Ya con esta distribución y con los datos requeridos para los equipos, los cálculos respectivos de tuberías, tales como longitudes, diámetros con sus caídas y accesorios, se cotizarán los equipos para su instalación.

Capítulo VI – Equipo a utilizar

Primeramente hay que recordar del **Capítulo II**, que se había dicho que la válvula solenoide del HPU modelo 505.07 parecía estar dañada, ya que independientemente del estado de equipo, la válvula permanecía abierta, contrario a como está diseñado la cual debe abrir hasta el momento en que la máquina enciende y la temperatura del líquido hidráulico llegue alrededor de 40° C.

Se desarmó la válvula solenoide y se limpió, existían orificios dentro de ella que estaban tapados por impurezas por lo que no podía cumplir su función del todo. Se revisaron los empaques y se limpiaron, en general se hizo una revisión de toda la válvula. Además se analizaron las conexiones eléctricas que le dan potencia y se limpiaron.

Luego de la revisión y una vez armada la válvula solenoide, se probó y se comprobó que ésta seguía en mal estado, por lo que se procede a hacer la compra de la nueva válvula solenoide para ser instalada en el equipo y que éste trabaje de la manera en la que fue diseñado y así evitar que se incurra en un gasto innecesario.

Para poder seleccionar los equipos con los que se van a instalar en el sistema se debe tener en consideración las características tanto ambientales como las de los equipos a enfriar. (Ver **Capítulo V**)

El funcionamiento del sistema de enfriamiento de las HPU depende mucho de las condiciones a las que se encuentre el agua de entrada al intercambiador de calor. En la tabla siguiente podemos observar como el flujo depende de esta condición mencionada.

Tabla 34. Características del agua de enfriamiento para la HPU modelo 505.07.

Temperatura entrada del agua (° C)	Consumo	
	L/min	GPM
10	3,8	1
15,5	4,9	1,3
21,1	6,1	1,6
26,7	8,3	2,2
32,2	15,9	4,2

Tomado de Manual de Usuario de HPU 505.07

Tabla 35. Características del agua de enfriamiento para la HPU modelo 505.11-G2.

Temperatura entrada del agua (° C)	Consumo	
	L/min	GPM
10	7,2	1,9
15,5	9,1	2,4
21,1	12,1	3,2
26,7	18,9	5
32,2	49,2	13

Tomado de Manual de Usuario de HPU 505.11-G2

Tabla 36. Características del agua de enfriamiento para la HPU modelo 510.21C.

Temperatura entrada del agua (° C)	Consumo	
	L/min	GPM
18,3	30	8
21,1	30	8
23,8	30	8
26,7	34	9
29,4	42	11
32,2	57	15
35	91	24

Tomado de Manual de Usuario de HPU 510.21C

Sistema de enfriamiento y caudal necesario en los equipos para enfriamiento.

Teniendo por un lado las condiciones necesarias para el funcionamiento idóneo de las HPU, si se quiere instalar una torre de enfriamiento para que extraiga el calor del agua del sistema se debe tener en consideración las condiciones ambientales, ya que un equipo de este tipo sólo puede bajar la temperatura mínimo hasta la temperatura ambiente.

En el **Anexo 3** se muestran los datos más recientes suministrados por el CIGEFI (Centro de Investigaciones Geofísicas), de las condiciones ambientales de la zona donde se va a instalar el sistema de enfriamiento de agua.

Para los datos mostrados en la **Tabla 69** del **Anexo 3** se pueden determinar los valores extremos de temperatura a los cuales el ambiente puede llegar, y es con base en ellos a lo que se va a diseñar el sistema, teniendo en cuenta que los que nos interesan en este caso serán *temperaturas y humedad relativa*. Por esto tenemos que:

Tabla 37. Valores mínimos y máximos de las condiciones ambientales requeridas para el diseño del sistema de enfriamiento.

Elementos	Mínimo	Máximo
Temperatura máxima (° C)	23,3	26,4
Temperatura mínima (° C)	15,5	17,3
Temperatura media (° C)	19,4	21,8
Humedad relativa (%)	79,0	87

Para la selección adecuada de una torre de enfriamiento como se mencionó hay que tener en cuenta varios factores que influyen para su funcionamiento óptimo, teniendo en cuenta que la torre de enfriamiento no puede enfriar más allá de la *temperatura de bulbo húmedo* (tomado de <http://depa.fquim.unam.mx/>). Con ayuda de la carta psicrométrica podemos determinar las temperaturas mínimas y máximas a las cuales la torre podría enfriar el agua proveniente de los intercambiadores de calor de los equipos HPU, y con ello gracias a los manuales de cada una de las HPU encontrar el flujo necesario para que el enfriamiento en ellas sea el óptimo, ya que éste también depende de la temperatura de entrada del agua como fue mencionado en el apartado anterior.

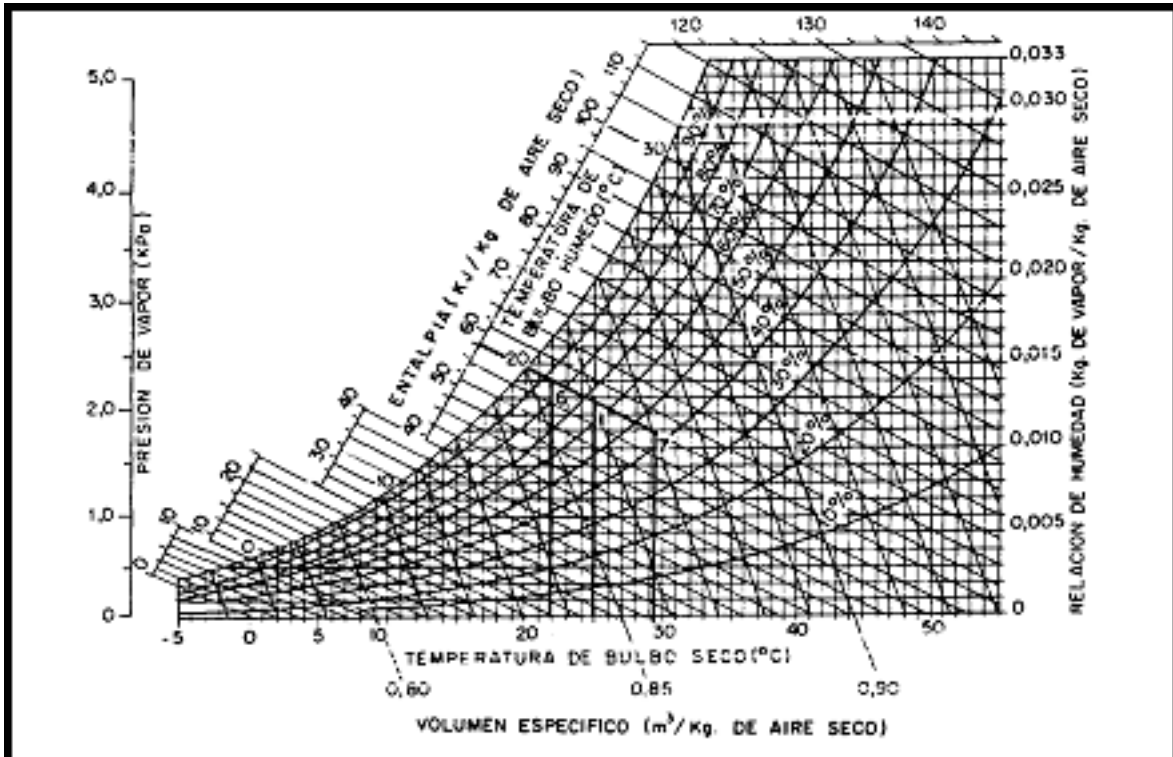


Imagen 12. Carta psicrométrica para cálculo de temperatura de bulbo húmedo en la zona.

(Ver **Imagen 39**)

Con los valores mostrados en la tabla anterior, y aplicados a la carta psicrométrica podemos obtener las condiciones extremas a las cuales se encontrará el agua después de haber enfriado. (Ver **Apéndice 3**)

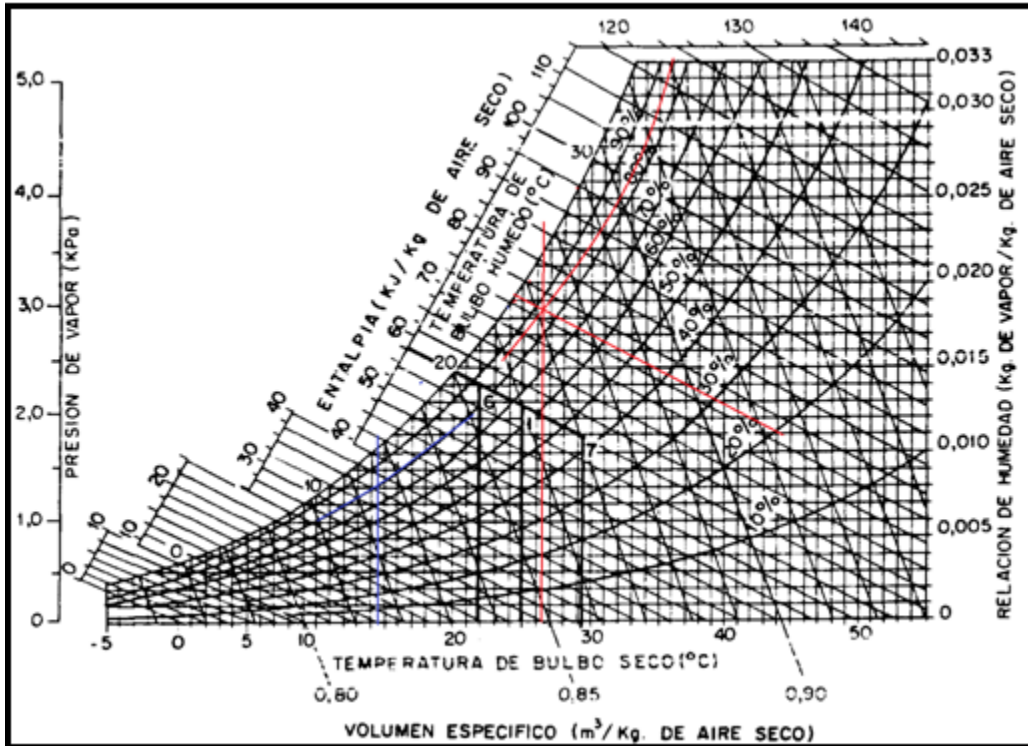


Imagen 13. Datos aplicados a la carta psicrométrica para cálculo de temperatura de bulbo seco en la zona.

(Ver **Imagen 40**)

Analizando los datos de las **Imagen 13** se tiene que la temperatura del bulbo seco para las condiciones máximas serán (color rojo):

- Temperatura bulbo seco = 26,4° C
- Humedad relativa = 87 %
- *Temperatura bulbo húmedo = 24,5° C*

Y para las condiciones mínimas (color azul):

- Temperatura bulbo seco = 15,5° C
- Humedad relativa = 79 %
- *Temperatura bulbo húmedo = 12° C*

Con respecto a estos valores obtenidos se puede interpolar y extrapolar, con ello calcular gracias a las **Tablas 1, 2 y 3** el flujo de agua necesario para cada HPU para un enfriamiento óptimo, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 38. Flujo de agua necesario a Temperaturas máximas y mínimas de la torre de enfriamiento para enfriar HPU.

¿HPU	Modelo	GPM		L/min		m ³ /s	
		Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
1	505.07	1,96	1,11	7,42	4,20	1,24E-04	7,00E-05
2	505.11-G2	4,29	2,08	16,24	7,87	2,71E-04	1,31E-04
3	510.21C	8,24	8	31,19	30,28	5,20E-04	5,05E-04

Tmax = 24,5° C

Tmin = 12° C

Ver **Apéndice 7**.

Con ayuda de proveedores para la torre de enfriamiento se pudo seleccionar la más óptima, así pues en la cotización del **Anexo 6** se muestra el equipo seleccionado para este tipo de enfriamiento.

Sí se diera el caso en que los tres equipos HPU estén trabajando simultáneamente se daría un consumo total de 54,85 L/min (14,49 GPM), lo cual sería muy por debajo de lo que el equipo puede llegar a enfriar, por lo que se deduce que el equipo satisface las necesidades de enfriamiento.

Haciendo el cálculo en el **Apéndice 5** de los kCal/h y las Ton de enfriamiento requeridos para el sistema de la torre de enfriamiento con un caudal requerido como se denota en la anterior se obtienen los siguientes datos que se tabulan a continuación en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Energía extraída del agua en la torre de enfriamiento.

Modelo	Caudal (m ³ /s)	ΔT (° C)	Cp (kJ/K kg)	Q (kJ/s)	Q (Btu/s)	Q (Btu/h)	Q (kCal/h)
505.07	7,00E-05	43	4,179	1,26E-02	1,19E-02	42,93	10,82
505.11-G2	1,31E-04	43	4,179	2,36E-02	2,23E-02	80,45	20,27
510.21C	5,05E-04	43	4,179	9,07E-02	8,60E-02	309,44	77,98
Total							109,07

Según los datos obtenidos y comparado con los datos de la torre de enfriamiento podemos observar que el equipo cumple con las características requeridas para que el intercambio de calor sea el mejor entre el agua y el ambiente y se enfríen los equipos. De igual forma el equipo está sobredimensionado, pero como se mencionó no existía una torre de enfriamiento más con características más pequeñas para seleccionar.

1 Torre de enfriamiento:

- Proveedor: MABESA
- Modelo: 25.
- Toneladas de enfriamiento: 25 ton.
- Motor: ¾ Hp.
- Capacidad de hasta 324 L/min.

Tubería para agua caliente y agua fría

Primeramente teniendo el flujo de agua necesario en el sistema para cada una de las HPU se hace el cálculo de la tubería a instalar para poder llevar el agua fría desde el sistema de enfriamiento hasta los equipos HPU y de regreso de estos al sistema de enfriamiento.

Se considera poner el mismo diámetro en la entrada y salida de los intercambiadores de calor, los cuales analizando sus características tienen una medida 19 mm para cada intercambiador de cualquier HPU, más adelante se analizará las pérdidas de presión que se dan en la tubería para seleccionar la bomba que cumpla con las necesidades.

Seguidamente, existe un método confiable para poder calcular el diámetro de tuberías para trasegar agua, el cual se hace por medio de la expansión de la fórmula $Q = V \times A$, la cual depende de la velocidad del agua que se quiere pasar por ella (V) y el área transversal de la tubería (A), así pues se tiene que:

$$Q = V \times A$$

Donde:

Q: caudal de agua (m³/s)

V: velocidad del agua (recomendado 2 m/s)

A: área transversal de la tubería.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \Rightarrow Q = V \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$\Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$$

Analizando la **Tabla 38** se puede decir que la cantidad de agua que tiene que llevar la tubería cuando las HPU modelo 505.07 y 505.11-G2 están trabajando es la suma de sus caudales, lo cual nos da como resultado 0,000394 m³/s máximo, así pues aplicando la fórmula se tiene que:

$$D = 1000 \sqrt{\frac{4 \times 0,000394}{\pi \times 2}} \approx 15,84 \text{ mm.}$$

Ahora bien, cuando los 3 equipos estén trabajando el caudal que viaja a través de las tuberías que suministran el agua fría y recogen el agua caliente es la suma de sus caudales, por lo que se tiene un aproximado de 0,000914 m³/s máximo, así pues aplicando de nuevo la fórmula para este caso se tiene:

$$D = 1000 \sqrt{\frac{4 \times 0,000914}{\pi \times 2}} \approx 24,12 \text{ mm.}$$

Con estos datos calculados se comprueba que se podrían instalar tuberías de 19 mm (3/4 pulgada) y 25,4 mm (1 pulgada) para cada sección analizada. (Ver **Imagen 36**).

Si nos vamos al **Apéndice 6** podemos ver los cálculos para las pérdidas de presión que se dan por la selección de estos diámetros de tubería y así poder elegir más adelante la bomba que satisfaga las necesidades del sistema.

Bomba para recirculación de agua.

Primeramente se harán los cálculos para seleccionar la bomba a utilizar, así pues con las siguientes características se determinará cuál es la bomba adecuada para instalar en el sistema y que suplan tanto el caudal como la presión necesaria.

Con los datos que se obtuvieron con la torre de enfriamiento y las características de las HPU necesarias para el diseño se obtienen la siguiente tabla, donde se tabula los valores a utilizar para la selección.

Tabla 40. Consumo de agua y presión para las HPU para obtener un intercambio de calor eficiente en el sistema.

Modelo	GPM		L/min		Diferencial de presión	
	a Tmax	a Tmin	a Tmax	a Tmin	MPa	PSI
505.07	1,96	1,11	7,42	4,20	0,24 - 0,34	35 - 50
505.11-G2	4,29	2,08	16,24	7,87		
510.21C	8,24	8	31,19	34,06		

Tmax: 24,5° C

Tmin: 12° C

Ahora bien, teniendo estos datos y una distribución de los equipos tal y como se muestra en la **Imagen 11** y tomando medidas, lo cual se puede ver en la **Imagen 35**, se puede hacer un cálculo de las pérdidas que se dan en la tubería, esto teniendo en cuenta que la tubería a instalar sería para agua potable, tipo Sch40.

En el **Apéndice 6** se muestran los cálculos para las pérdidas de presión en la tubería según la distancia que existe entre los equipos, así pues se obtiene lo siguiente:

Tabla 41. Caída de presión total debido a la temperatura del agua y longitud de la tubería en el trasiego del agua fría y caliente.

Pérdidas totales de presión (bar)	0,0855
Pérdidas totales de presión (bar) + 50%	0,1282
Pérdidas totales de presión (PSI) + 50%	1,8221

Para el diseño se estima un 50% más de pérdidas de presión por los accesorios a instalar en el sistema mecánico que llevará el agua de un punto al otro, no obstante la pérdida de presión según los cálculos para el caso más extremo, que es cuando el agua está más fría, lo cual representa más viscosidad en el agua y más fricción en la tubería, por lo que tendríamos un resultado de 1,8221 PSI en pérdidas de presión en la tubería.

Se estudió la implementación de bombas marca Goulds, se hizo una cotización, (ver **Anexo 6**), con las características necesarias que cumpla con la curva de comportamiento óptimo. Según lo visto en la ficha técnica de estas bombas se tiene.

Tabla 42. Característica de bomba marca Goulds.

Modelo: JRS10 (1 HP)					
Presión de descarga (PSI)	GPM				
30	27	24,5	21,2	17,6	13,4
40	22,4	20,5	19,2	16,8	13
50	15,7	14,8	12,6	11,1	8,7
60	9,6	7,5	5,1	3,3	--

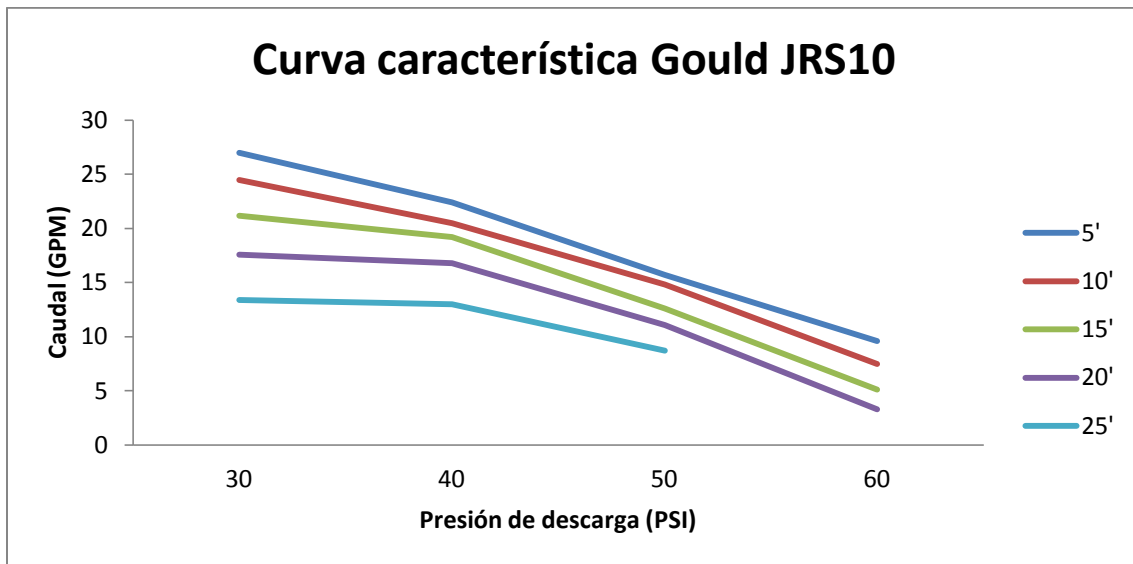


Imagen 14. Curva característica para bombas de agua marca Goulds, modelo JRS10.

Observando la gráfica anterior se puede asegurar que la bomba seleccionada cumple con las características necesarias, ya que se mantiene por encima del rendimiento requerido, y por ser un sistema de presión constante siempre se mantendrá a una presión alta, mientras el caudal varía, esto con ayuda del variador de frecuencia que en el siguiente apartado se seleccionará.

Variador de frecuencia

El sistema se diseñó de tal forma que la presión en las tuberías y equipos se mantenga constante por medio de la bomba, independientemente de la cantidad de equipos que estén trabajando simultáneamente, y que además el flujo de agua sea el que se requiera según lo necesitado por las HPU para mantener un enfriamiento en sus intercambiadores de calor óptimos, sin dejar de lado que se suplan las pérdidas de presión en las tuberías y por accesorios del sistema.

El variador de frecuencia seleccionado es de marca Berkely, modelo Pentek Intellidrive con número de catálogo PID-1-4A7-3, el cual cuenta con las características que se denotan en la siguiente tabla.

Tabla 43. Característica de bomba marca Goulds.

Número de catálogo	Tipo de motor	Potencia (Hp)	Voltaje de entrada (V)	Máxima corriente de salida (A)	Tipo de carcasa.
PID-1-4A7-3	3 fases	1	190 – 265	4,7	NEMA 3R (Exterior)

Tomado de manual de usuario.

Este tipo de variador de frecuencia se configurará tal que cumpla con las especificaciones del diseño propuesto, así pues se programará para que dé una presión máxima constante y regule la velocidad del motor de la bomba para que el caudal se mantenga entre los rangos requeridos para el enfriamiento óptimo.

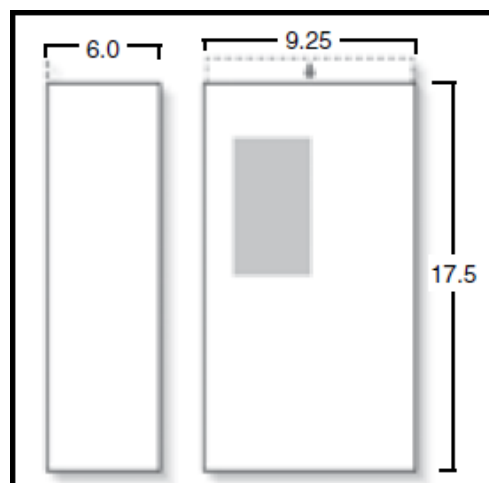


Imagen 15. Dimensiones externas del variador de frecuencia en pulgadas.

En la anterior se muestra las dimensiones del equipo y en la siguiente el modelo del equipo seleccionado.



Imagen 16. Variador de frecuencia seleccionado para el proyecto.

La operación de este equipo se basa en la utilización de un transductor de presión en un rango de 0 mA a 20 mA y 0 PSI a 120 PSI para poder controlar la velocidad de giro del motor, el cual detecta la presión en la tubería, convirtiéndola en una señal eléctrica y procesarla mediante un regulador PID (Proporcional,

Integración y Derivado), así pues al dejar el sistema en automático, el mecanismo aumenta o disminuye la velocidad del motor de la bomba para mantener la necesidad de presión constante y el flujo necesario en las tuberías y equipos.

Este equipo cuenta con un teclado de fácil acceso para la programación del variador de frecuencia y demás componentes para su manejo, tal y como se muestra en la **Imagen 17**.

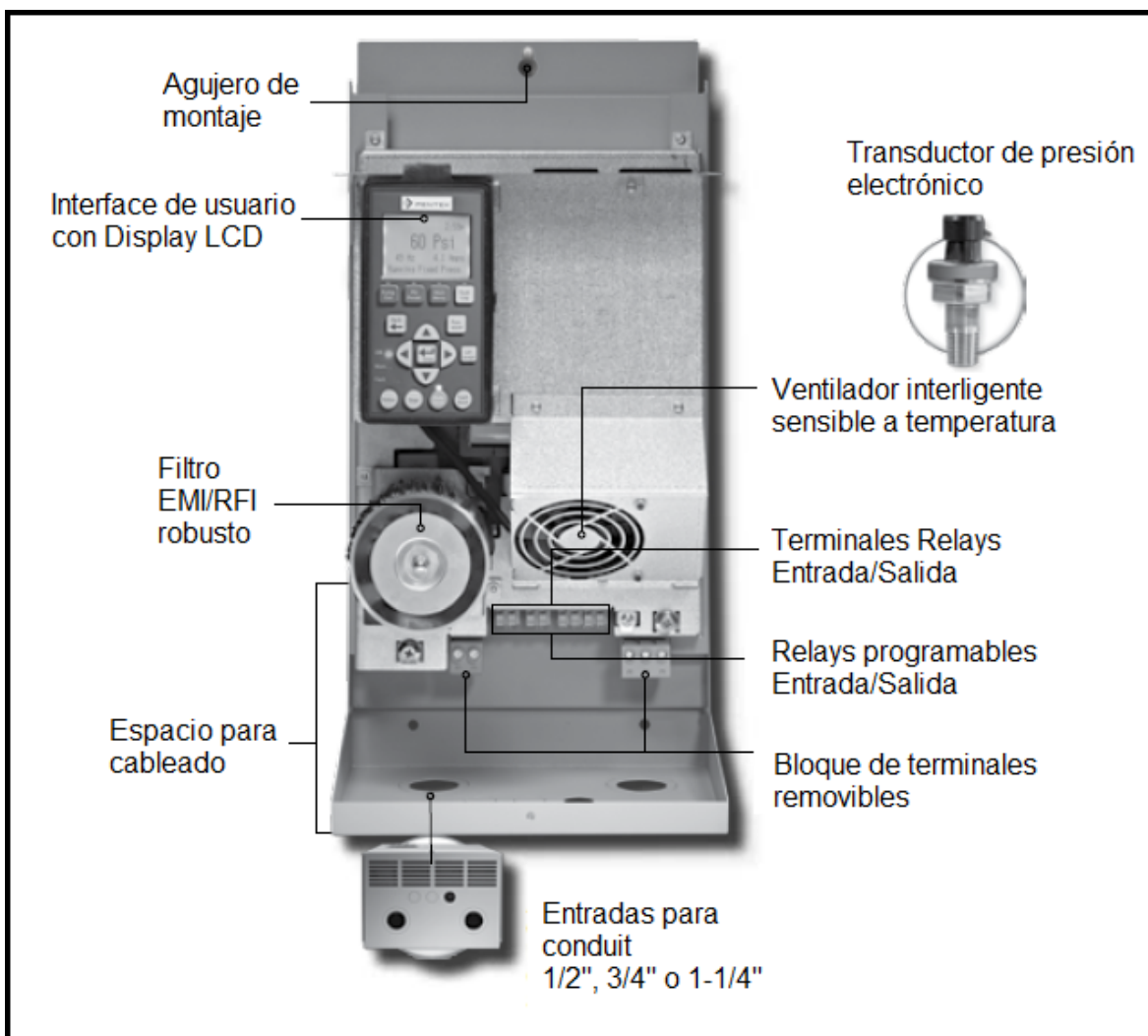


Imagen 17. Partes del variador de frecuencia seleccionado. (Tomado de manual de usuario).

Después de haber hecho las cotizaciones de los equipos se tiene que para la implementación del diseño se requiere de los equipos para la recirculación de agua que se denotarán a continuación, los cuales se instalarán en el piso fuerte del Edificio A del LanammeUCR.

1. VARIADOR DE FRECUENCIA

Utilizado para variar la velocidad del rodete de la bomba para poder mantener una presión constante en el sistema y suplir del caudal necesario en cada uno de los equipos.

- a. Marca: Berkely
- b. Modelo Pentek Intellidrive
- c. Número de catálogo PID-1-4A7-3
- d. Norma: Nema 3R
- e. Potencia: 1/2-1 HP
- f. Voltaje: 190-265 V.
- g. Fases: 3
- h. Cantidad: 1

2. BOMBA PARA AGUA

Utilizada para trasegar el agua por las tuberías de agua caliente y fría.

- a. Marca: Goulds
- b. Tipo: Jet
- c. Modelo: JRS10
- d. Potencia: 1HP
- e. Voltaje: 115-230 V.
- f. Fases: 3
- g. Cantidad: 1

3. Boya de control de nivel

Se utilizará para abrir o cerrar el paso del agua llovida hacia el sistema en caso de que haya pérdidas de agua en el sistema de enfriamiento.

- a. Modelo: LH SJE-81
- b. Amperaje: 13 Amps
- c. Tipo: Control por nivel / Bajo
- d. Cantidad: 1

4. TANQUE DE CAPTACIÓN DE AGUA LLOVIDA

Para recolectar el agua pluvial a utilizar en el sistema y reemplazar el agua de suministro del AYA.

- a. Marca: ECOTANK
- b. Capacidad: 750LTS
- c. Tipo: Uso aéreo
- d. Color: Negro
- e. Tipo: Bicapa
- f. Cantidad: 1

5. CONECTOR MECÁNICO PARA TUBERÍA DE AGUA

Para la instalación mecánica de tuberías en el sistema de enfriamiento.

- a. Diámetro: 39 mm (1-1/2")
- b. Cantidad: 1

6. CONECTOR MECÁNICO PARA TUBERÍA DE AGUA

Para instalación mecánica de tuberías de agua pluvial al tanque de captación de la misma.

- a. Diámetro: 75 mm (3")
- b. Cantidad: 3

7. LLAVE DE PASO

Para controlar el paso de agua de los suministros.

- a. Diámetro 13 mm (1/2").
- b. Tipo: T-ALTO, VAR1/4X12, BOYA 150 mm (6")
- c. Cantidad: 2

8. LLAVE DE TANQUE

Para controlar el paso de agua al tanque.

- a. Tipo: ALTO EZFLO
- b. Diámetro: 25 mm (1")
- c. Cantidad: 1

9. TANQUE HIDRONEUMÁTICO

Ayuda a mantener una presión constante en el sistema y hace que el golpe de Ariete no se produzca al apagar el sistema.

- a. Modelo: PWN
- b. Capacidad: 60L/15GLS
- c. Tipo: Horizontal con base
- d. Cantidad: 1

10. Materiales varios para instalación.

11. Cabezal de descarga y bombas.

12. Materiales varios.

13. Otros materiales para instalación de bomba. (Tubería ida y vuelta).

Utilizada para trasegar agua fría y caliente en el sistema, además de suplir de agua cuando haya faltantes.

14. Sub contratación para romper concreto para meter tuberías, e instalación de equipos.

Instalación del sistema mecánico para todo el sistema.

Para la implementación del diseño se requiere del equipo para el enfriamiento del agua que denotará a continuación:

1. Torre de enfriamiento

Extrae el calor que posee el agua que proviene de los intercambiadores de calor de los equipos HPU a enfriar.

Para la instalación de la tubería se considerará si hacerla aérea o por debajo del concreto, eso con base en las condiciones de la tubería ya instalada, la cual atravesaría el piso fuerte por el costado oeste de la planta.

Instalación eléctrica.

El sistema debe contar con una instalación eléctrica que pueda suplir de potencia a los equipos eléctricos a instalar además que sea segura tanto para estos como para el usuario.

En tabla siguiente se muestran las características nominales de estos equipos eléctricos.

Tabla 44. Característica de equipos eléctricos a instalar.

Circuito	Potencia (HP)	Voltaje (V)	Fases	Características
1	1	230	3	Variador de frecuencia
2	1	230	3	Motor de ventilador de torre de enfriamiento

Más adelante se mostrarán las características del tablero que se necesita instalar para poder darle la potencia requerida a los equipos eléctricos que se van a implementar para el sistema de enfriamiento.

La potencia de este tablero se traerá desde otro ya instalado, se llevarán las líneas necesarias para instalar este otro centro de control de motores, tal y como se muestra en la **Imagen 18** más adelante.

Hay que considerar que los equipos a instalar son motores de baja potencia por lo que accesorios como guarda motores, contactores, protecciones de sobrecarga, arrancadores, no serían necesarios, esto según el código eléctrico nacional basado en el NEC2014.

Con respecto al calibre para el circuito ramal y la protección para el variador de frecuencia se toman los datos según el manual de usuario, el cual nos dice que su disyuntor debe tener un valor de 15 A trifásico, alimentado con un calibre 12 THHN y salida para el motor con un calibre 14 THHN.

Con respecto al cálculo del disyuntor para el motor del ventilador de la torre de enfriamiento se hizo con base en el código eléctrico nacional, donde se tiene que para motores de 1 HP trifásicos la corriente de línea a plena carga es de 3,6 A, por lo que se selecciona el disyuntor trifásico más apropiado para que el equipo

no quede muy sobredimensionado, igualmente con el calibre del cable, esto por ser corrientes muy bajas a comparación con las capacidades de estos dispositivos de protección y alimentación.

Para el disyuntor, se calculó según lo establece la norma, la cual dice que para un motor su protección será el 250% de la corriente a plena carga, por lo que este valor sería 9 A, no obstante el disyuntor más pequeño que se puede instalar es de 15 A, trifásico.

Para el calibre del cable se utiliza la corriente a plena carga aplicándole un factor de 1,25%, como la corriente de línea es 3,6 A el valor para la selección del calibre sería de 4,5 A, por lo que se escoge un calibre 12 THHN, que también queda sobredimensionado.

En el caso del calibre para la tierra se selecciona según el NEC2014, el cual me dice que depende del calibre alimentador del motor, y que para esta línea si es calibre 2 ó menor se selecciona un calibre de puesta a tierra 8 THHN.

Con respecto las líneas que van desde el centro de cargas (Tb) hacia el tablero principal se calcula con base en las corrientes a plena carga, por lo que sería la suma de las corrientes a plena carga de todos los motores más el 25% de la corriente del motor más grande. Según esto sería entonces 8,1 A, por lo que el calibre también podría quedaran en 12 THHN.

Por último, para el disyuntor principal se tiene que su selección se basa en la suma del valor del disyuntor más grande del centro de cargas con las corrientes nominales de los otros motores, teniendo así 18,6 A, seleccionando un disyuntor trifásico de 20 A como disyuntor principal.

En la siguiente se muestra el diagrama unifilar para la alimentación del centro de control de motores que se instalará para dar potencia a los equipos eléctricos a implementar.

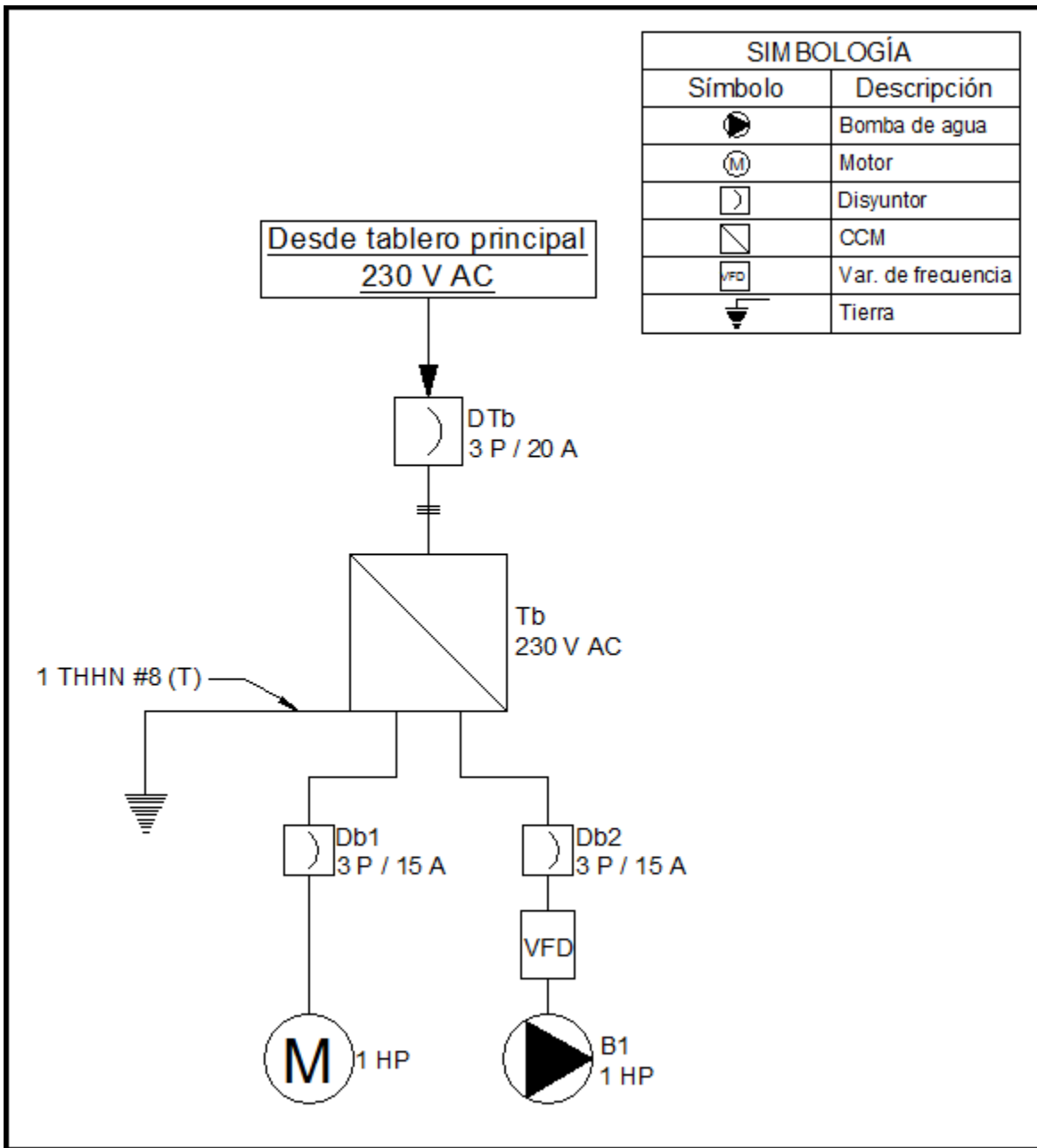


Imagen 18. Diagrama unifilar para la instalación eléctrica de los equipos.

Con esta instalación eléctrica se supe la potencia requerida y en condiciones seguras para que los equipos mantengan su integridad y además se salvaguarda la salud de los usuarios de los equipos.

Tabla 45. Cálculos para tablero trifásico a instalar.

Circuito	Salidas	Potencia	Voltaje	L1	L2	L3	Calibre	Longitud	Caída Voltaje	Protección	Ducto	Descripción
				Corriente								
-	(n)	(W)	(V)	(A)	(A)	(A)	n THHN	(m)	(%)	Pol / A	mm Ø	
1	3	746	230	3,6	3,6	3,6	3 #14	30	0,49	3P / 15 A	13	Variador de frecuencia para motor de 1 HP*
2	3	746	230	3,6	3,6	3,6	3 #12	30	0,49	3P / 15 A	13	Ventilador de torre de enfriamiento (Motor de 1 HP)
Totales		1492		7,2	7,2	7,2						
CONDICIONES DE OPERACIÓN							DESCRIPCIÓN DEL TABLERO					
Carga instalada total							Trifásico trifilar					
1492 Watts							230 V, 3Ø, 4h, + T					
Demanda Máxima Total							Capacidad de barras					
1492 Watts							70 A					
Corriente de Carga Inst. Total							Número de campos simples					
7,2 Ampere							0					
Corriente de Dem. Máx. Total							(o diseño especial)					
7,2 Ampere												
Factor de demanda							Protector de tablero:					
1 -							Disyuntor 3P / 20 A, en caja metálica					
CARACTERÍSTICA DEL ALIMENTADOR DEL TABLERO							Distancia del protector al tablero:					
3 THHN #12 (L1, L2 y L3) +							30 m					
1 THHN #12 (N) + 1 THHN #12 (T)							Caída del voltaje alimentador					
en tubo EMT de 13 mm Ø							0,49%					

*Los datos de calibre de alimentación y disyuntor se toman del manual de usuario.

Capítulo VII – Análisis del agua llovida

Para poder utilizar el agua llovida en el sistema como agua de recuperación para cuando haya faltantes se debe de tener en consideración el impacto que ésta pueda tener en los dispositivos, ya que por ser agua de diferente procedencia que la de la tubería de agua potable puede tener una composición química que pueda dañar las tuberías y el intercambiador de calor.

En la tabla siguiente se muestra la composición química que debe tener el agua para que los intercambiadores de calor no se vean comprometidos, por lo que se hace un estudio de la composición química del agua llovida en la zona de San Pedro de Montes de Oca por medio de CICA (Centro de Investigación en Contaminación Ambiental) de la Universidad de Costa Rica.

Tabla 46. Química del agua necesaria para intercambiadores de calor de las HPU.

Intercambiadores de calor MTS	
Química del agua	
Amoniaco	NaN
Bacterias	Bacteriológicamente libre
Calcio	< 800 ppm
Cloruros	< 5 ppm
Sólidos disueltos	> 50 ppm pero < 200 ppm; 150 ppm si existen sólidos abrasivos
Hierro	3 ppm
Nitratos	< 10 ppm
Compuestos de nitrógeno	NaN
Sales o ácidos oxidantes	NaN
Nivel de pH	6 - 8,5 recomendado
Sílice como SO ₂	< 150 ppm para limitar escala de sílice
Sulfuros	< 1 ppm
Dióxido de azufre	< 50 ppm

Fuente: *Heat Exchanger Care and Water Quality Guide*.

Mediante los resultados del análisis mostrado en la tabla siguiente y el **Anexo 7** se procede a determinar si el agua posee los niveles aceptables para su uso en el sistema.

Tabla 47. Resultados de análisis de agua llovida hecho por el CICA
(Ver **Anexo 7**).

Análisis	Unidad	Muestra 1
Amonio	ppm	0,490 +/- 0,020
Calcio	ppm	< 2,1
Cloruros	ppm	0,232 +/- 0,079
Sólidos disueltos	ppm	< 0,9
Hierro	ppm	< 0,080
Nitratos	ppm	0,513 +/- 0,085
Nivel de pH	pH a 20° C	5,91 +/- 0,17
Silicio	ppm	0,40 +/- 0,40
Sulfuros	ppm	1,365 +/- 0,084

1 ppm = mg/L

Analizando los resultados y comparándolos con los requeridos para que los intercambiadores no se vean comprometidos y mantengan su integridad para que trabajen de la manera más óptima, determinar que el agua es lo suficientemente apta para poder ser utilizada en el sistema de enfriamiento del diseño a implementar.

No obstante hay que tener en consideración que en todo sistema de recirculación de agua se debe realizar un tratamiento de la misma, ya sea con filtro y/o un proceso químico, ya que por tratarse de una torre de enfriamiento abierta puede contaminarse y producir calcificaciones o demás procesos que comprometan la integridad del sistema. Este tratamiento se consultará con proveedores de diferentes casas comerciales para determinar cuál es el recomendado para el sistema.

Capítulo VIII – Impacto ambiental

En varias zonas del país existe una problemática referida a la falta de agua para el consumo humano, agua potable que se puede utilizar para uso diario, la cual es vital para la vida de todo ser viviente.

Con la implementación del sistema de enfriamiento, diseñado y seleccionado se da un impacto ambiental considerable, ya que se resuelve el problema del consumo innecesario de agua para enfriar los equipos.

Estas unidades poseían un sistema en el cual llaves de paso se abrían para dejar pasar agua a través de los intercambiadores de calor de las HPU, esto con el inconveniente de que luego que el agua enfriaba, estos salían y se tiraba a la alcantarilla produciendo un gasto del recurso acuífero.

Si retomamos la **Tabla 5**, además como se mencionó, asumiendo que el uso de los equipos es de 2 horas al día para la HPU modelo 505.07, 2 horas al día para la HPU modelo 505.11-G2 y 4 horas al día para la HPU modelo 510.21C, por 5 días a la semana, por un tiempo aproximado de 49 semanas al año, se tiene un gasto de alrededor de 722 612,75 L, 629 492,55 L y 2 458 373,26 L respectivamente, haciendo un total de 3 810 478,55 L al año por las 3 máquinas.

Hay que tener en consideración que el tiempo con el que se calculó este consumo es estimado, ya que no se cuentan registros del uso de los equipos HPU, por lo que puede variar durante las semanas. Existen casos en que una o dos HPU puede pasar todo el día trabajando (de 6 a 7 horas al día), incurriendo en un gasto excesivo del recurso acuífero y aumentando el volumen tirado a la alcantarilla.

No sólo se da un detenimiento del gasto excesivo e innecesario del agua, sino que también incurre en un costo económico para la institución, al detener este consumo de agua se verá reflejado en las tarifas del AyA, cosa que se dará a conocer en el siguiente apartado.

Capítulo IX – Análisis económico y tiempo de retorno de inversión

Para que el sistema sea realmente accesible a implementar no solamente tiene que resolver el problema considerado, sino que también tiene que ser rentable, ya que nada se gana si se detiene un gasto para incrementar otro o que el tiempo de retorno de inversión sea muy extenso.

Implementando el diseño se debe tener en consideración el gasto que se hace al momento de comprar los equipos requeridos para que funcionen de la manera más óptima, pero también se debe hacer el análisis del ahorro que se dará luego de implementarlo, además del tiempo del retorno de la inversión.

Si analizamos las cotizaciones del **Anexo 6** podemos observar los montos requeridos de los equipos y demás materiales que se necesitan para poder implementar el sistema de enfriamiento por parte de varias empresas, por lo que se tiene un resumen en la siguiente tabla.

Tabla 48. Cotizaciones para equipos a instalar en implementación.

Cantidad	Sistema	Precio		Total	Proveedor	Característica
1	Análisis de agua llovida	₡66.330,40		₡66.330,40	CICA	Equipos varios (Ver detalle en cotización)
1	Trasiego de agua	₡2.655.864,59		₡2.655.864,59	MR.PUMS	Equipos varios (Ver detalle en cotización)
1	Sistema de enfriamiento	\$7.250,00*	₡3.871.065,00	₡3.871.065,00	MABESA	Equipos varios (Ver detalle en cotización)
1	Sistema de enfriamiento	\$48.550,00*	₡25.922.787,00	₡25.922.787,00	DAIKIN	Equipos varios (Ver detalle en cotización)
1	Sistema de enfriamiento	\$12.550,00*	₡6.700.947,00	₡6.700.947,00	AQUAPURA	Equipos varios (Ver detalle en cotización)

*Precio del dólar: compra ₡533,94, venta: ₡545,49 al día 2014-10-23 según Banco Central de Costa Rica

Analizando la tabla anterior podemos considerar que los proveedores que mejor ofertan para la implementación del sistema de enfriamiento son Mr. PUMPS

y MABESA ya que se resuelve el problema y es la opción más económica y además con equipos de calidad.

Al considerar adquirir los equipos con estas casas tenemos un total aproximadamente de ₡6.593.259,99, suma que puede variar con el cambio del precio del dólar, pero no es algo considerable.

También se debe tener en mente el gasto eléctrico que se hace antes y después de implementar el sistema, ya que en el segundo caso existirían equipos que consumen potencia eléctrica de la red para poder poner a funcionar el sistema, según se muestra en la **Tabla 44**.

Existirá un ahorro al parar el gasto del recurso acuífero en el momento en que el diseño sea instalado y ponerlo a trabajar, si retomamos la **Tabla 5**, el consumo total de agua de alrededor 3 810 478,55 L se vería también reflejado en un ahorro económico. Si se analizan las **Tablas 61, 62 y 63** del **Apéndice 7**, se tiene que por año se gasta al rededor de ₡9.617.505,52.

Con lo que respecta a los equipos eléctricos instalados tales como las HPU y los equipos a instalar, como los motores de la bomba y el del ventilador van a incurrir en un gasto económico al tomar la potencia del suministro eléctrico de CNFL. El **Apéndice 8** muestra el consumo eléctrico en kWh y costo en colones al utilizarse los equipos del sistema de enfriamiento antes y después de la implementación.

En resumen se tiene que:

Tabla 49. Gasto en colones de los equipos.

Gastos por año	
Antes de implementar	
Electricidad HPU	₡13.540.924,20
Agua	₡9.617.505,52
Total	₡23.158.429,72
Después de implementar	
Electricidad HPU	₡13.610.799,93
Electricidad Sistema de enfriamiento	
Total	₡13.610.799,93

La diferencia que existe entre los gastos por año antes de implementar y después de implementar es lo que se va a considerar como el ahorro, lo que daría alrededor de ₡9.547.629,79.

Ahora bien si analizamos el costo de la inversión y lo comparamos con respecto al ahorro que se daría podemos calcular el tiempo de retorno de la inversión.

Tabla 50. Tiempo de retorno de inversión.

Ahorro	₡9.547.629,79
Inversión	₡6.593.259,99
Retorno de inversión en años	0,69

Conclusiones

Se diseñó e implementó un nuevo sistema de enfriamiento para los equipos requeridos instalados en el edificio A del LanammeUCR de forma satisfactoria.

Se pudo solucionar el problema del desperdicio innecesario de agua utilizada en los equipos HPU instalados en el LanammeUCR para el enfriamiento del líquido hidráulico por medio del diseño de recirculación de agua implementado.

El agua utilizada en el sistema de recirculación para el enfriamiento de los equipos que tenían la problemática se pudo captar de forma satisfactoria reduciendo con esto el consumo proveniente del AyA.

Se lograron instalar los equipos requeridos satisfactoriamente para que el sistema de enfriamiento a base de recirculación de agua trabajara de la manera más óptima.

Se bajaron los gastos de agua, tanto en volumen consumido como económico considerablemente al utilizar los equipos HPU que suplen de líquido hidráulico a las máquinas MTS instaladas en el edificio A del LanammeUCR.

Gracias a los costos de compra de equipo y su instalación, se logró un tiempo de retorno de la inversión bajo, menos de 1 año, para la implementación del sistema de enfriamiento de los equipos HPU.

Recomendaciones

Se recomienda llevar un registro de operaciones de los equipos para poder determinar los consumos, tanto eléctricos como de recursos y así poder hacer con mayor efectividad cálculos a futuro para una posible expansión del laboratorio.

Constatar que las válvulas de regulación de caudal de los equipos HPU estén calibradas para mantener un flujo óptimo para el enfriamiento de las HPU.

Inspeccionar las válvulas solenoide de los equipos HPU periódicamente para comprobar que estén en buen estado y no se produzca un fallo en el sistema de trasiego de agua en el sistema de enfriamiento.

Mantener un color de en las tuberías siempre con la mejor calidad para que haya tanto inspecciones visuales correctas, como para mantenimiento y tener un orden de los sistemas, así pues pintar las tuberías de agua fría de color azul y las tuberías de agua caliente de color rojo, por otro lado las tuberías de suministro de agua de reposición, como la del AyA y la proveniente del tanque de captación de agua llovida de un color gris.

Mantener una buena calidad del agua de recirculación de la manera más óptima hace que las tuberías y los intercambiadores de calor no se vean comprometidos en su integridad, por lo que se debe realizar periódicamente una inspección del sistema de químicos que purifica el agua y la mantiene en su mejor estado para que el sistema trabaje de la mejor manera y su garantía se mantenga.

Crear manuales de mantenimiento para poder llevar un control más estricto y a la vez historiales de fallas de estos, registros de horas de uso y demás características que ayuden a mejorar el desempeño tanto de los equipos HPU como de otros de la institución al implementar este sistema.

Darle un mantenimiento a los equipos y al sistema implementado y que sea constante, que se convierta el mantenimiento correctivo que tiene el departamento en un mantenimiento preventivo aplicando RCM, lo que mejorará la eficiencia del departamento.

Bibliografía

- Cengel, Y. A. (2004). *Transferencia de calor* (Segunda ed.). México: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica* (Séptima ed.). México: McGraw-Hill.
- CFNL. (s.f.). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz*. Recuperado el 19 de 09 de 2014, de <https://www.cnfl.go.cr/tarifa-preferencial.html>
- Colombia, U. d. (16 de 10 de 2014). *Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias, Laboratorio de Suelos*. Obtenido de Factores de conversión: <http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/laboratorio/tablas%20de%20conversion.pdf>
- Galicia Pineda, M. L., Zaldivar Coria, I., & Hernández Ruiz Gaytán, I. J. (01 de 09 de 2014). *Generalidades de torres de enfriamiento de agua*. Obtenido de Facultad de Química, UNAM. Agosto 2009.: <http://depa.fquim.unam.mx/>
- Inteco. (s.f.). *Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica*. Recuperado el 18 de 19 de 2014, de <http://inteco.or.cr/esp/>
- Ministerio de Industria, T. y., & Energía, I. p. (s.f.). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. Recuperado el 20 de 10 de 2014, de Guía Técnica, Torres de Enfriamiento: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Torres_refrigeracion_GT4_07_05eca613.pdf
- MTS. (s.f.). *Heat Exchanger Care and Water Quality Guide*. Recuperado el 21 de 07 de 2014, de http://www.mts.com/ucm/groups/public/documents/library/mts_004900.pdf
- MTS. (s.f.). *Series 505 SilentFlo™ Hydraulic Power Unit*. Recuperado el 21 de 07 de 2014, de Product Information: http://www.mts.com/ucm/groups/public/documents/library/mts_008271.pdf
- MTS. (s.f.). *Series 505G2 SilentFlo™ Hydraulic Power Unit*. Recuperado el 22 de 07 de 2014, de Product Information: http://www.mts.com/ucm/groups/public/documents/library/mts_004889.pdf
- MTS. (s.f.). *Series 510*. Recuperado el 22 de 07 de 2014, de Hydraulic Power Supplies.
- NFPA70. (2008). *National Electric Code - NEC 2008*.
- Pentek. (10 de 09 de 2014). Manual de ficha técnica. *PENTEK Intellidrive* .
- Pumps, G. (10 de 09 de 2014). Ficha técnica. *Shallow Well Jet Pumps, JRS5, JRS5H, JRS7 and JRS10* .
- TLV. (s.f.). *TLV*. Recuperado el 11 de 08 de 2014, de Compañía Especialista en Vapor: <http://www.tlv.com/global/LA/calculator/>

Apéndice

Apéndice 1 – Fotografías de los equipos.



Imagen 19. Celda de carga hidráulica para pruebas de tracción y compresión en materiales marca MTS® modelo 370.10 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.



Imagen 20. Celda de carga hidráulica para pruebas de tracción y compresión en materiales marca MTS® modelo 318.25 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.



Imagen 21. Celda de carga hidráulica para pruebas de tracción y compresión en materiales marca MTS® tipo universal instalada en el laboratorio de estructura civil del LanammeUCR.



Imagen 22. HPU marca MTS® modelo 505.07 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.



Imagen 23. HPU marca MTS® modelo 505.11-G2 instalada en el laboratorio de fuerza del LanammeUCR.



Imagen 24. HPU marca MTS® modelo 510.21C instalada en el laboratorio de estructura civil del LanammeUCR.

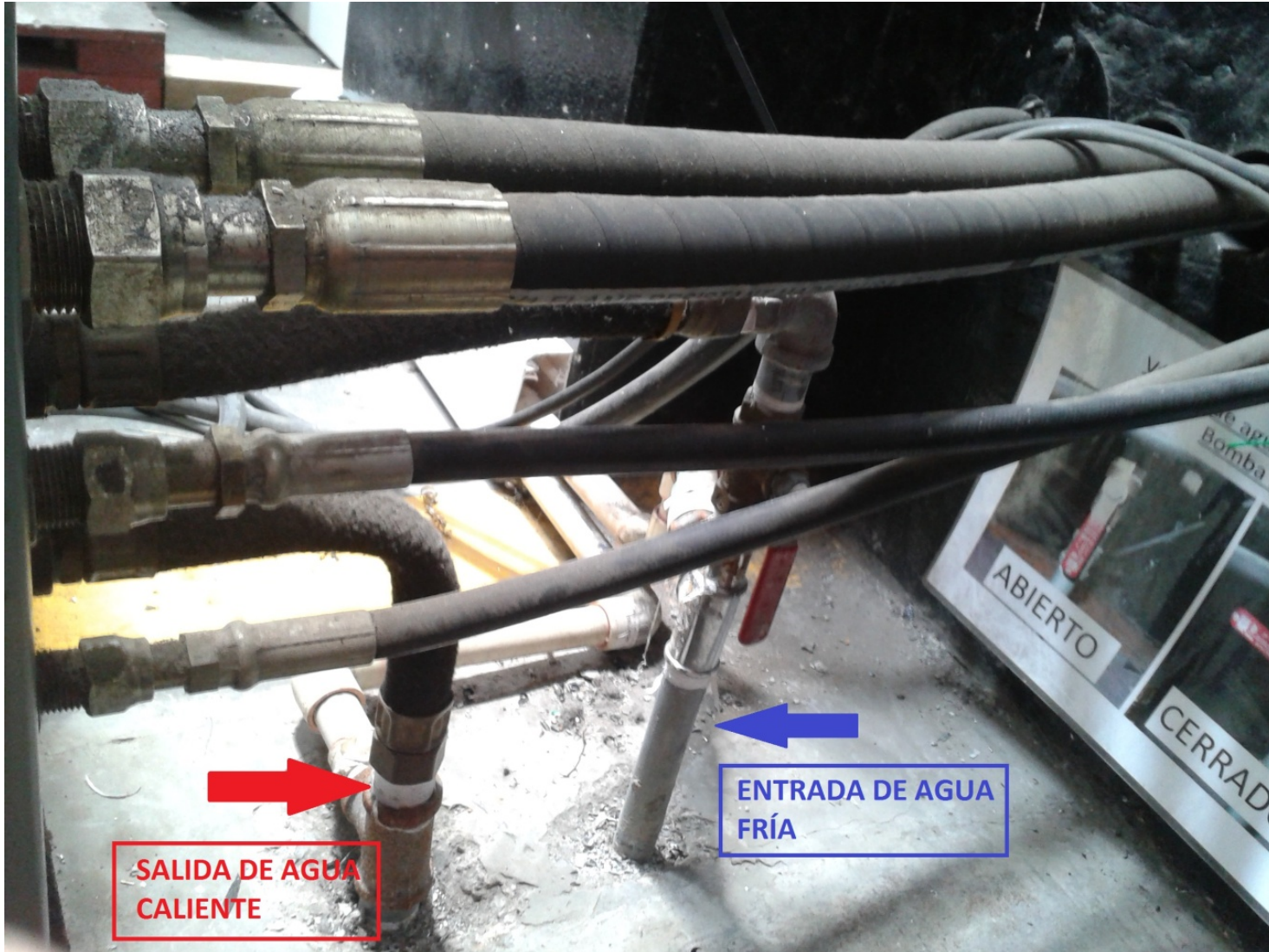


Imagen 25. Entrada de agua fría y salida de agua caliente para HPU modelo 505.07.

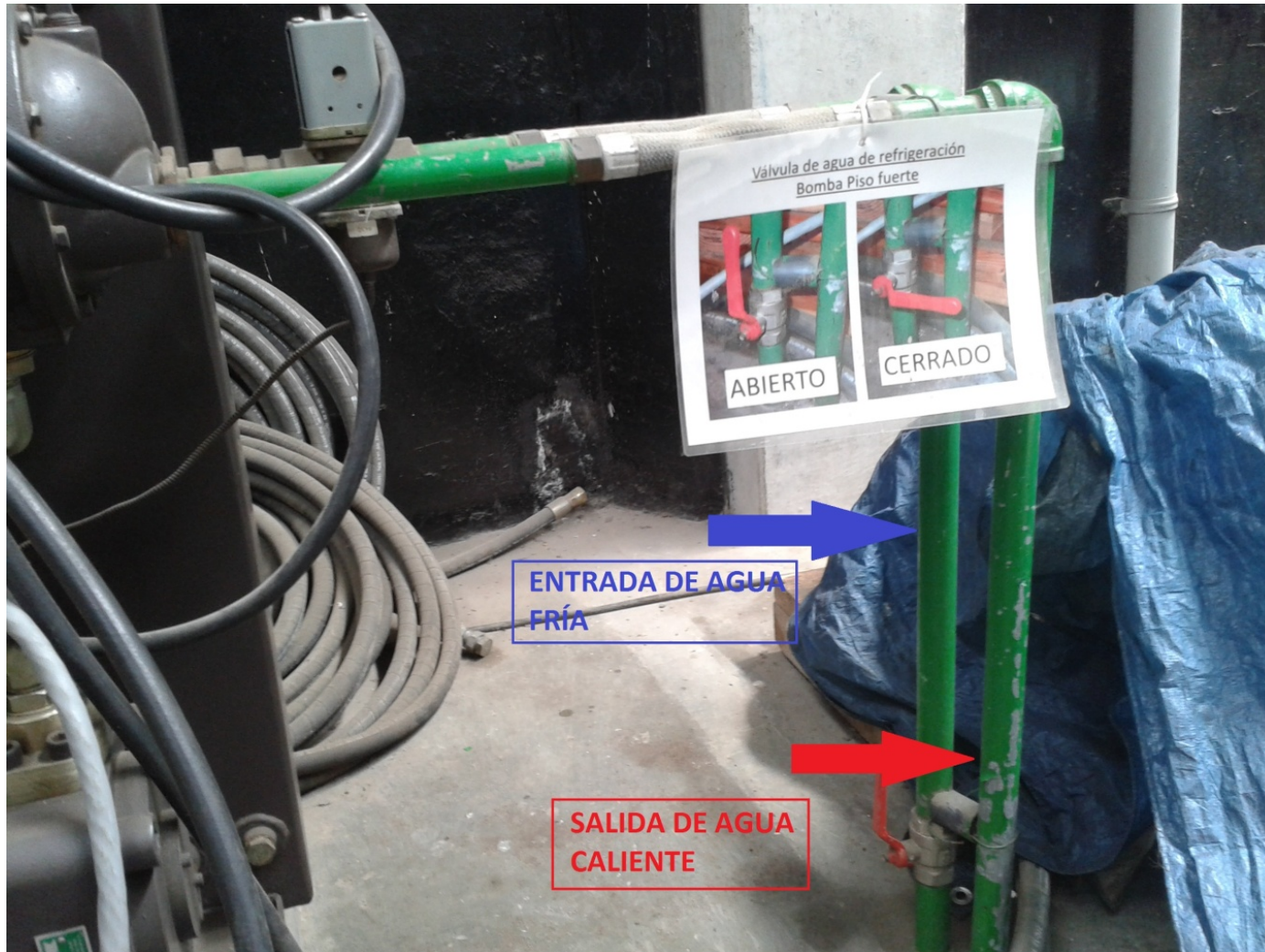


Imagen 26. Entrada de agua fría y salida de agua caliente para HPU modelo 510.21C.

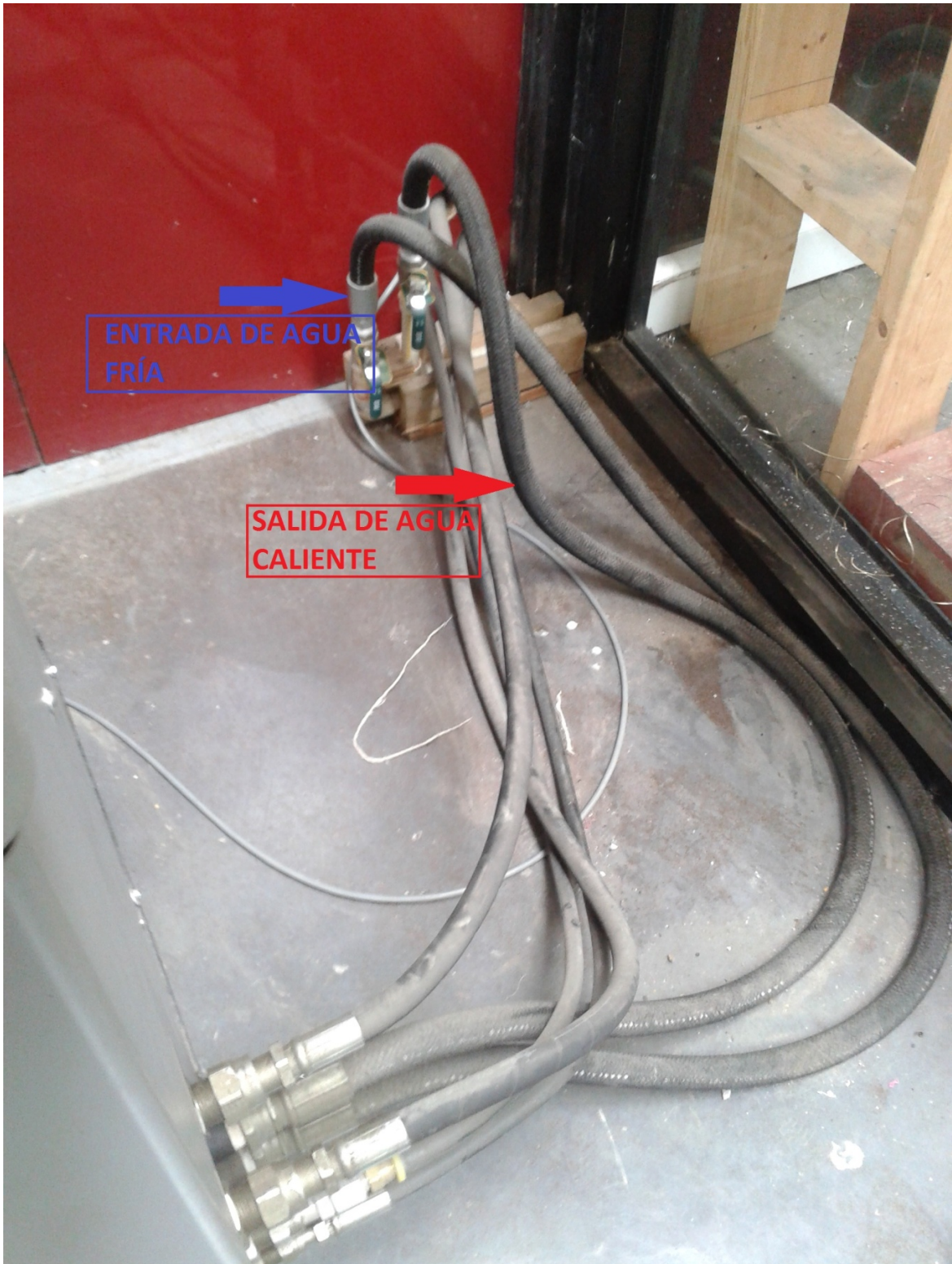


Imagen 27. Entrada de agua fría y salida de agua caliente para HPU modelo 505.11G2.

Hydraulic Power Unit

Model No.	505.07		
Serial No.	1449439		
Assembly No.	100-098-448	Rev.	A
Supply Rating	230	volts	60 Hz
	3	phase	
Unit FLA*	44.2	amps	
FLA* of Lg Motor	42.0	amps	
Short Intrpt Cap	200000	amps rms	SYM
Manufacture Date	03/2003		
Working Pressure	3000	psi	207 bar
Flow	7.0	gpm	26.5 l/min



***Based on NFPA-70 Table 430-150**

MTS Systems Corporation
14000 Technology Drive
Eden Prairie, MN U.S.A. 55344-2247



PN 555264-01

Imagen 28. Dato de placa de HPU modelo 505.07.

Hydraulic Power Unit

Model Number:	505.11-G2		
Serial Number:	10356241		
Assembly Number:	HD-505-002	Rev. C	
Wiring Diagram:	700004965A		
Enclosure Type:	IP 50		
Supply Rating:	380 V	3 Ph	60 Hz
Main CB Rating (UL):	60 A		
Unit Full Load Current:	43.0 A		
FLA of Lg Motor:	41.4 A		
SCCR:	5000 A RMS		
Manufacture Date:	10/18/2011		
Working Pressure:	3000 psi	207 bar	
Flow:	11.0 gpm	41.6 l/min	
HPU weight w/oil:	1042 lbs	473 kg	



Authorized Representative:
MTS Systems Norden AB
Södra Långebergsgatan 16
SE- 421 32 Västra Frölunda, Sweden



MTS Systems Corporation
14000 Technology Drive
Eden Prairie, MN U.S.A. 55344-2247



PN 100-216-583



Imagen 29. Dato de placa de HPU modelo 507.11-G2.

Hydraulic Power Supply

Model No.	510.21C		
Serial No.	0220836		
Assembly No.	485239-21	Rev.	A
Supply Rating	208	volts	60 Hz
	3	phase	
Unit FLA*	144.8	amps	
FLA* of Lg Motor	143	amps	
Manufacture Date	10/94		
Working Pressure	3000	psi	207 bar
Flow	21.2	gpm	80.3 l/min



*Per Nec Table 430-150

MTS Systems Corporation

PN 329587-01

Imagen 30. Dato de placa de HPU modelo 510.21.

Apéndice 2 – Planos.

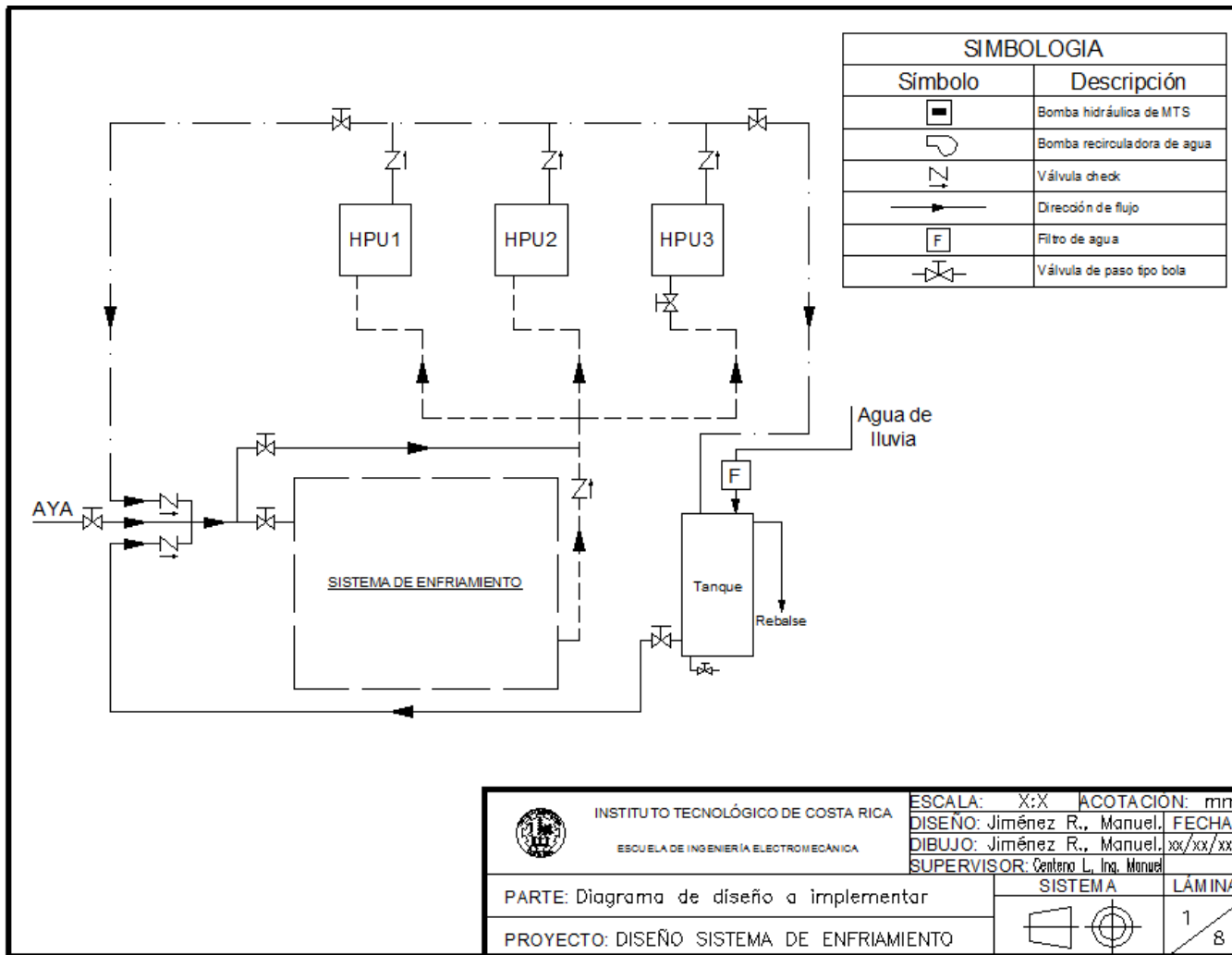


Imagen 31. Plano de diseño a implementar.

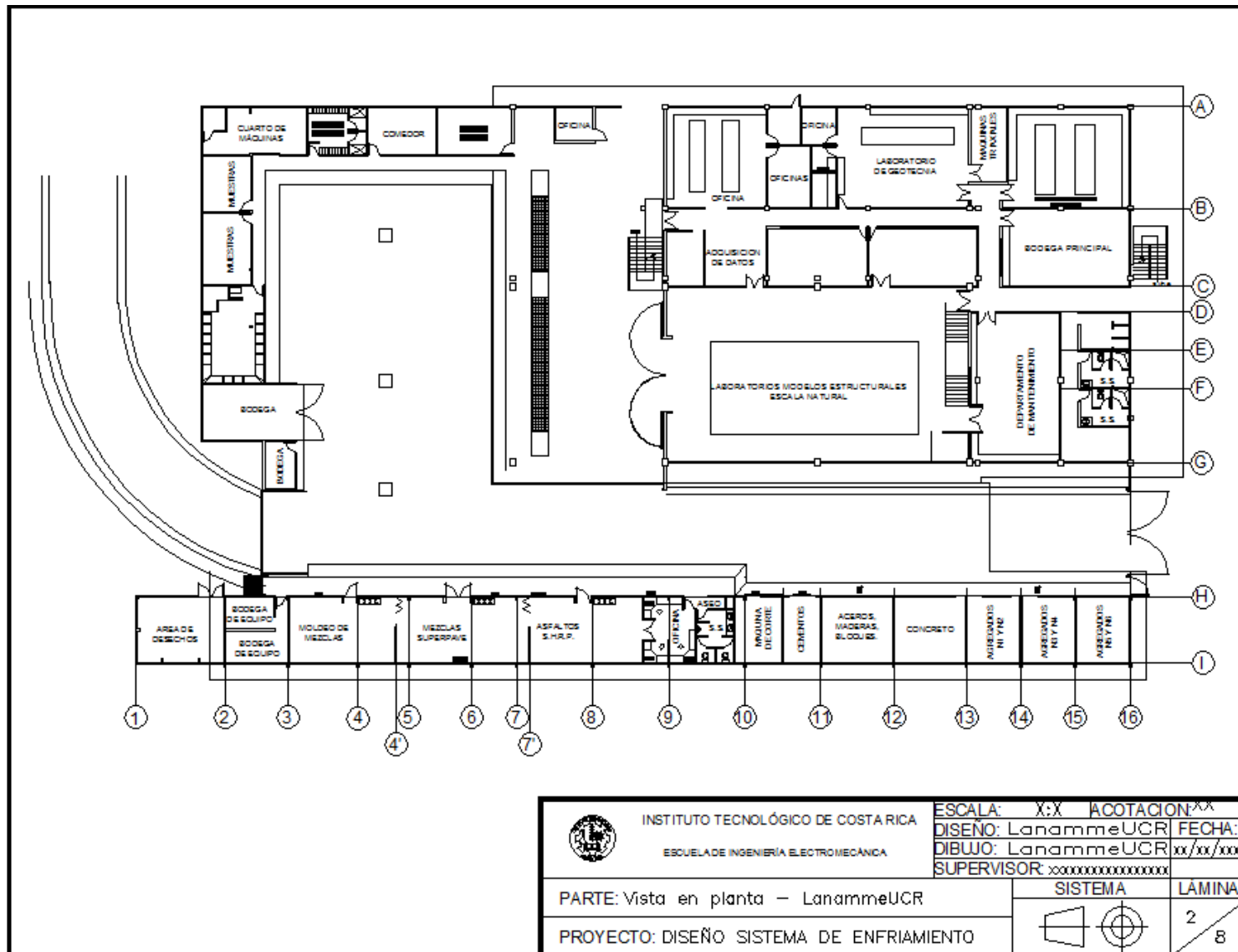


Imagen 32. Vista en planta del Edificio A, LanammeUCR.

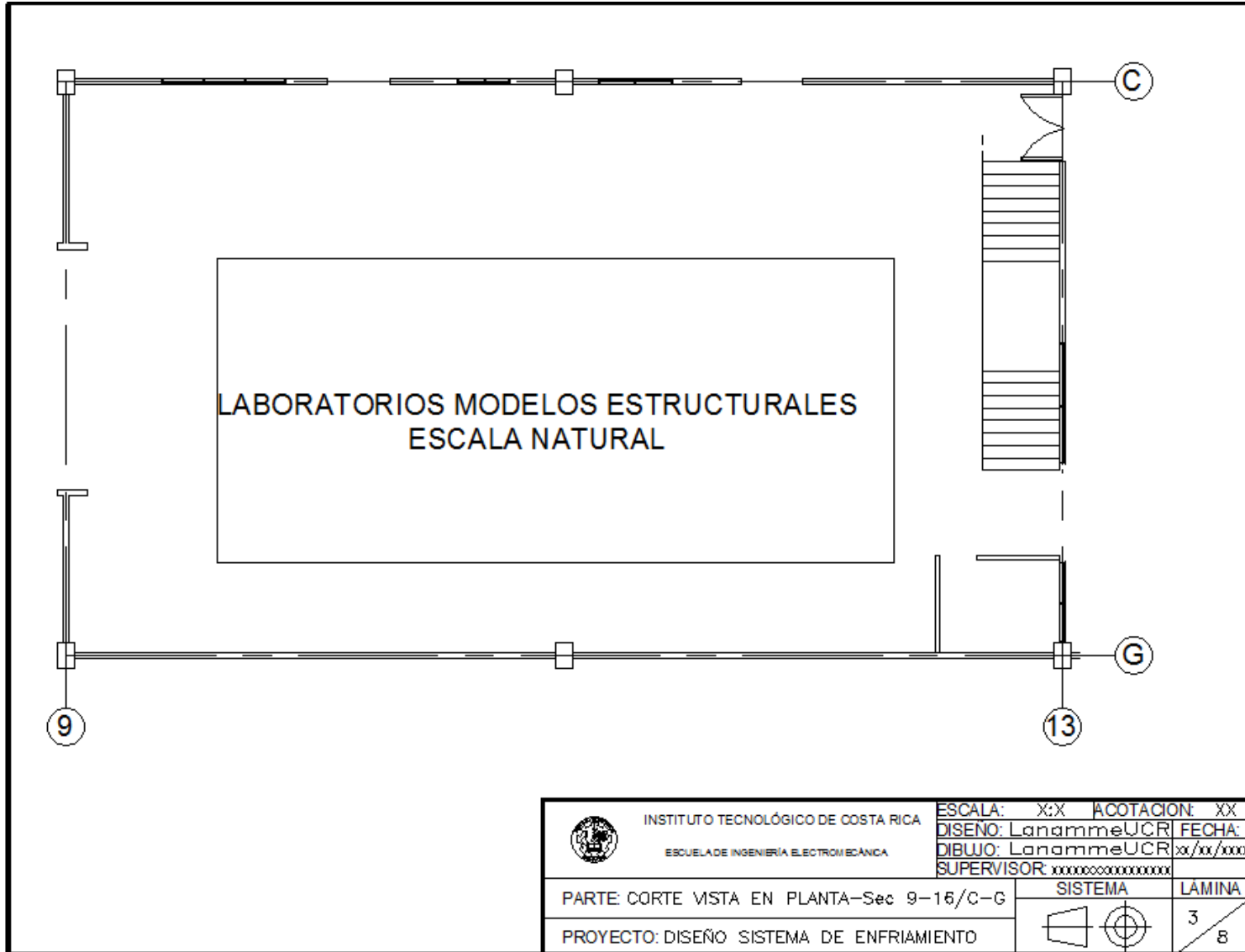
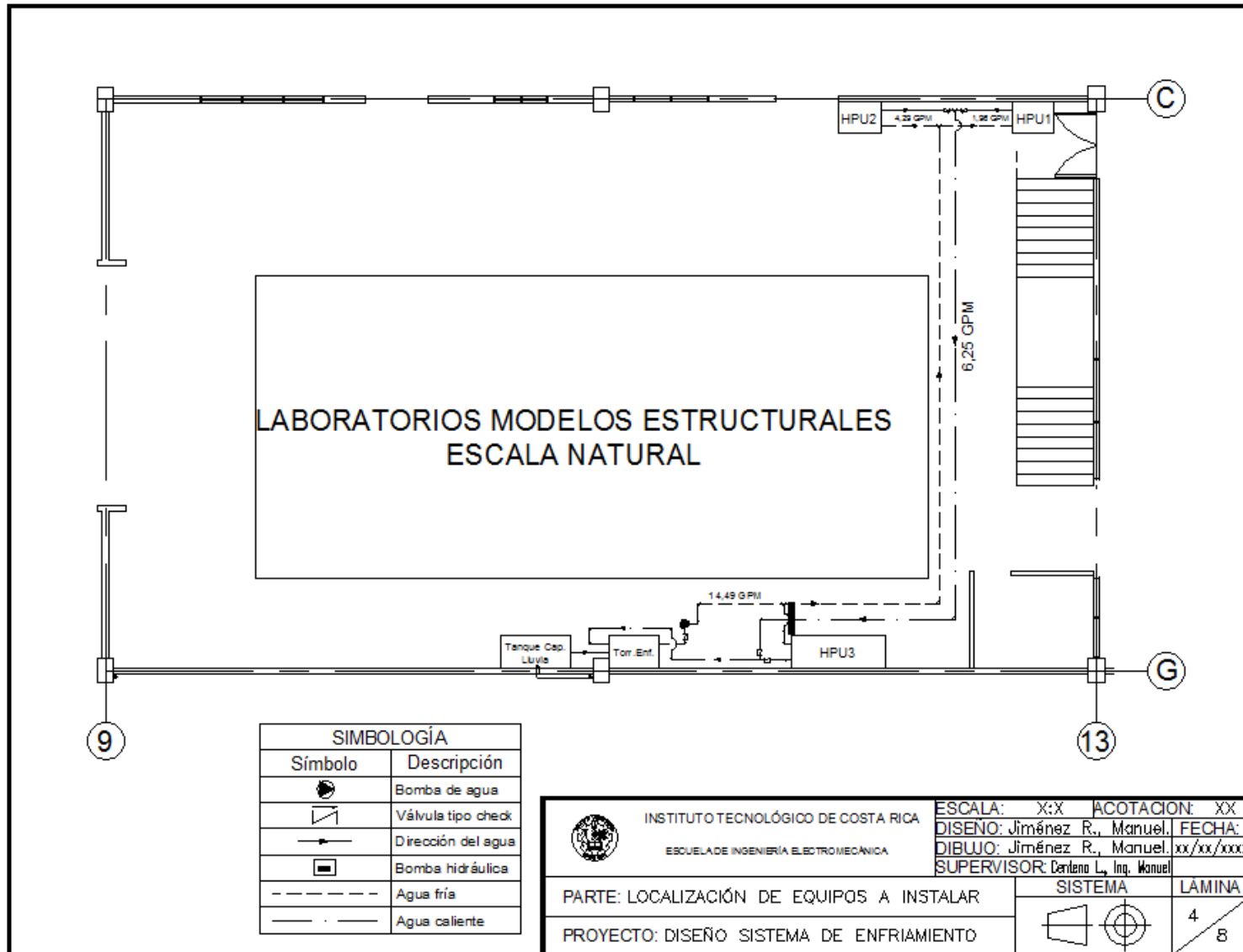


Imagen 33. Corte de planta de zona de implementación.



SIMBOLOGÍA	
Símbolo	Descripción
	Bomba de agua
	Válvula tipo check
	Dirección del agua
	Bomba hidráulica
	Agua fría
	Agua caliente

	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA	ESCALA: X:X	ACOTACION: XX
	ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	DISEÑO: Jiménez R., Manuel	FECHA: xx/xx/xxxx
		DIBUJO: Jiménez R., Manuel	
		SUPERVISOR: Cardena L., Ing. Manuel	
PARTE: LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS A INSTALAR		SISTEMA	LAMINA
PROYECTO: DISEÑO SISTEMA DE ENFRIAMIENTO			4 / 8

Imagen 34. Corte de planta de zona de implementación y distribución de equipos.

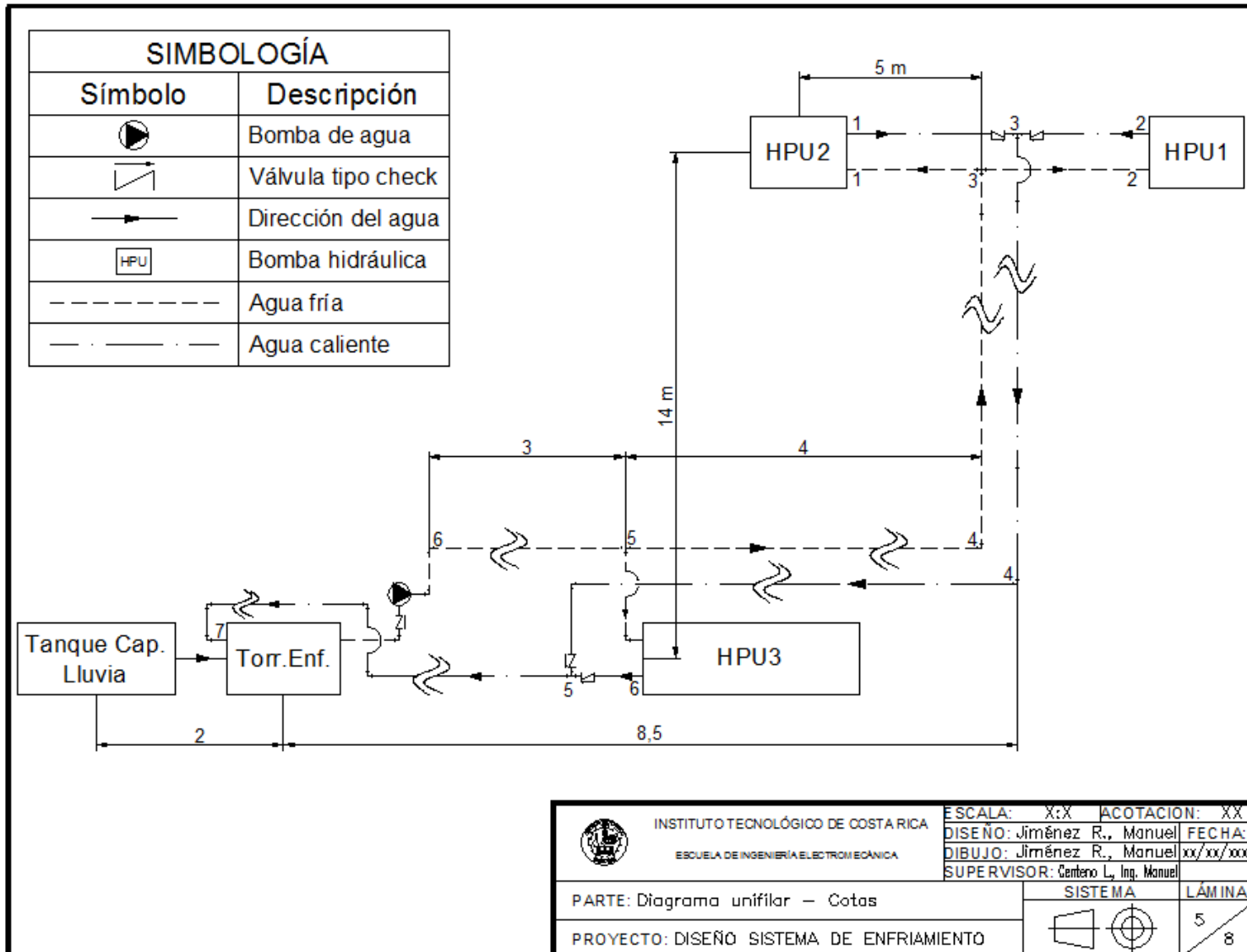


Imagen 35. Diagrama unifilar de conexiones mecánicas y longitudes.

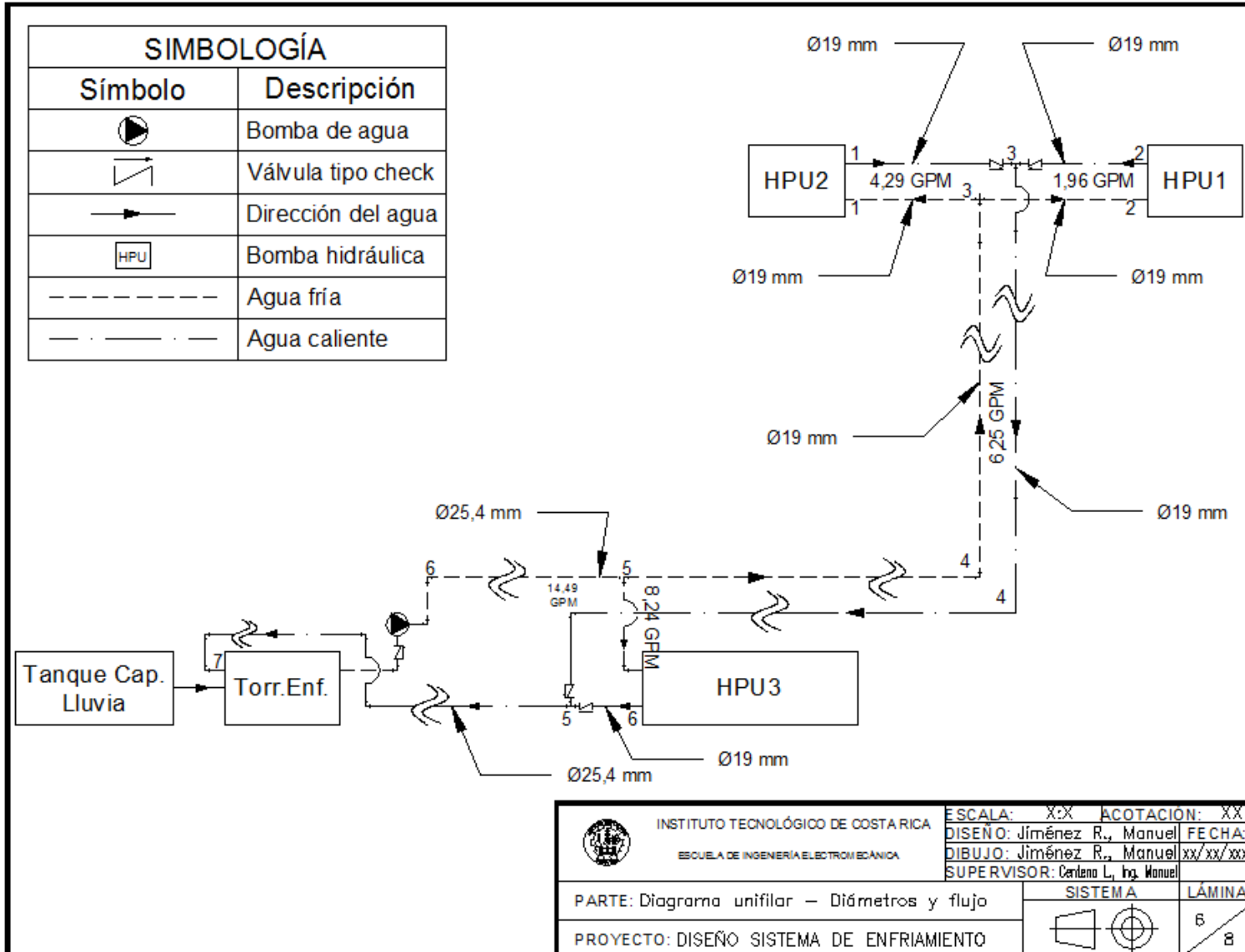


Imagen 36. Diagrama unifilar de conexiones mecánicas, diámetros de tuberías y flujos.

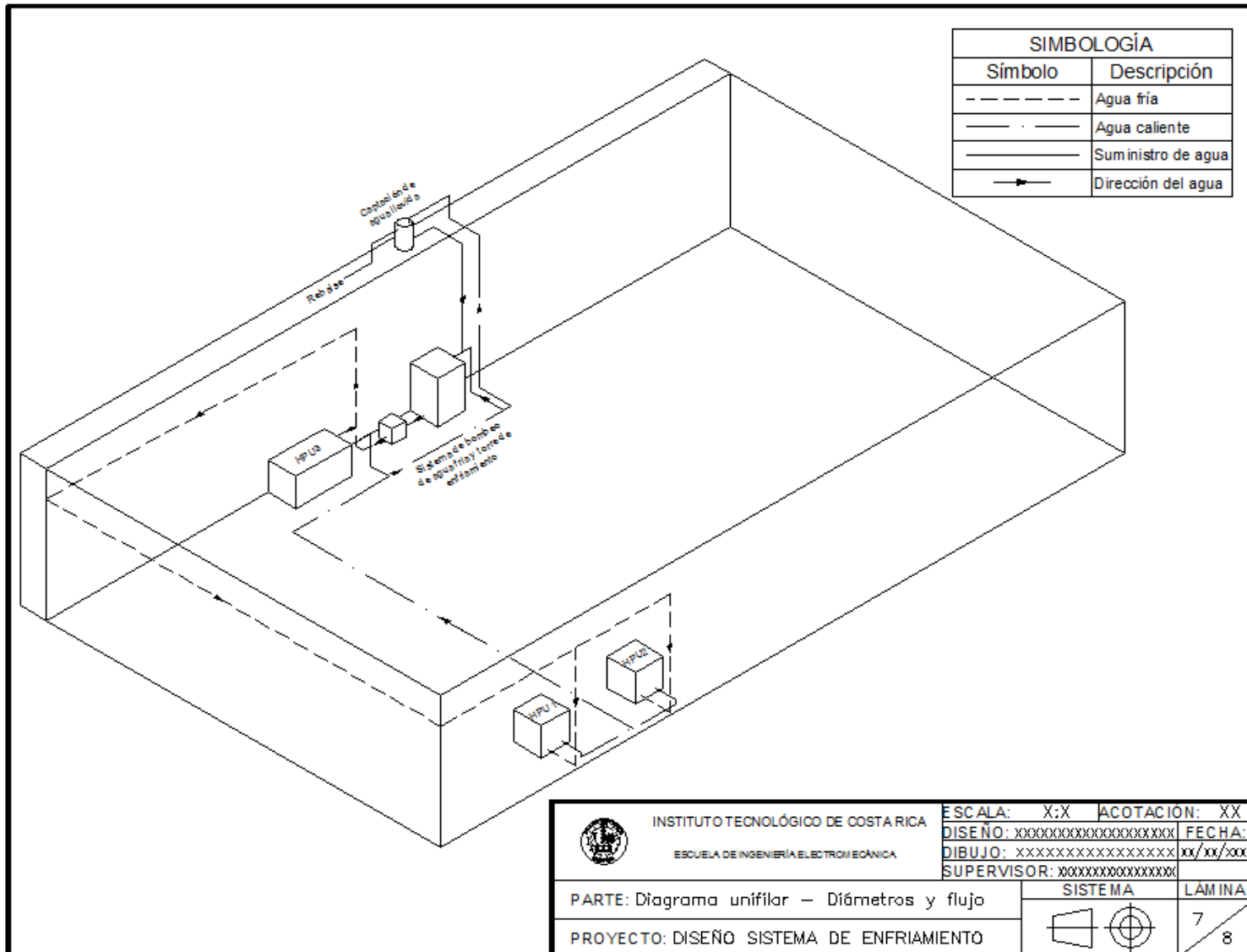


Imagen 37. Diagrama isométrico de las conexiones mecánicas del sistema.

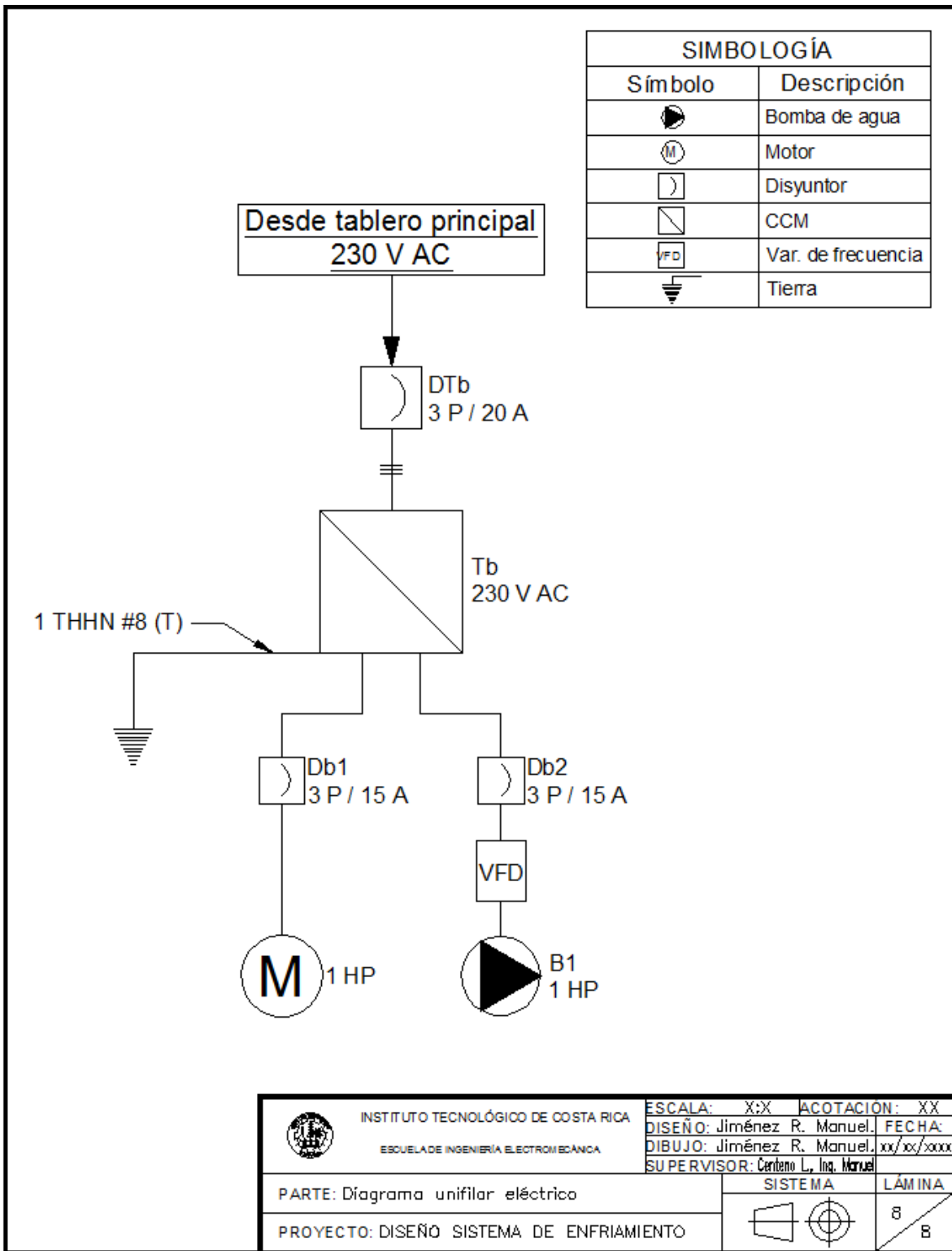


Imagen 38. Diagrama unifilar de las conexiones eléctricas de los equipos.

Apéndice 3 – Carta psicrométrica.

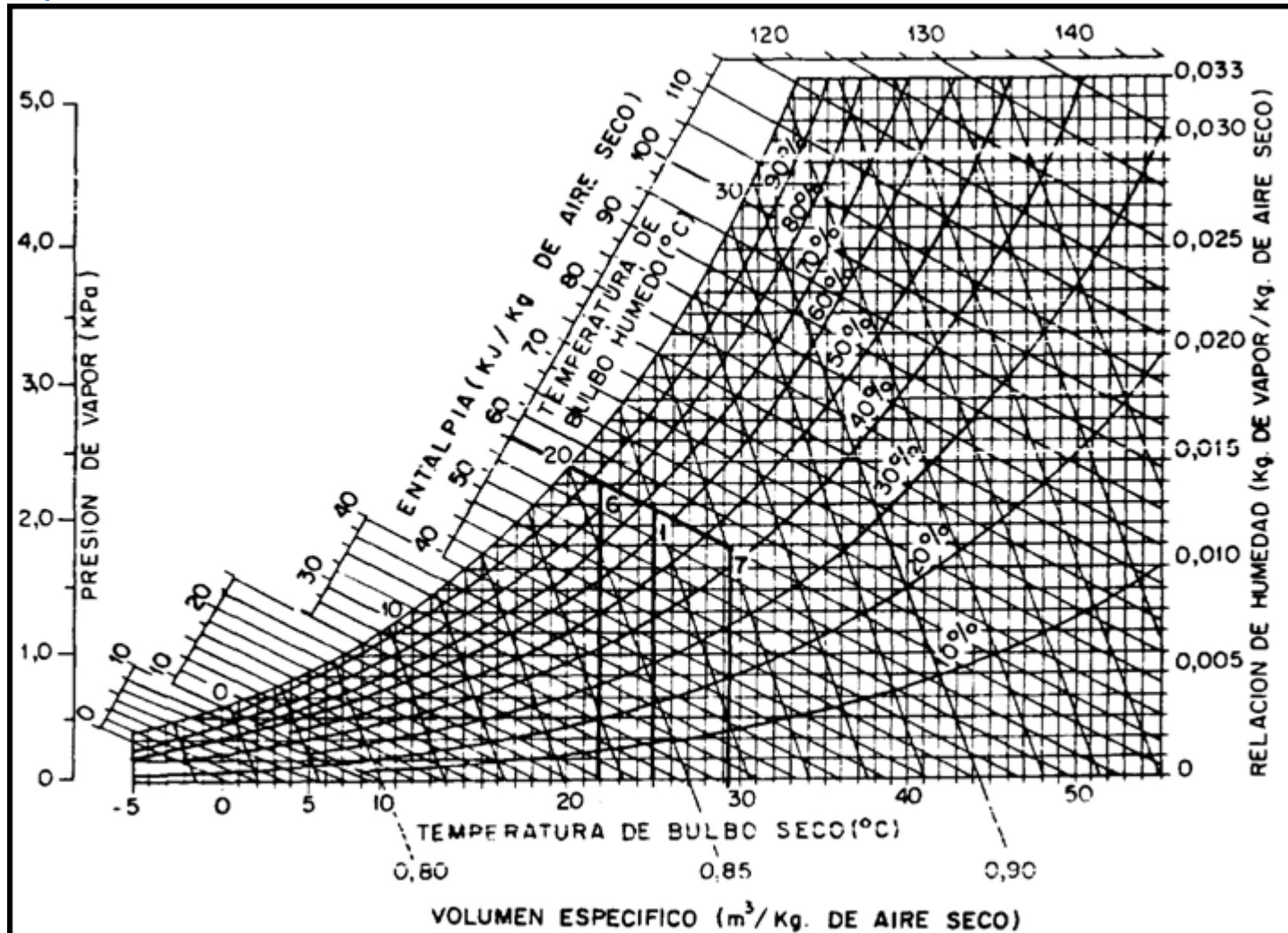


Imagen 39. Carta psicrométrica.

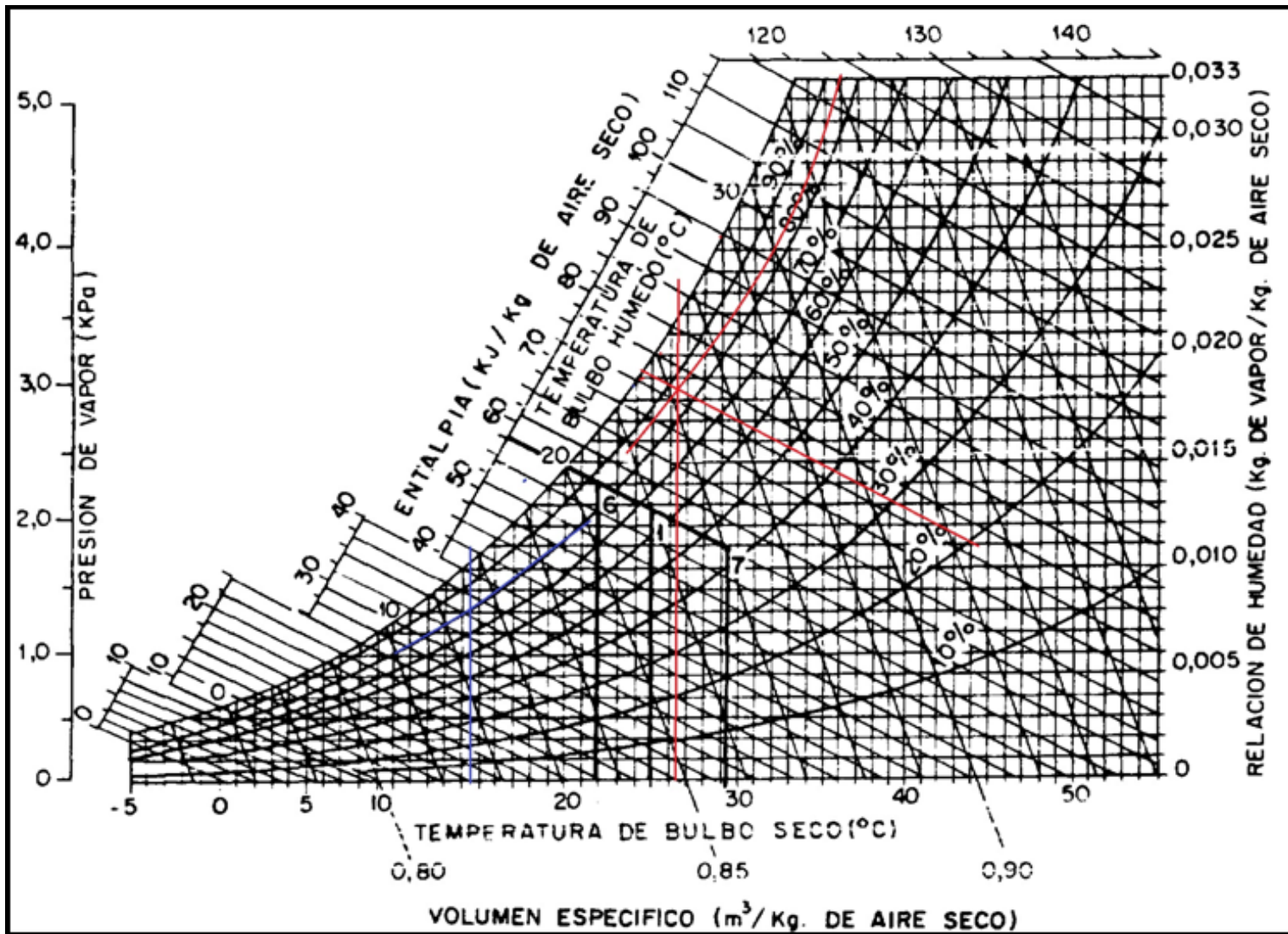


Imagen 40. Datos extremos de condiciones ambientales aplicados a la carta psicrométrica para encontrar la temperatura del bulbo húmedo en la zona.

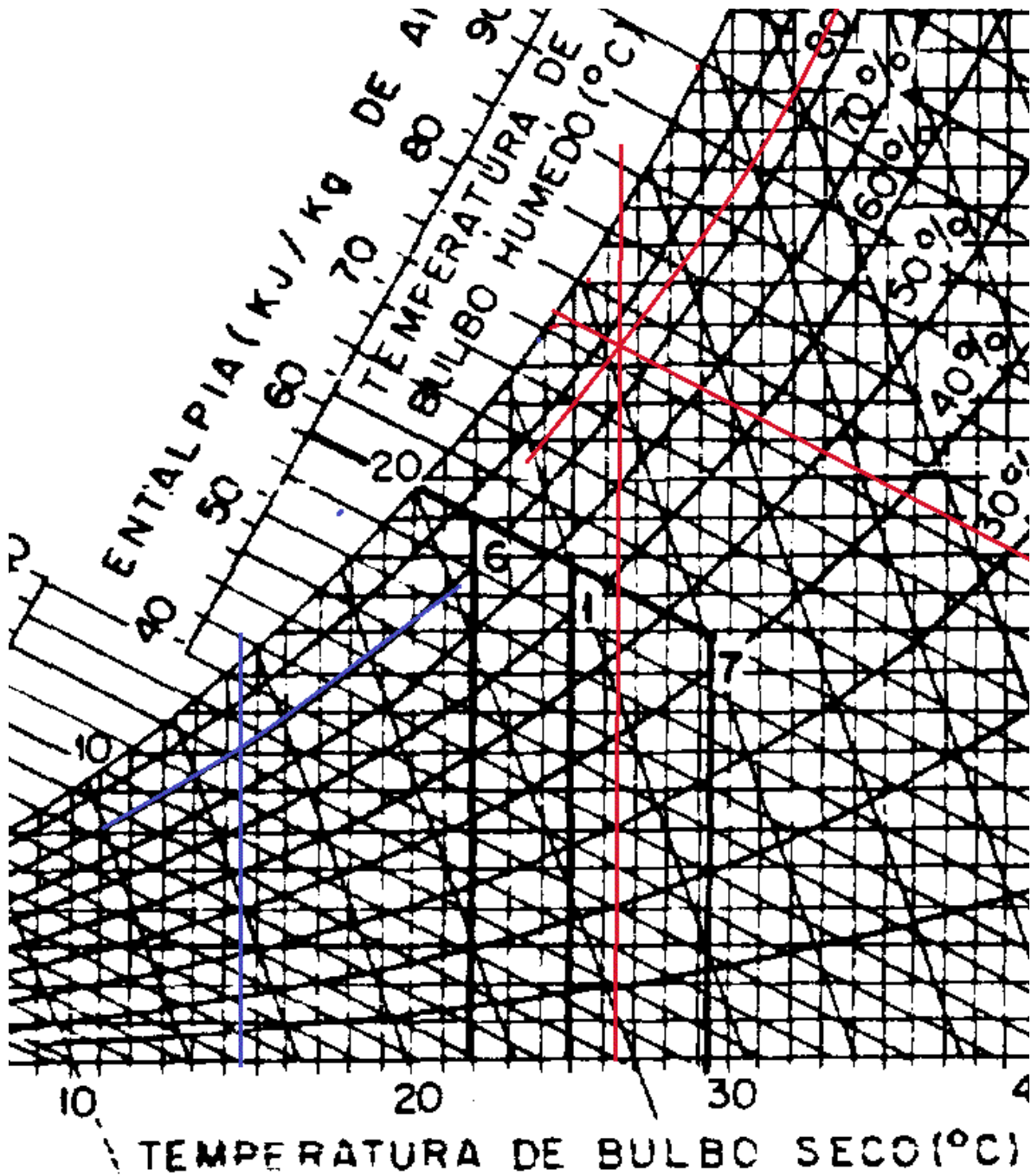


Imagen 41. Acercamiento de datos extremos de condiciones ambientales aplicados a la carta psicrométrica para encontrar la temperatura del bulbo húmedo en la zona.

Apéndice 4 – Cálculo de flujo de agua para enfriamiento de HPU.

Teniendo en cuenta las condiciones de salida del agua de la **Tabla 11** después de la torre de enfriamiento y las condiciones mostradas en las **Tablas 1, 2 y 3** se puede calcular el flujo necesario para poder enfriar las HPU con un sistema óptimo, así pues interpolando se tiene lo siguiente:

Tabla 51. Cálculo de flujo de agua necesario para enfriamiento de HPU

HPU	Modelo	Temperatura (° C)	GPM
1	505.07	26,7	2,2
		24,5	1,96
		21,1	1,6
		15,5	1,3
		12	1,11
		10	1
2	505.11-G2	26,7	5
		24,5	4,29
		21,1	3,2
		15,5	2,4
		12	2,08
		10	1,9
3	510.21C	26,7	9
		24,5	8,24
		23,8	8
		21,1	8
		18,3	8
		12	8

Apéndice 5 – Energía extraída del agua en la torre de enfriamiento y toneladas de enfriamiento.

Para encontrar la energía necesaria para cambiarle la temperatura a una masa de agua de una temperatura más elevada a una más baja se debe hacer extrayéndole el calor.

La energía para extraer calor viene dada por la ecuación siguiente:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

Para este sistema tenemos datos suministrados por cálculos previos y los datos dados por los manuales de usuario de las máquinas.

Vamos a asumir que la temperatura de salida del agua de las máquinas es de 55° C, que es la máxima que se puede dar en la HPU y que se requiere enfriar hasta la temperatura más baja de la época, que sería hasta 12° C, según lo suministrado por el CIGEFI.

Tabla 52. Cálculo de energía necesaria para extraer el calor del agua proveniente de los equipos HPU.

Modelo	Caudal (m ³ /s)	Tentrada (° C)	Tsalida (° C)	ΔT (° C)	Cp (kJ/K kg)	Q (kJ/s)
505.07	7,00E-05	55	12	43	4,179	1,26E-02
505.11-G2	1,31E-04	55	12	43	4,179	2,36E-02
510.21C	5,05E-04	55	12	43	4,179	9,07E-02

Con esto se tiene un total del 1,27E-01 kJ/s de energía requerida para extraer el calor del agua hacia el entorno para poder realizar un enfriamiento de los equipos HPU óptimo.

Tenemos también que 1 kJ = 0,95 Btu = 0,24 kCal, y si lo extrapolamos a 1 hora, la cual consta de 3600 s, se obtiene que se necesitan 432,82 Btu/h, lo que es aproximadamente 109,07 kCal/h. Este valor entonces es la cantidad de energía que la torre de enfriamiento debe extraer del agua.

Para el cálculo de las toneladas de enfriamiento se obtienen de la siguiente manera:

$$ton = \frac{500 \times Q \times \Delta T}{12\ 000}$$

Donde:

Q: caudal de agua a enfriar (GPM)

ΔT : diferencial de temperatura ($^{\circ}$ F)

Se sabe que una torre de enfriamiento no puede enfriar a un diferencial de temperatura de más de $5,8^{\circ}$ C, lo que equivale a $42,44^{\circ}$ F, y que además el caudal máximo a enfriar es cuando las 3 HPU están trabajando, por lo que daría un caudal de 14,49 GPM. Metiendo estos datos en la fórmula se tiene que:

$$ton = \frac{500 \times 14,49 \times 42,44}{12\ 000} = 25,62\ ton$$

Apéndice 6 – Caída de presión en tuberías.

Para poder calcular la caída de presión en las tuberías seleccionadas se hizo por el método de Darcy-Weisbach.

Para este método se usa una fórmula que considera factores tales como el factor de fricción, la longitud y diámetro interno de la tubería, entre otros, por lo tanto se tiene:

$$\Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Donde:

f: factor de fricción de Darcy-Weisbach

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interno de la tubería (m)

V: velocidad de flujo de agua (recomendado 2 m/s)

g: aceleración de la gravedad terrestre (9,81 m/s²)

Para encontrar el valor del factor de fricción de Darcy-Weisbach se hace por medio de la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Donde:

Re: número de Reynolds.

Esto para un comportamiento de régimen laminar del flujo de agua.

Para calcular Re tenemos que:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$

Donde:

V: velocidad de flujo de agua (recomendado 2 m/s)

D: diámetro interno de la tubería (m)

ϑ : viscosidad cinemática del agua (m^2/s). (Ver **Tabla 72**)

Para este cálculo se van a tomar los valores extremos en los cuales se produzca más pérdida de presión en la tubería, tal caso será cuando el agua se encuentre a la temperatura más baja, por lo que su densidad disminuirá y será más difícil trasegarla por la tubería.

Para ver los tramos en los cuales se van a hacer los cálculos se debe observar la **Imagen 35**, la cual muestra la distribución de los equipos y además las longitudes aproximadas de las tuberías a instalar.

En las tablas siguientes se muestran los resultados de las caídas de presión asociadas a las longitudes de las tuberías calculadas por el método de Darcy-Weisbach.

Tabla 53. Caída de presión en tubería, tramo 1-3 con agua @ $T_{min_{fría}} = 12^\circ C$.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00441	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	5,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	19,00	Diámetro interior de la tubería (@ 3/4 pulgada)
D (m)	0,01900	
Q (GPM)*	4,29	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m^3/s)	0,0003	
D (m)	0,01900	Diámetro interior de la tubería
D ² (m^2)	0,0004	
V (m/s)	0,95	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m^2/s^2)	0,91	
g (m/s^2)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m^2/s)*	1,25E-06	Viscosidad cinemática del agua (@ $12^\circ C$)
V (m/s)	0,95	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,01900	Diámetro interior de la tubería
Re	14509,94	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,0491	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	4,82E-03	

Tabla 54. Caída de presión en tubería, tramo 3-5 con agua @ $T_{min_{fría}} = 12^\circ C$.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00303	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	18,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	19,00	Diámetro interior de la tubería (@ 3/4 pulgada)
D (m)	0,01900	
Q (GPM)*	6,25	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m ³ /s)	0,0004	
D (m)	0,02	Diámetro interior de la tubería
D ² (m ²)	0,0004	
V (m/s)	1,39	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m ² /s ²)	1,93	
g (m/s ²)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m ² /s)*	1,25E-06	Viscosidad cinemática del agua (@12° C)
V (m/s)	1,39	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,01900	Diámetro interior de la tubería
Re	21139,18	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,55	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	5,36E-02	

Tabla 55. Caída de presión en tubería, tramo 5-6 con agua @Tmin_{fría} = 12° C.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00172	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	3,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	25,00	Diámetro interior de la tubería (@ 1 pulgada)
D (m)	0,02500	
Q (GPM)*	14,49	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m ³ /s)	0,0009	
D (m)	0,03	Diámetro interior de la tubería
D ² (m ²)	0,0006	
V (m/s)	1,86	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m ² /s ²)	3,47	
g (m/s ²)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m ² /s)*	1,25E-06	Viscosidad cinemática del agua (@12° C)
V (m/s)	1,86	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,02500	Diámetro interior de la tubería
Re	37246,90	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,13	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	1,24E-02	

Ahora bien, para el cálculo de las pérdidas de presión en la tubería de agua caliente se hará con datos tomados en sitio. Para las HPU modelo 505.07 y 505.11-G2 se tiene una salida de 26°C y para la HPU modelo 510.21C se obtuvo una temperatura de salida de 40°C, así que se hará asumiendo una temperatura de 26° C en la tubería de retorno.

Tabla 56. Caída de presión en tubería, tramo 1-3 con agua @T_{min}_{caliente} = 26° C.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00319	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	5,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	19,00	Diámetro interior de la tubería (@ 3/4 pulgada)
D (m)	0,01900	
Q (GPM)*	4,29	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m ³ /s)	0,0003	
D (m)	0,02	Diámetro interior de la tubería
D ² (m ²)	0,0004	
V (m/s)	0,95	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m ² /s ²)	0,91	
g (m/s ²)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m ² /s)*	9,05E-07	Viscosidad cinemática del agua (@26° C)
V (m/s)	0,95	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,01900	Diámetro interior de la tubería
Re	20034,71	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,04	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	3,49E-03	

Tabla 57. Caída de presión en tubería, tramo 3-5 con agua @T_{min}_{caliente} = 26° C.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00219	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	18,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	19,00	Diámetro interior de la tubería (@ 3/4 pulgada)
D (m)	0,01900	
Q (GPM)*	6,25	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m ³ /s)	0,0004	
D (m)	0,02	Diámetro interior de la tubería
D ² (m ²)	0,0004	
V (m/s)	1,39	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m ² /s ²)	1,93	
g (m/s ²)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m ² /s)*	9,05E-07	Viscosidad cinemática del agua (@26° C)
V (m/s)	1,39	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,01900	Diámetro interior de la tubería
Re	29188,09	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,40	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	3,88E-02	

Tabla 58. Caída de presión en tubería, tramo 6-5 con agua @T_{min}_{caliente} = 26° C.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00166	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	1,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	19,00	Diámetro interior de la tubería (@ 3/4 pulgada)
D (m)	0,01900	
Q (GPM)*	8,24	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m ³ /s)	0,0005	
D (m)	0,02	Diámetro interior de la tubería
D ² (m ²)	0,0004	
V (m/s)	1,83	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m ² /s ²)	3,36	
g (m/s ²)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m ² /s)*	9,05E-07	Viscosidad cinemática del agua (@26° C)
V (m/s)	1,83	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,01900	Diámetro interior de la tubería
Re	38481,58	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,05	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	4,94E-03	

Tabla 59. Caída de presión en tubería, tramo 5-7 con agua @T_{min}_{caliente} = 26° C.

Variable	Valor	Descripción
f	0,00124	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
L (m)*	7,00	Longitud del tramo considerado de tubería
D (mm)*	25,00	Diámetro interior de la tubería (@ 1 pulgada)
D (m)	0,02500	
Q (GPM)*	14,49	Caudal volumétrico o que circula por la tubería
Q (m ³ /s)	0,0009	
D (m)	0,03	Diámetro interior de la tubería
D ² (m ²)	0,0006	
V (m/s)	1,86	Velocidad del agua en el interior de la tubería
V ² (m ² /s ²)	3,47	
g (m/s ²)	9,81	Aceleración de la gravedad
ϑ (m ² /s)*	9,05E-07	Viscosidad cinemática del agua (@26° C)
V (m/s)	1,86	Velocidad del agua en el interior de la tubería
D (m)	0,02500	Diámetro interior de la tubería
Re	51428,95	Número de Reynolds
Δp (m.c.a.)	0,21	Pérdida de carga o de presión
Δp (bar)	2,09E-02	

Con todos los datos anteriores tenemos que:

Apéndice 7 – Cálculo de consumo de agua de los equipos HPU en colones.

Para el análisis económico del ahorro en colones al detener el gasto de agua para el enfriamiento de los equipos se tomará como base en el **Anexo 3** teniendo como base la tarifa que el AyA tiene para esta entidad pública.

Se asumirá que la tarifa se mantendrá estable para todo el año y se hará una proyección del gasto anual en metros cúbicos y colones. Para ello se tomará lo estipulado en el **Capítulo II**, donde se estima el tiempo de uso de los equipos por día y semanas al año.

Tabla 60. Consumo estimado de agua por los equipos HPU por año.

Modelo	GPM	m ³ /hora	m ³ /día	m ³ /semana	m ³ /año
505.07	6,49	1,47	2,95	14,75	722,61
505.11-G2	5,66	1,28	2,57	12,85	629,49
510.21C	11,05	2,51	10,03	50,17	2458,37

Este cálculo se hace de esta manera, ya que se debe hacer una semejanza con respecto a lo que gasta en total la institución por mes para poder aplicar la tarifa de acueducto, alcantarillado y los costos fijos que el AyA impone, teniendo en cuenta que el año laboral corresponde a 49 semanas, si se hiciera el cálculo por mes el cálculo variaría considerablemente.

En las tablas siguientes se mostrarán los costos estimados que dan por año por el uso de los equipos HPU en lo que corresponde al agua necesitada para enfriarlos.

Tabla 61. Consumo estimado de agua en m³/año y costo en colones del uso de HPU 505.07

(Datos tomados en sitio)

Acueducto			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢1.488,00	¢ 22.320,00
16 a 25 m ³	10,00	¢1.822,00	¢ 18.220,00
26 a 40 m ³	15,00	¢1.822,00	¢ 27.330,00
41 a 60 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
61 a 80 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
81 a 100 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
101 a 120 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
más de 120 m ³	>20	¢1.920,00	¢ 1.157.016,47
Costos fijos			¢ 1.500,00
TOTAL			¢ 1.372.146,47

Alcantarillado			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢463,00	¢ 6.945,00
16 a 25 m ³	10,00	¢571,00	¢ 5.710,00
26 a 40 m ³	15,00	¢571,00	¢ 8.565,00
41 a 60 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
61 a 80 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
81 a 100 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
101 a 120 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
más de 120 m ³	>20	¢605,00	¢ 364.580,71
Costos fijos			¢ 600,00
TOTAL			¢ 432.080,71

Consumo	
0 a 15 m ³	722,61
16 a 25 m ³	707,61
26 a 40 m ³	697,61
41 a 60 m ³	682,61
61 a 80 m ³	662,61
81 a 100 m ³	642,61
101 a 120 m ³	622,61
más de 120 m ³	602,61

Hidrantes		
Precio por m ³	¢15,00	¢10.839,19

Consumo total	¢ 1.815.066,37
---------------	----------------

Tabla 62. Consumo estimado de agua en m³/año y costo en colones del uso de HPU 505.11-G2

(Datos tomados en sitio)

Acueducto			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢1.488,00	¢ 22.320,00
16 a 25 m ³	10,00	¢1.822,00	¢ 18.220,00
26 a 40 m ³	15,00	¢1.822,00	¢ 27.330,00
41 a 60 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
61 a 80 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
81 a 100 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
101 a 120 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
más de 120 m ³	>20	¢1.920,00	¢ 978.225,69
Costos fijos			¢ 1.500,00
TOTAL			¢ 1.193.355,69

Alcantarillado			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢463,00	¢ 6.945,00
16 a 25 m ³	10,00	¢571,00	¢ 5.710,00
26 a 40 m ³	15,00	¢571,00	¢ 8.565,00
41 a 60 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
61 a 80 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
81 a 100 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
101 a 120 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
más de 120 m ³	>20	¢605,00	¢ 308.242,99
Costos fijos			¢ 600,00
TOTAL			¢ 375.742,99

Consumo	
0 a 15 m ³	629,49
16 a 25 m ³	614,49
26 a 40 m ³	604,49
41 a 60 m ³	589,49
61 a 80 m ³	569,49
81 a 100 m ³	549,49
101 a 120 m ³	529,49
más de 120 m ³	509,49

Hidrantes		
Precio por m ³	¢15,00	¢9.442,39

Consumo total	¢ 1.578.541,07
---------------	----------------

Tabla 63. Consumo estimado de agua en m³/año y costo en colones del uso de HPU 510.21C
(Datos tomados en sitio)

Acueducto			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢1.488,00	¢ 22.320,00
16 a 25 m ³	10,00	¢1.822,00	¢ 18.220,00
26 a 40 m ³	15,00	¢1.822,00	¢ 27.330,00
41 a 60 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
61 a 80 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
81 a 100 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
101 a 120 m ³	20,00	¢1.822,00	¢ 36.440,00
más de 120 m ³	>20	¢1.920,00	¢ 4.489.676,66
Costos fijos			¢ 1.500,00
TOTAL			¢ 4.704.806,66

Alcantarillado			
Consumo	Diferencia	Precio	Costo
0 a 15 m ³	15,00	¢463,00	¢ 6.945,00
16 a 25 m ³	10,00	¢571,00	¢ 5.710,00
26 a 40 m ³	15,00	¢571,00	¢ 8.565,00
41 a 60 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
61 a 80 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
81 a 100 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
101 a 120 m ³	20,00	¢571,00	¢ 11.420,00
más de 120 m ³	>20	¢605,00	¢ 1.414.715,82
Costos fijos			¢ 600,00
TOTAL			¢ 1.482.215,82

Consumo	
0 a 15 m ³	2458,37
16 a 25 m ³	2443,37
26 a 40 m ³	2433,37
41 a 60 m ³	2418,37
61 a 80 m ³	2398,37
81 a 100 m ³	2378,37
101 a 120 m ³	2358,37
más de 120 m ³	2338,37

Hidrantes		
Precio por m ³	¢15,00	¢36.875,60

Consumo total	¢ 6.223.898,08
---------------	----------------

Apéndice 8 – Cálculo del consumo de los equipos en kWh y colones.

Con respecto el análisis económico al implementar el diseño se debe de tener en cuenta el sistema eléctrico, ya que también se ve reflejado en un costo por los equipos que consumen potencia eléctrica, tanto los que ya se encuentran instalados como los que se van a instalar para que el sistema trabaje.

En las tablas siguientes se muestran las potencias de los equipos instalados en este momento y los que se instalarán con la implementación del diseño. (Ver **Tablas 1, 2 y 3**).

Tabla 64. Potencia eléctrica consumida por las HPU.

Modelo	Potencia* (kW)	Tiempo de consumo			Pot. Consumida (kWh)
		h/día	día/mes	h/mes	
505.07	11,2	2	20	40	448
505.11G2	18,6	2	20	40	744
510.21C	37	4	20	80	2960

Tabla 65. Potencia eléctrica consumida de equipos eléctricos a implementar.

Equipo	Potencia		Tiempo de consumo			Pot. Consumida (kWh)
	HP	kW	h/día	día/mes	h/mes	
Bomba de agua	1	0,746	4	20	80	59,68
Ventilador	1	0,746	4	20	80	59,68

Tomando en cuenta la tarifa que la CNFL le aplica a la institución (ver **Anexo 3**) se puede calcular un estimado del costo que se da en colones antes y después de implementar el sistema, por lo que se tiene que para después de la implementación sería la suma de los consumos que aparecen en las dos tablas anteriores, por lo que sería 4271,36 kWh al mes.

Tabla 66. Costo en colones del consumo por los equipos eléctricos antes de implementar.

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR MES DE HPU (Mayores a 3.000 kWh)					
Energía (kWh)	4152			TOTAL/MES	TOTAL/AÑO
	3000	¢ 147.000,00	¢ 203.448,00	¢ 1.230.993,11	¢ 13.540.924,20
	1152	¢ 56.448,00			
Demanda (kWh)	124,8		¢ 987.667,20		
	8	¢ 63.312,00			
	116,8	¢ 924.355,20			
Pérd. Transf.	(Energía + Demanda) x 2%		¢ 23.822,30		
Alum. Público	4152	¢ 3,24	¢ 13.452,48		
Bomberos	1750	¢ 85,00	¢ 2.603,13		

Tabla 67. Costo en colones del consumo por los equipos eléctricos después de implementar.

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR MES DE HPU (Mayores a 3.000 kWh)					
Energía (kWh)	4271,36			TOTAL	TOTAL/AÑO
	3000	¢ 147.000,00	¢ 209.296,64	¢ 1.237.345,45	¢ 13.610.799,93
	1271,36	¢ 62.296,64			
Demanda (kWh)	124,8		¢ 987.667,20		
	8	¢ 63.312,00			
	116,8	¢ 924.355,20			
Pérd. Transf.	(Energía + Demanda) x 2%		¢ 23.939,28		
Alum. Público	4271,36	¢ 3,24	¢ 13.839,21		
Bomberos	1750	¢ 85,00	¢ 2.603,13		

Anexos

Anexo 1 – Intercambiadores de calor.

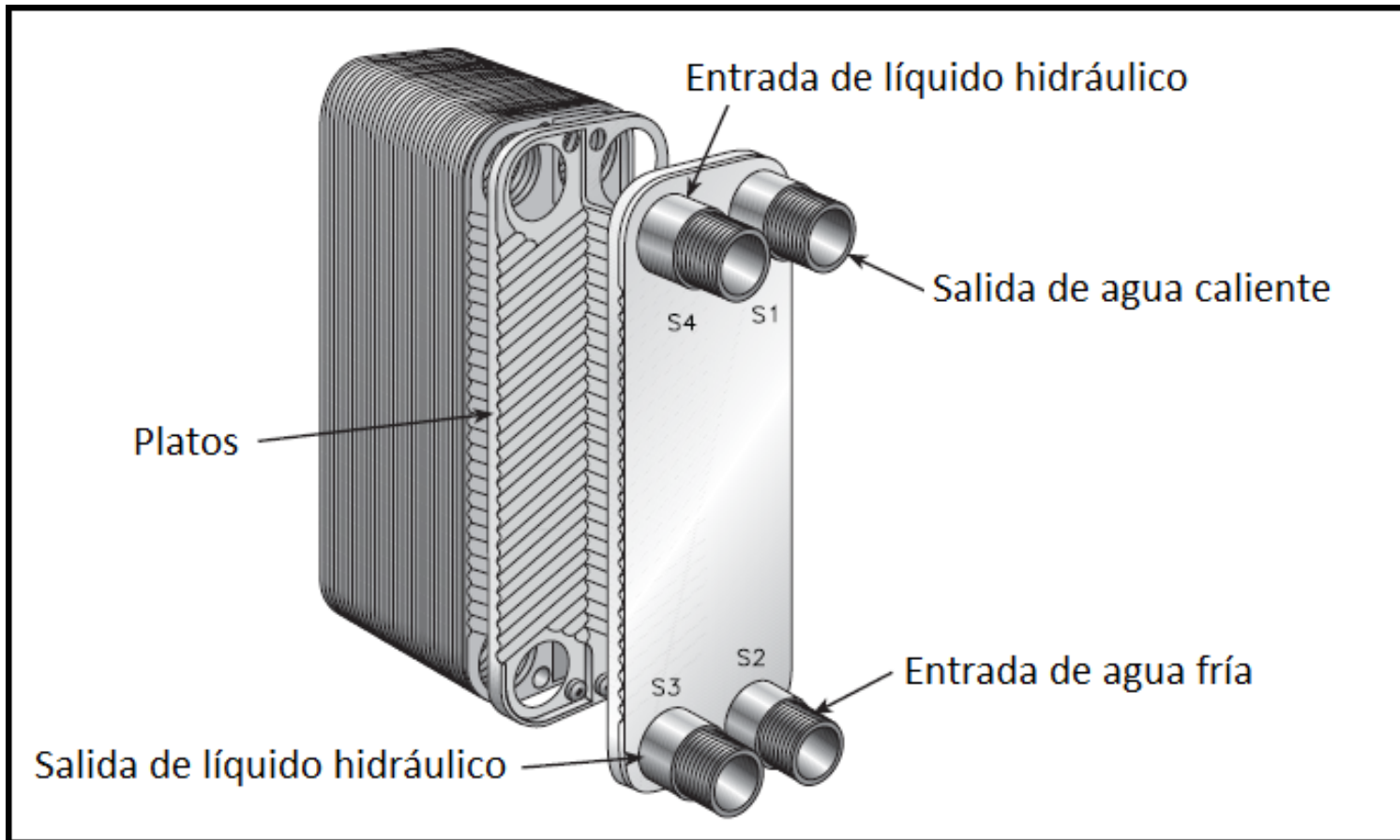


Imagen 42. Intercambiador de calor instalado en HPU modelo 505.07 y 505.11-G2

Fuente: *Heat Exchanger Care and Water Quality Guide.*

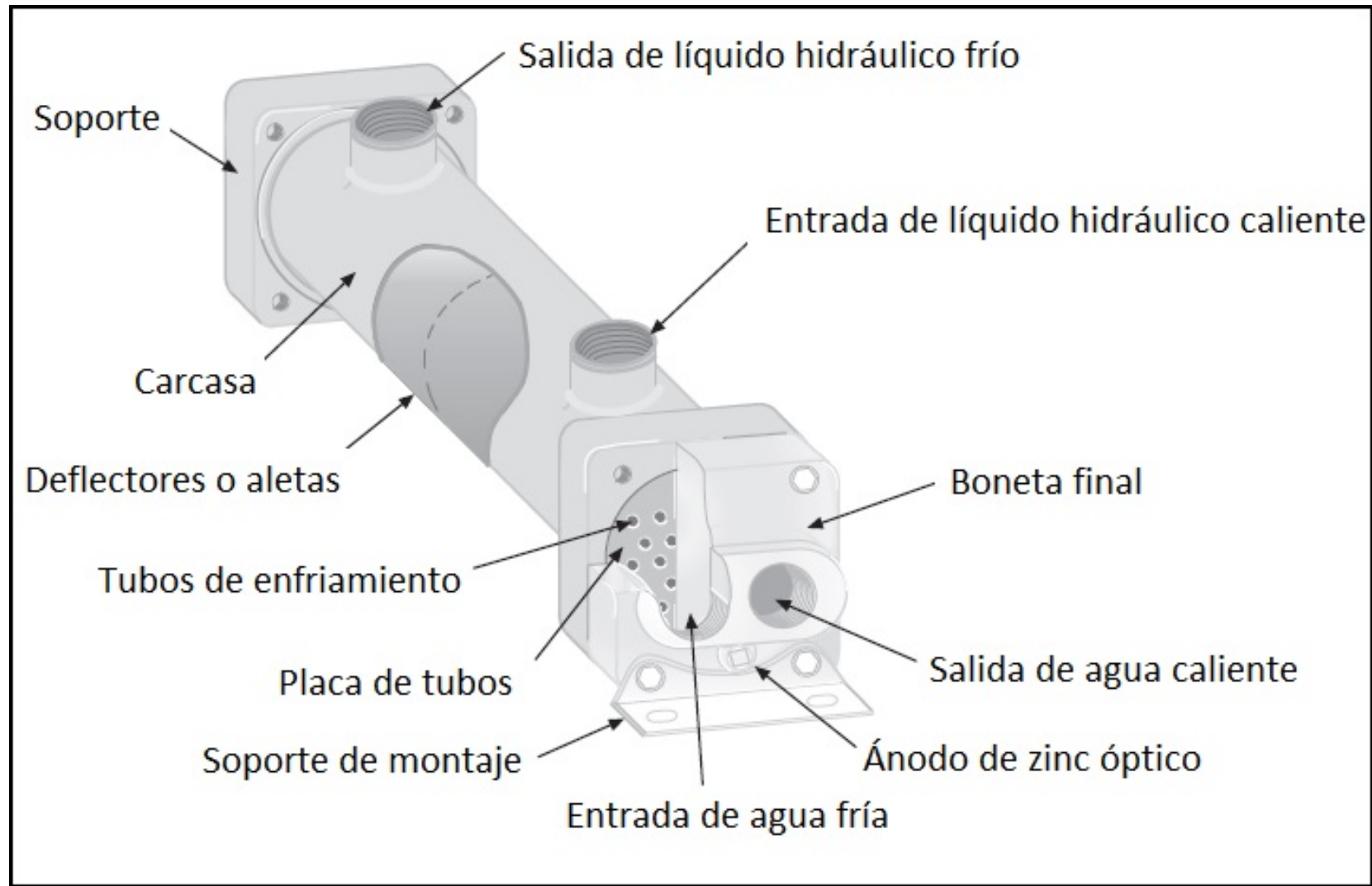


Imagen 43. Intercambiador de calor instalado en HPU modelo 510.21C.

Fuente: *Heat Exchanger Care and Water Quality Guide*.

Anexo 2 – Viscosidad absoluta y cinemática del agua.

Tabla 68. Viscosidad absoluta y cinemática del agua a diferentes temperaturas.

Temperatura	Densidad	Viscosidad absoluta	Viscosidad cinemática
	ρ	μ	ν
°C	kg/m ³	kg/m·s	m ² /s
0	999,9	$1,792 \cdot 10^{-3}$	1,79E-06
5	1000	$1,519 \cdot 10^{-3}$	1,52E-06
10	999,7	$1,308 \cdot 10^{-3}$	1,31E-06
12	Interpolando		1,25E-06
20	998,2	$1,005 \cdot 10^{-3}$	1,01E-06
26	Interpolando		9,05E-07
40	992,2	$0,656 \cdot 10^{-3}$	6,61E-07
60	983,2	$0,469 \cdot 10^{-3}$	4,77E-07
80	971,8	$0,357 \cdot 10^{-3}$	3,67E-07
100	958,4	$0,284 \cdot 10^{-3}$	2,96E-07

Fuente: Yunus Cengel, Transferencia de Calor.

Anexo 3 – Condiciones ambientales en la zona de Sabanilla de Montes de Oca.

Tabla 69. Promedios mensuales de datos climáticos en la zona de Sabanilla.

Elementos	Periodos	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Lluvia ⁽¹⁾	99-07	15,0	11,1	9,8	48,9	231,2	254,8	195,9	252,5	333,0	302,3	147,7	42,5	1844,7
Días lluvia ⁽²⁾	99-07	6	3	4	9	22	23	21	24	25	26	20	9	192
Tem.max. ⁽³⁾	99-06	23,3	24,1	25,3	25,9	26,3	26,1	25,3	25,7	26,4	25,9	24,4	23,8	25,2
Tem.min. ⁽³⁾	99-06	15,5	15,6	15,8	16,5	17,3	17,2	17,0	17,0	17,0	16,6	16,4	16,0	16,5
Tem.med. ⁽³⁾	99-06	19,4	19,9	20,6	21,2	21,8	21,7	21,2	21,4	21,7	21,3	20,4	19,9	20,9
Viento ⁽⁴⁾	99-06	14,2	14,6	14,0	12,2	9,4	8,1	8,2	8,4	7,5	7,4	9,7	11,8	10,5
Hum.rel. ⁽⁵⁾	99-06	80	79	80	80	86	87	86	87	87	87	85	82	84

(1) Lluvia en milímetros – 1 Mm. = 1 Litro por m²

(2) Días con lluvia >= 0,1

(3) Temperatura en grados Celsius.

(4) Viento en km/h

(5) Humedad relativa en %

(6) Estación Automática Operada por la UCR.

Suministrado por CIGEFI.

Anexo 4 – Tarifas de agua y electricidad aplicadas al LanammeUCR.

Con respecto a la tarifa de agua se tiene lo siguiente:

Estimación del importe tarifario por nivel de consumo

TARIFAS ACUEDUCTO					TARIFAS ALCANTARILLADO				
BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO	BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
0 a 15 m3	396	1.488	396	1.488	0 a 15 m3	132	463	132	463
16 a 25 m3	793	1.822	793	1.822	16 a 25 m3	264	571	264	571
26 a 40 m3	872	1.822	793	1.822	26 a 40 m3	289	571	264	571
41 a 60 m3	1.034	1.822	793	1.822	41 a 60 m3	342	571	264	571
61 a 80 m3	1.822	1.822	872	1.822	61 a 80 m3	571	571	289	571
81 a 100 m3	1.823	1.822	872	1.822	81 a 100 m3	571	571	289	571
101 a 120 m3	1.822	1.822	872	1.822	101 a 120 m3	571	571	289	571
mas de 120 m3	1.920	1.920	872	1.920	mas de 120 m3	605	605	289	605
Tarifa Fija	12.286	44.349	32.902	156.363	Tarifa Fija	3.828	1.411	15.708	65.704
Cargo Fijo	1.500	1.500	1.500	1.500	Cargo Fijo	600	600	600	600

Digite el NIS, el consumo en metros cúbicos, luego presione el botón Calcular Tarifa.

CALCULO DE CONSUMO

Ingrese el número de NIS y el consumo en M3 para hacer el cálculo.



Nis:

Consumo en M3:

Imagen 44. Tarifas del AyA.

Tomado de: www.aya.go.cr

Así pues la tarifa aplicada a esta entidad es la correspondiente a *Gobierno*.

Con respecto a la tarifa de electricidad se tiene lo siguiente:

Rige a partir del día 01 de Octubre al 31 de Diciembre del 2014 publicadas el día 30 de Setiembre del 2014 en el Diario Oficial La Gaceta N° 187 (página N°34)			
Bloques de consumo			
Menores o Iguales que 3.000 kWh	Mínimo 30 kWh		
	Costo por Cada kWh adicional		¢79
Mayores a 3.000 kWh	Cargo por Energía	Primeros 3.000 kWh o menos	¢135.000
		Cada kWh adicional a	¢45
	Cargo por Demanda	Primeros 8 kW o menos	¢58.896
		Cada kW adicional a	¢7.362

Imagen 45. Tarifas de CNFL respecto a Energía y Demanda.

Tomado de: www.cnfl.go.cr

Para esta entidad se toma una tarifa preferencial, por lo que los costos estarían basados según lo mostrado en la **Imagen 29**, además en las **Imágenes 30 y 31** se denota más rubros a cobrar.

Rige a partir del día 01 de Octubre al 31 de Diciembre del 2014 publicadas el día 30 de Setiembre del 2014 en el Diario Oficial La Gaceta N° 187 (página N°34)	
Por cada kWh consumido	¢3.24

Imagen 46. Tarifas de CNFL respecto a Alumbrado público.

Tomado de: www.cnfl.go.cr

El *Tributo a Bomberos* se toma con respecto a una base de consumo de 1750 kWh, por que se tiene que para consumos menores de 1750 kWh se calcula de la siguiente forma.

$$\text{Tributo a Bomberos} = \text{Monto Energía (en colones)} \times 1.75\%$$

Mientras que para consumos mayores a 1750 kWh la tarifa se da con respecto a la ecuación siguiente:

$$\text{Tributo a Bomberos} = \text{Monto de Energía (en colones)} + \text{consumo de energía total} \times 1750 \times 1.75\%$$

Por último se tiene un impuesto que se da por *Pérdidas por transformación*. Este rubro consta de un 2% del monto total por energía y demanda, así pues:

$$\text{Pérdida por demanda} = (\text{Energía} + \text{Demanda}) \times 2\%$$

Anexo 5 – Desglose para tarifas de agua y electricidad para el LanammeUCR.



COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ

COMPROBANTE DEL CLIENTE

F-01 C-5

UNIVERSIDAD DE C.R.
SAN PEDRO, MUÑOZ Y NANNE 400 N.FINCA #02
NISE/LOCALIZACION: 7404483300

NUMERO DE FACTURA
35134845
NUMERO DE CLIENTE
40004214936

ENERGÍA (KWH)

MEDIDOR	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	CONSUMO KWH	DIAS FACTURADOS	CONSUMO DIARIO KWH
924758	31175	30955	120	25400	32	825
FECHA DE FACT. ACTUAL	FECHA DE FACT. ANTERIOR	PROXIMA FACT. PREVISTA	TIPO DE TARIFA			
28-JUL-2014	26-JUN-2014	27-AGO-2014	6 - CONSUMO SOCIAL O PREFERE			

MÁXIMA DEMANDA (KW)

LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	MÁXIMA DEMANDA REGISTRADA	DEMANDA FACTURADA
154.24	153.19	120	125	125

FACTOR DE POTENCIA (%)

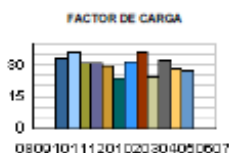
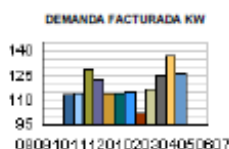
MEDIDOR	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	MÁXIMA DEMANDA (KVA, KW/HR)
924758	00000000	00000000	120	.01
LECTURA DE MEDICIÓN	FACTOR DE POTENCIA (%)	FACTOR POTENCIA MINIMA REQUERIDA (%)	FACTOR DE UTILIZACIÓN	
	100	90		

HISTÓRICO DE CONSUMO

MES	AÑO	DIAS	ENERGÍA KWH	DEMANDA EN KW	FACTOR DE POTENCIA (%)	FACTOR DE CARGA (%)
08	2013	31	27720	112.00	99.99	33.03
09	2013	31	30360	114.00	99.99	35.00
10	2013	29	27720	128.40	100.00	31.02
11	2013	31	28080	122.40	100.00	30.83
12	2013	29	23400	114.00	99.99	29.49
01	2014	30	19320	114.00	99.99	23.54
02	2014	32	27940	115.20	99.99	31.47
03	2014	31	27120	102.00	99.99	35.74
04	2014	32	22080	116.40	0.00	24.70
05	2014	30	29040	124.80	99.99	32.32
06	2014	29	26400	136.80	100.00	27.73
07	2014	32	26400	126.00	100.00	27.28
Promedio Mensual :			26290	119.90	91.96	30.25

FACTURACIÓN

CODIGO	DETALLE	IMPORTE
1	ENERGIA	¢ 1,285,350.00
2	DEMANDA	¢ 990,685.00
3	PERDIDA POR TRANSFORMACION	¢ 45,520.00
6	ALUMBRADO PUBLICO	¢ 85,535.00
24	IMPUESTO DE VENTAS.	¢ 0.00
NCR	DEVOLUCIONES DE DINERO	¢ -2,175.00
TRB	TRIBUTO BOMBEROS	¢ 2,605.00
0 MES(ES) PENDIENTE(S) A la fecha de emisión de la factura		Valor Emisión : ¢ 2,407,520.00 Saldo Actual : ¢ 2,407,520.00
MES AL COBRO	VENCIMIENTO	SI cancela después del vencimiento, se le cobrará en la próxima facturación un cargo por mora de : ¢ 72,215.00
JULIO/2014	14-AGO-2014	



COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ
COMPROBANTE DE CAJA

NISE/LOCALIZACION:	7404483300
FECHA FACTURACION ACTUAL	JULIO/2014
NUMERO DE CLIENTE	40004214936
NUMERO DE FACTURA	35134845
SUBTOTAL POR PAGAR	¢ 2,409,695.00
IMPUESTO DE VENTAS	¢ 0.00
TOTAL POR PAGAR	¢ 2,407,520.00
VENCIMIENTO	14-AGO-2014
Cargo por mora	¢ 72,215.00

SERVICIO AFILIADO AL PAR, PAGO SUJETO A DISPONIBILIDAD DE FONDOS.

*** 35134845 ***
35134845

<https://www.facebook.com/cnfl> <http://twitter.com/cnfl> 800energia@cnfl.go.cr <https://www.cnfl.go.cr>

Imagen 47. Recibo eléctrico del mes de Julio para el LanammeUCR.



COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ

COMPROBANTE DEL CLIENTE

F-01 C-5
 UNIVERSIDAD DE C.R.
 SAN PEDRO, MUÑOZ Y NANNE 400 N.FINCA #02
 NISE/LOCALIZACION: 7404483300

NUMERO DE FACTURA
35650930
 NUMERO DE CLIENTE
40004214936

ENERGIA (KWH)

MEDIDOR	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	CONSUMO KWH	DIAS FACTURADOS	CONSUMO DIARIO KWH
924758	31415	31175	1.20	28800	30	960
FECHA DE FACT. ACTUAL	FECHA DE FACT. ANTERIOR	PRÓXIMA FACT. PREVISTA	TIPO DE TARIFA			
27-AGO-2014	28-JUL-2014	25-SEP-2014	B - CONSUMO SOCIAL O PREFERE			

MÁXIMA DEMANDA (KW)

LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	MÁXIMA DEMANDA REGISTRADA	DEMANDA FACTURADA
155.28	154.24	1.20	124.8	124.8

FACTOR DE POTENCIA (%)

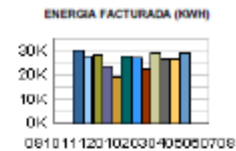
MEDIDOR	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	MÁXIMA DEMANDA (KVA, KWAR)
924758	00000000	00000000	1.20	.01
LECTURA DE MEDICION	FACTOR DE POTENCIA %	FACTOR POTENCIA MINIMA REQUERIDA (%)	FACTOR DE UTILIZACION	
	100	90		

HISTÓRICO DE CONSUMO

MES	AÑO	DIAS	ENERGIA KWH	DEMANDA EN KW	FACTOR DE POTENCIA (%)	FACTOR DE CARGA (%)
09	2013	31	30360	114.00	99.99	35.89
10	2013	29	27720	128.40	100.00	31.02
11	2013	31	26080	122.40	100.00	30.83
12	2013	29	23400	114.00	99.99	29.49
01	2014	30	19320	114.00	99.99	23.54
02	2014	32	27840	115.20	99.99	31.47
03	2014	31	27120	102.00	99.99	35.74
04	2014	32	22080	116.40	0.00	24.70
05	2014	30	29040	124.80	99.99	32.32
06	2014	29	26400	138.80	100.00	27.73
07	2014	32	26400	126.00	100.00	27.28
08	2014	30	28800	124.80	100.00	32.05
Promedio Mensual :			26380	119.90	91.98	30.18

FACTURACIÓN

CODIGO	DETALLE	IMPORTE
1	ENERGIA	€ 1,411,200.00
2	DEMANDA	€ 987,665.00
3	PERDIDA POR TRANSFORMACION	€ 47,975.00
6	ALUMBRADO PUBLICO	€ 93,310.00
24	IMPUESTO DE VENTAS.	€ 0.00
TRB	TRIBUTO BOMBEROS	€ 2,605.00
0 MES(ES) PENDIENTE(S) A la fecha de emisión de la factura		Valor Emisión : € 2,542,755.00 Saldo Actual : € 2,542,755.00
MES AL COBRO AGOSTO/2014	VENCIMIENTO 16-SEP-2014	Si ocaeta después del vencimiento, se le cobrará en la próxima facturación un cargo por mora de : € 78,205.00



COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ
 COMPROBANTE DE CAJA

NISE/LOCALIZACION:	7404483300
FECHA FACTURACION ACTUAL	AGOSTO/2014
NUMERO DE CLIENTE	40004214936
NUMERO DE FACTURA	35650930
SUBTOTAL POR PAGAR	€ 2,542,755.00
IMPUESTO DE VENTAS	€ 0.00
TOTAL POR PAGAR	€ 2,542,755.00
VENCIMIENTO	16-SEP-2014
Cargo por mora	€ 78,205.00

SERVICIO AFILIADO AL PAR, PAGO SUJETO A DISPONIBILIDAD DE FONDOS.

* **35650930** *
35650930

<https://www.facebook.com/cnfl> <http://twitter.com/cnfl> 800energia@cnfl.go.cr <https://www.cnfl.go.cr>

Imagen 48. Recibo eléctrico del mes de agosto para el LanammeUCR.

Estimación del importe tarifario por nivel de consumo

TARIFAS ACUEDUCTO

TARIFAS ALCANTARILLADO

BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
0 a 15 m3	396	1.488	396	1.488
16 a 25 m3	793	1.822	793	1.822
26 a 40 m3	872	1.822	793	1.822
41 a 60 m3	1.034	1.822	793	1.822
61 a 80 m3	1.822	1.822	872	1.822
81 a 100 m3	1.823	1.822	872	1.822
101 a 120 m3	1.822	1.822	872	1.822
mas de 120 m3	1.920	1.920	872	1.920
Tarifa Fija	12.286	44.349	32.902	156.363
Cargo Fijo	1.500	1.500	1.500	1.500

BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
0 a 15 m3	132	463	132	463
16 a 25 m3	264	571	264	571
26 a 40 m3	289	571	264	571
41 a 60 m3	342	571	264	571
61 a 80 m3	571	571	289	571
81 a 100 m3	571	571	289	571
101 a 120 m3	571	571	289	571
mas de 120 m3	605	605	289	605
Tarifa Fija	3.828	1.411	15.708	65.704
Cargo Fijo	600	600	600	600

Digite el NIS, el consumo en metros cúbicos, luego presione el botón Calcular Tarifa.

CALCULO DE CONSUMO

Ingrese el número de NIS y el consumo en M3 para hacer el cálculo.



Nis:

Consumo en M3:

El desglose para el consumo de 555 m3 es el siguiente:

ACUEDUCTO

- Cargo Fijo por ₡ 1.500
- 15 m3 a un precio de ₡ 1.488 c/u para un total de ₡22.320
- 10 m3 a un precio de ₡ 1.822 c/u para un total de ₡18.220
- 15 m3 a un precio de ₡ 1.822 c/u para un total de ₡27.330
- 20 m3 a un precio de ₡ 1.822 c/u para un total de ₡36.440
- 20 m3 a un precio de ₡ 1.822 c/u para un total de ₡36.440
- 20 m3 a un precio de ₡ 1.822 c/u para un total de ₡36.440
- 20 m3 a un precio de ₡ 1.822 c/u para un total de ₡36.440
- 435 m3 a un precio de ₡ 1.920 c/u para un total de ₡835.200

Total Acueducto ₡ 1.050.330

ALCANTARILLADO

- Cargo Fijo por ₡ 600
- 15 m3 a un precio de ₡ 463 c/u para un total de ₡6.945
- 10 m3 a un precio de ₡ 571 c/u para un total de ₡5.710
- 15 m3 a un precio de ₡ 571 c/u para un total de ₡8.565
- 20 m3 a un precio de ₡ 571 c/u para un total de ₡11.420
- 20 m3 a un precio de ₡ 571 c/u para un total de ₡11.420
- 20 m3 a un precio de ₡ 571 c/u para un total de ₡11.420
- 20 m3 a un precio de ₡ 571 c/u para un total de ₡11.420
- 435 m3 a un precio de ₡ 605 c/u para un total de ₡263.175

Total Alcantarillado ₡ 330.675

HIDRANTES 555 m3 a un precio de ₡ 15 por m3, para un total de ₡ 8.325

Total General ₡ 1.389.330 Tarifa Gobierno

Imagen 49. Recibo de agua del mes de julio para el LanammeUCR.

Estimación del importe tarifario por nivel de consumo

TARIFAS ACUEDUCTO

TARIFAS ALCANTARILLADO

BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO	BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
0 a 15 m3	396	1.488	396	1.488	0 a 15 m3	132	463	132	463
16 a 25 m3	793	1.822	793	1.822	16 a 25 m3	264	571	264	571
26 a 40 m3	872	1.822	793	1.822	26 a 40 m3	289	571	264	571
41 a 60 m3	1.034	1.822	793	1.822	41 a 60 m3	342	571	264	571
61 a 80 m3	1.822	1.822	872	1.822	61 a 80 m3	571	571	289	571
81 a 100 m3	1.823	1.822	872	1.822	81 a 100 m3	571	571	289	571
101 a 120 m3	1.822	1.822	872	1.822	101 a 120 m3	571	571	289	571
mas de 120 m3	1.920	1.920	872	1.920	mas de 120 m3	605	605	289	605
Tarifa Fija	12.286	44.349	32.902	156.363	Tarifa Fija	3.828	1.411	15.708	65.704
Cargo Fijo	1.500	1.500	1.500	1.500	Cargo Fijo	600	600	600	600

Digite el NIS, el consumo en metros cúbicos, luego presione el botón Calcular Tarifa.

CALCULO DE CONSUMO

Ingrese el número de NIS y el consumo en M3 para hacer el cálculo.



Nis:

Consumo en M3:

El desglose para el consumo de 889 m3 es el siguiente:

	Cargo Fijo por € 1.500
	15 m3 a un precio de € 1.488 c/u para un total de €22.320
	10 m3 a un precio de € 1.822 c/u para un total de €18.220
	15 m3 a un precio de € 1.822 c/u para un total de €27.330
	20 m3 a un precio de € 1.822 c/u para un total de €36.440
ACUEDUCTO	20 m3 a un precio de € 1.822 c/u para un total de €36.440
	20 m3 a un precio de € 1.822 c/u para un total de €36.440
	20 m3 a un precio de € 1.822 c/u para un total de €36.440
	769 m3 a un precio de € 1.920 c/u para un total de €1.476.480

Total Acueducto € 1.691.610

	Cargo Fijo por € 600
	15 m3 a un precio de € 463 c/u para un total de €6.945
	10 m3 a un precio de € 571 c/u para un total de €5.710
	15 m3 a un precio de € 571 c/u para un total de €8.565
	20 m3 a un precio de € 571 c/u para un total de €11.420
ALCANTARILLADO	20 m3 a un precio de € 571 c/u para un total de €11.420
	20 m3 a un precio de € 571 c/u para un total de €11.420
	20 m3 a un precio de € 571 c/u para un total de €11.420
	769 m3 a un precio de € 605 c/u para un total de €465.245

Total Alcantarillado € 532.745



HIDRANTES 889 m3 a un precio de € 15 por m3, para un total de € 13.335

Total General € 2.237.690 Tarifa Gobierno

Imagen 50. Recibo de agua del mes de agosto para el LanammeUCR.

Anexo 6 – Cotizaciones.

Anexo 4.1 – Cotización de análisis de agua llovida.

	Universidad de Costa Rica		
	Centro de Investigación en Contaminación Ambiental		
Oferta de Servicios	Código:	PG-03 R-04	Versión: 06
	Emisión:	18/06/2014	Páginas: 1/2
	Rev.:	CHVCH	Aprob.: JMC

1 INFORMACIÓN DE LA OFERTA

Oferta #:	482-2014	Preparó: Iniciales	CHVCH
		Fecha de envío: DD/MM/AAAA	14/08/2014
		Validez de oferta: Días naturales	30

2 INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante:	Sr. Manuel Jiménez Romero		
Empresa:	Lanamme UCR		
Facturar a:	Lanamme UCR		
Teléfono:	8881-51-30	Fax:	NA
e-mail:	manjimrom@gmail.com		

3 OFERTA

Cantidad	Servicio	Precio unitario colones	Monto total colones
1	Amonio / MAQA-38	¢ 6 280,00	¢ 6 280,00
1	Calcio / MAQA-9	¢ 4 190,00	¢ 4 190,00
1	Cloruros / MAQA-20	¢ 9 415,00	¢ 9 415,00
1	Hierro / MAQA-23	¢ 6 280,00	¢ 6 280,00
1	Nitratos / MAQA-20	¢ 9 935,00	¢ 9 935,00
1	pH / MAQA-24	¢ 3 665,00	¢ 3 665,00
1	Silicio / MAQA-14	¢ 5 755,00	¢ 5 755,00
1	Sólidos Disueltos / MAQA-16	¢ 4 190,00	¢ 4 190,00
1	Sulfatos / MAQA-20	¢ 9 935,00	¢ 9 935,00
		subtotal	¢ 59 645,00
1	Descuento 10 %	¢ 5 964,50	¢ 5 964,50
		subtotal	¢ 53 680,50
1	Muestreo	¢ 12 649,90	¢ 12 649,90
1		TOTAL	¢ 66 330,40

Días hábiles para la entrega de los reportes de análisis correspondientes a esta oferta (a partir de la fecha de ingreso de las muestras): **15 días hábiles.**

Tel:	2511-8202	Web:	www.cica.ucr.ac.cr
Fax:	2253-1363	e-mail:	servicioalcliente.cica@ucr.ac.cr
Dirección:	Universidad de Costa Rica. Sede Rodrigo Facio. Detrás de la Facultad de Medicina. San Pedro, Montes de Oca, San José.		

4 | NOTAS |

El muestreo debe realizarse en Lanamme UCR, Ciudad de la Investigación.

El análisis de amonio, no se encuentra acreditado por el momento.


5 CONDICIONES DE LA OFERTA

1. El alcance de la acreditación se encuentra disponible en www.eca.or.cr.
2. La oferta se considera contrato cuando el cliente evidencia el pago de al menos el 50% del monto total de la oferta y la aceptación de la oferta por un medio escrito (firma de oferta, carta, fax, correo electrónico). También se acepta la emisión de una orden de compra como señal de contrato.
3. Cuando se cancela adelanto del 50% se generan dos facturas, una por el adelanto y otra por la cancelación.
4. Depósitos y cheques a nombre de Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (FUNDEVI) en la cuenta 100-01-000-140077-9 o cuenta cliente 15100010011400776 del Banco Nacional. Puede cancelar en efectivo o cheque en nuestras oficinas.
5. El CICA no se hace responsable por muestreos realizados por el cliente. Para indicaciones sobre muestreo e ingreso de muestras comuníquese con el laboratorio.
6. El CICA se reserva el derecho de no realizar un muestreo si las condiciones no son apropiadas (clima, infraestructura, espacio, seguridad). El cliente asumirá el costo de muestreo que el CICA determine si no se puede realizar o si se debe reprogramar.
7. Los reportes de análisis se entregan en nuestras oficinas cuando se cuente con evidencia de la cancelación del monto total de la oferta. Se pueden enviar vía correo electrónico/fax con autorización escrita del cliente si el monto total ha sido cancelado o se llega a un acuerdo entre ambas partes.
8. *El descuento no se aplica sobre muestreo, refrendos, subcontrataciones/contrataciones, gastos administrativos, etc. Se aplica sólo a servicios de análisis realizados por el CICA.
9. El CICA se reserva el derecho de modificar la oferta o estas condiciones si media una comunicación por escrito con el cliente.

--Última línea--

Tel:	2511-8202	Web:	www.cica.ucr.ac.cr
Fax:	2253-1363	e-mail:	servicioalcliente.cica@ucr.ac.cr
Dirección:	Universidad de Costa Rica. Sede Rodrigo Facio. Detrás de la Facultad de Medicina. San Pedro, Montes de Oca, San José.		

Anexo 4.2 – Cotización de sistemas de trasiego de agua caliente y fría.



Ávila Herrera S.A.
Tibas, de Antojitos 25 S. 25 OE.
Calle sin salida
San José, Costa Rica
Todo en Bombas para agua

Teléfono # 2236-2287 / Cel.8384-6490 Fax# 2236-1556
www.mrpumps.co.cr wilson@mrpumps.co.cr

PROTEJA SU EQUIPO
¡Consulte por nuestro servicio de mantenimiento!

Cotización

	Fecha	No. Cotiz.#				
	06/10/2014	2997				
	Validez	25/11/2014				
	Vendedor	WSL				
Código	Descripción			Qty	UM	Total
	Alcance de oferta: Suministro e instalación de equipo de bombeo.					
PID10	VARIADOR DE VELOCIDAD Nema 3R 1/2-1 HP 190-265 V			1	UND	653.875,74T
000185	BOMBA GOULDS JET MOD JRS10 1HP 115-230V			1	UND	210.265,49T
Varios	Convertir motor monofasico a 3F			1		119.469,03T
1-231819	Boya de control de nivel LH SJE-81 13 Amps Control por nivel / Bajo			1	UND	14.336,29T
01-000750	TANQUE ECOTANK 750LTS USO AEREO NEGRO BICAPA			1	UND	48.087,00T
01-001100	TANQUE ECOTANK 1100 LITROS USO AEREO NEGRO BICAPA			1	UND	77.220,00T
10-000005	CONECTOR 1 1/2"			1	UND	3.375,00T
TF300	CONECTOR 3"			3	UND	85.762,80T
LLA371A	LLAVE T-ALTO 1/2". VARI/4X12. BOYA 6"			2	UND	28.672,56T
LLA373	LLAVE DE TANQUE ALTO EZFLO DE 1"			1	UND	32.400,00T
0000757	TANQUE HIDRONEUMÁTICO PWN-60L/15GLS/HORIZONTAL CON BASE			1	UND	90.720,00T
	Llenado con pluviales					
MATERIAL...	Materiales varios p/ instalación.					89.821,29T
MATERIAL...	Manifill y bombas.					18.668,14T
MATERIAL...	Materiales					14.332,19T
MATERIAL...	Otros materiales para instalación de bomba. (Tubería ida y vuelta.)					242.078,18T
Mano de Obra	Romper concreto para meter tuberías, e instalación de equipos.					702.000,00
Condiciones ...	Garantía: 1 año contra defecto de fabricación en los equipos. Tiempo de entrega: 1-2 semanas, luego de recibir adelanto. Lugar de entrega: Laboratorios UCR, ubicados de la UCR 300 Este. Forma de pago: 50% por adelantado, 50% contraentrega. Se recomienda brindar mantenimiento cada 6 meses Credito 30 dias con Orden de compra.					0,00T
Banco Nacional (Dolares) A nombre de Ana Mayela Herrera Hernandez CC 200-02-148-002422-4	Scotiabank (Dolares) CC 309543801 SIMPE 12300003095438017	Bac San José (Dolares) CC 911170611	Subtotal	CRC 2.431.083,71		
Banco Nacional (Colones) CC 100-01-148-000-795-8 SIMPE: 151-148-100-1000-7959	Scotiabank (Colones) CC 309543800	Bac San José CC 911170587	I.V. (13.0%)	CRC 224.780,88		
Después de la venta el servicio es el que cuenta. mr pumps garantiza el servicio después de la instalación, teléfonos transferidos, atendemos emergencias en sistemas de bombeo, atención fines de semana y feriados.			Total	CRC 2.655.864,59		
Si la moneda de esta oferta es dolares, la cancelación de la factura deberá realizarse en la misma moneda o de lo contrario, deberá utilizarse el tipo de cambio oficial de venta emitido el por BCCR el día de cancelación de la factura.						

Anexo 4.3 – Cotización de sistemas de enfriamiento.

CORPORACION INDUSTRIAL MABESA

3-101-242726

Miércoles 15 de octubre del 2014

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Estimados señores:

La presente para saludarles y al mismo tiempo presentarles nuestra mejor oferta en el proyecto de:

SUMINISTRO DE EQUIPO DE ENFRIAMIENTO

- 1 Torre de enfriamiento (ver características en manual), COSTO: \$5,608,00 + IV

Los manuales de mantenimiento se entregan con el equipo,

Sobre el equipo se da un año de garantía sobre defectos de fabricación,

El mantenimiento para estos equipos es simple lo único que se tiene que revisar es cada 3 meses como esta de carga de gas si le falta la empresa Beirute da el servicio de recarga.

Para efectos de la limpieza del agua hay una empresa en Costa Rica que le vende los Aditamentos para que esta esté siempre limpia,

TIEMPO DE ENTREGA: 45 días aproximadamente

FORMA DE PAGO: treinta días

Sin otro particular esperando su aceptación a la presente, se suscribe

CORPORACION INDUSTRIAL MABESA

Telefax: 2275-04-79

tallermabesacr@yahoo.com



N° Referencia SAP: N/D
Oferta Económica
Proyecto: Casa Young
Carrillo, Guanacaste

San José, 21 de Octubre de 2014

Señores
LANAMME
Universidad de Costa Rica
Presente

Estimados Señores:

CENTRO CARS S.A. (División Aire Frío), distribuidor exclusivo de **DAIKIN INDUSTRIES LTD.** para Costa Rica, con cédula jurídica 3-101-009339, ubicada en Paseo Colón, Calles 24 y 28, teléfono 2223-4222, fax 2256-4484, apartado postal 4702-1000, tiene el agrado de presentar formal oferta para el "Suministro e instalación de sistema de enfriamiento de agua para procesos" con base en planos y especificaciones suministradas.

Se cotiza en base a los siguientes archivos o documentos suministrados por el cliente:

- Diseño 1.dwg
- Vista en planta LanammeUCR.dwg

ALCANCE OFERTA

❖ Suministro de enfriador de agua ("fluid cooler") de la reconocida marca DAIKIN, para operar a 208/230 V, 3 fases, 60 Hz, según el siguiente detalle:

Línea	Modelo	Cantidad	Descripción	Entrega
1	AFS061	1	Condensing Unit. Condensador enfriado por aire para enfriamiento de fluidos, marca Daikin, modelo AFS061.	.

Nota: Para características técnicas y especificaciones referirse a selección de equipos y submittals adjuntos.

- ❖ Suministro de sistema de bombeo de agua a presión constante compuesto por una bomba centrífuga de 35 gpm, variador de velocidad, tanque hidroneumático y transductor de presión, para operar a 208/230 V, 3 fases, 60 Hz.
- ❖ Suministro de un set de accesorios para sistema de enfriamiento de fluidos, compuesto por separador de aire, purga de aire, válvula de alivio, filtro, interruptor de flujo, arrancadores, y demás accesorios necesarios para una correcta instalación y posterior operación del sistema.
- ❖ Suministro e instalación de todas las estructuras metálicas y/o anclajes necesarios para el montaje de la unidad condensadora enfriadora de fluidos sobre el techo de la nave principal. Su construcción será a base de tubos estructurales cuadrados y malla tipo jordomex, sujetos a elementos fijos del techo tales como cerchas, vigas o columnas. Todo de acuerdo con planos y especificaciones técnicas.
- ❖ Suministro de servicio de grúa para la instalación de la unidad condensadora enfriadora de fluidos en la estructura sobre el techo de la nave principal. Todo de acuerdo con planos y especificaciones técnicas.
- ❖ Suministro e instalación de un lote de tuberías de PVC SCH 40 junto con sus accesorios. Todo de acuerdo con planos y especificaciones técnicas.
- ❖ Suministro e instalación de toda la soportería necesaria para la instalación de las tuberías de PVC. La soportería será construida a base de barras roscadas de 1/4", soportes tipo pera marca HILTI, o en su defecto sistema uni-strut cuando así lo requiera. Todo de acuerdo con planos y especificaciones técnicas.

Centro Cars S.A.
DAIKIN Costa Rica
Tel: (506) 2232-3155
Fax: (506) 2290-1042
e-mail: info@daikinr.com

Page 1



N° Referencia SAP: NID
Oferta Económica
Proyecto: Casa Young
Carrillo, Guanacaste

- ❖ Suministro de toda la mano de obra técnica y profesional necesaria, para garantizar una correcta instalación y posterior operación de todos los sistemas.

Incluido en nuestro alcance

Mano de obra calificada, ingeniería y mano de obra técnica experimentada, herramienta, equipo de seguridad, trasportes a sitio tanto de personal como de equipo y herramienta, limpieza, pruebas y arranque.

PRECIO

USD 48.550.00 I.V.I. (Cuarenta y ocho mil quinientos cincuenta dólares exactos I.V.I.)

TERMINOS Y CONDICIONES

Forma de Pago	- A 30 días luego de entregado el sistema en funcionamiento.
Tiempo de entrega	* - Unidad condensadora – 9 a 10 semanas. ** - Accesorios de importación - 3 a 4 semanas. Instalación mecánica: de 4 a 6 semanas luego de recibida la orden de compra más 1 semana luego de la llegada de la unidad condensadora al proyecto.
Lugar de entrega	- Lanamme, San Pedro de Montes de Oca.
Garantía	- Garantía limitada de 12 meses en partes contra defectos de fabricación.
Otro términos	- La prevista de la paja de agua del proveedor de los servicios nos debe ser suministrada dentro de la nave principal, luego de eso nuestra empresa incluye la reubicación a la estructura sobre techo para conectar al sistema. - No incluye obra civil. Perforaciones, trabajos en mampostería, cielos, etc. - No incluye acometidas eléctricas de potencia o control. Estas nos deben ser suministradas a 0 metros. - No se incluye sistema de recolección de aguas de lluvia. - No se incluye perforaciones o sellos en paredes o techos para el pasante de tuberías o conductos. - No se incluye sellos corta fuego para louvers, rejillas o pasantes de ducto y/o tuberías en paredes o entre pisos. - No incluye visitas para el mantenimiento preventivo del sistema. Se recomienda que se lleve a cabo por un técnico especialista en el sistema. Para el sistema de bombeo se recomienda una inspección por trimestre. En el caso de la unidad condensadora se recomienda una inspección cada 6 meses. Se entregará protocolo de mantenimiento preventivo junto con la entrega del sistema funcionando a cabalidad.
Vigencia	- 30 días naturales.

Gracias por permitirnos trabajar en su proyecto.

CENTRO CARS S.A.

Juan Carlos Camacho
Departamento de Ventas

file:/Proyectos2014/Lanamme

Centro Cars S.A.
DAIKIN Costa Rica
Tel: (506) 2232-3165
Fax: (506) 2290-1042
e-mail: info@dalkincr.com

Page 2

FECHA	24/10/14
-------	----------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA		ATENCIÓN: MANUEL JIMÉNEZ ROMERO			
DIRECCIÓN: SAN PEDRO, COSTA RICA.		DEPARTAMENTO: LAMAMME			
TELÉFONO:		E-MAIL: MANJIMROM@GMAIL.COM			
CANTIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	TOTAL	
1	492D1GAF	TORRE DE ENFRIAMIENTO MARCA MARLEY, SERIE AQUATOWER MODELO 492D, 22 TONELADAS NOMINALES, CONSTRUIDA EN ACERO GALVANIZADO, MOTOR DE 1 HP TEFC DE UNA VELOCIDAD 230 V. TRANSMISIÓN FAJA-POLEA, RELLENO DE PVC TIPO MX75, TUBERIA EN 4". FABRICADA EN ESTADOS UNIDOS.	\$ 12,500	\$ 12,500	
OBSERVACIONES Condiciones de pago: 60% con oc, 40% contra entrega. Tiempo de entrega: 6-8 semanas.			SUB TOTAL	\$ 12,500	
			ASESOR DE VENTAS	IMPUESTO	\$ 0
			MIGUEL EDUARTE	TOTAL	\$ 12,500.00
			RECIBIDO CONFORME:		
COTIZACION VALIDA HASTA: 24/11/14		FIRMA	NOMBRE	CÉDULA	

TEL (506) 2296-2390

FAX (506) 2290-6193

hyutierrez@aquapura.cr

WWW.AQUAPURA.CR

Anexo 7 – Análisis hecho por el CICA para agua llovida en la zona de implementación.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Centro de Investigación en
Contaminación Ambiental



Laboratorio de Calidad de Aguas
REPORTE DE ANÁLISIS LCA-0170-2014

Solicitante: Lanamme UCR
Solicitado por: Sr. Manuel Jiménez Romero
Teléfono / Fax: 8881-51-30
Dirección del cliente: Lanamme UCR, Cuidad de la Investigación.
Oferta No.: 0482-2014
Muestreado por: Sr. Geovanni Mora Castro (CICA)
Número de muestras: Una
Fecha y hora del muestreo: 18 de setiembre de 2014 / 9:25 a.m.
Fecha de ingreso al laboratorio: 18 de setiembre de 2014
Fecha de emisión del reporte: 10 de octubre de 2014



Resultados		
Análisis	Unidad	Muestra 1
Amonio*	mg/L NH ₄ ⁺	0,490 ± 0,020
Calcio*	mg/L Ca ²⁺	< 2,1
Cloruros*	mg/L Cl ⁻	0,232 ± 0,079
Hierro*	mg/L Fe	< 0,080
Nitratos*	mg/L NO ₃ ⁻	0,513 ± 0,085
pH*	pH a 20,0 °C	5,91 ± 0,17
Silicio*	mg/L Si	0,40 ± 0,40
Sólidos Disueltos Totales*	mg/L	< 9,0
Sulfatos*	mg/L SO ₄ ²⁻	1,365 ± 0,084

*Ensayo acreditado ante ECA. Ver alcance en www.eca.or.cr

**Ensayo no acreditado ante ECA.

NOTAS:

- Los resultados de este informe son exclusivos para el análisis realizado a la Muestra LCA-0170-2014 (1) de agua de lluvia recolectada en el patio del edificio de Lanamme: San Pedro, Montes de Oca, San José.
- La Muestra LCA-0170-2014 (1) es una muestra simple.
- Las incertidumbres corresponden a incertidumbres expandidas con un factor de cobertura de 2 (k=2), lo cual da un nivel de confianza del 95 %.
- Métodos de Análisis Químico Ambientales (MAQA) realizados de acuerdo con: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 22^a. Edición. 2012.

Amonio	MAQA-38	pH	MAQA-24
Calcio	MAQA-9	SiO ₂	MAQA-14
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	MAQA-20	S. Disueltos	MAQA-16
Fe	MAQA-23		



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Centro de Investigación en
Contaminación Ambiental



Laboratorio de Calidad de Aguas
REPORTE DE ANÁLISIS LCA-0170-2014

5. Documento confidencial para uso del Lanamme UCR. No puede reproducirse parcialmente sin autorización del Laboratorio.
6. Las muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este período se desecharán.

----- Última línea -----

B.Q. Víctor G. Arias Mora
Laboratorio de Calidad de Aguas