

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE  
PALTA HASS VIA CONTROLADOR DREAM 2 Y CON ENFOQUE EN  
AHORRO ENERGETICO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ SERVÁN**

**LIMA – PERU**

**2023**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	1%
3	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://purl.org">purl.org</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://repositorio.ujcm.edu.pe">repositorio.ujcm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://scielo.sld.cu">scielo.sld.cu</a> Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE  
PALTA HASS VIA CONTROLADOR DREAM 2 Y CON ENFOQUE EN  
AHORRO ENERGETICO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ SERVÁN**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO  
Presidente

Mg.Sc. GUILLERMO CLEMENTE AGUILAR GIRALDO  
Asesor

Ing. JOSÉ BERNARDINO ARAPA QUISPE  
Miembro

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ  
Miembro

LIMA – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, Joe e Ivy, que, en todo momento, desde antes que tengo uso de razón, velaron por mi bienestar y crecimiento, esto es para ustedes, este logro es gracias a su amor, enseñanza y paciencia.*

*Para Bruno, quien es la alegría del hogar y mi compañero para la vida, hermano, estoy seguro que podrás cosechar muchos éxitos, explota tu potencial.*

*“La paciencia y persistencia son la clave del éxito”.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A William y Alberto, no solo por darme el nombre que tengo, si no por ser un ejemplo de superación y demostrarme el valor de la familia.*

*A Elenita y Marujita, quienes me siguen viendo como un bebé, les agradezco todo el cariño y engrimiento para su primer nieto.*

*A todos mis amigos y compañeros de la etapa universitaria, con quienes compartí buenas experiencias y deseos de superación, pero en especial a todos los de la clase cuatrocientos veinte.*

*A Fernando Contreras, quien fue mi primer jefe y mentor en el mundo del riego tecnificado, gracias por todas las lecciones y experiencias compartidas.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Problemática.....	2
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo principal.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Riego por goteo .....	3
2.2. Composición de un sistema de Riego.....	3
2.2.1. Fuente de Agua .....	3
2.2.2. Cabezal de Filtrado .....	3
2.2.3. Sistema de Fertirriego .....	9
2.2.4. Red de Distribución.....	10
2.2.5. Emisores o línea de goteros.....	11
2.2.6. Sistema de Automatización.....	11
2.3. Cultivo de palto .....	13
2.3.1. Manejo del riego y fertilización del cultivo .....	14
2.4. Software de Diseño IRRICAD .....	16
III. DESARROLLO DEL TRABAJO.....	17
3.1. Información básica del proyecto .....	17
3.1.1. Ubicación .....	17
3.1.2. Topografía .....	18
3.1.3. Clima .....	18
3.1.4. Suelo.....	18
3.1.5. Plano topográfico .....	18
3.1.6. Oferta de Agua .....	18
3.2. Software de procesamiento .....	19
3.3. Metodología.....	20
3.3.1. Diseño Agronómico .....	20
3.3.2. Análisis del Sistema de Riego existente.....	22

3.3.3. Diseño hidráulico .....	23
3.3.4. Diseño de la automatización .....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1. Diseño Agronómico .....	37
4.1.1. Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ET <sub>o</sub> ) .....	37
4.1.2. Cálculo de la Evapotranspiración de un Cultivo (ET <sub>c</sub> ).....	38
4.1.3. Determinación de la línea o emisor de riego.....	38
4.1.4. Determinación de la Planificación Agronómica .....	39
4.2. Análisis del Sistema de Riego existente.....	44
4.3. Diseño hidráulico .....	46
4.3.1. Dimensionamiento de tubería portalíneas .....	48
4.3.2. Dimensionamiento de válvulas hidráulicas.....	51
4.3.3. Dimensionamiento y verificación de tubería matriz: .....	55
4.3.4. Dimensionamiento de la Válvula Hidráulica de Matriz.....	68
4.3.5. Cálculo de la presión de salida a campo .....	69
4.3.6. Dimensionamiento de la estación de filtrado y manifold de control, cálculos de la Altura Dinámica Total .....	69
4.3.7. Selección de la bomba de riego y tipo de operación .....	73
4.3.8. Dimensionamiento del sistema de fertilización .....	90
4.3.9. Diseño de la automatización .....	92
V. CONCLUSIONES .....	98
VI. RECOMENDACIONES .....	101
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
VIII. ANEXOS .....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores referenciales de Kc para el cultivo de palto .....	21
Tabla 2: Parámetros del Diseño agronómico del Sistema de Riego 73.93 Ha .....	39
Tabla 3: Parámetros de operación agronómica del Sistema de Riego – Etapa Inicial (73.93 ha).....	42
Tabla 4: Parámetros de operación agronómica del Sistema de Riego – Etapa Final (73.93 ha).....	43
Tabla 5: Límites de operación para las válvulas hidráulicas del sistema .....	51
Tabla 6: Parámetros de operación de las válvulas hidráulicas para la etapa final del proyecto .....	53
Tabla 7: Parámetros de operación de las válvulas hidráulicas para la etapa inicial del proyecto .....	54
Tabla 8: Parámetros de matriz en la ruta crítica del turno #4 etapa final .....	59
Tabla 9: Parámetros de matriz en la ruta crítica del turno #2 etapa final .....	65
Tabla 10: Rango de operación de las alternativas de selección para la válvula hidráulica de matriz .....	68
Tabla 11: Presiones de salida a campo para la etapa inicial del sistema .....	69
Tabla 12: Presiones de salida a campo para la etapa final del sistema.....	69
Tabla 13: Cálculos para la tubería de succión del cabezal .....	70
Tabla 14: Cálculos para la tubería de descarga del cabezal .....	70
Tabla 15: Parámetros de operación de la válvula de alivio del sistema .....	72
Tabla 16: Cálculo del ADT para la etapa inicial del sistema .....	73
Tabla 17: Cálculo del ADT para la etapa final del sistema .....	73
Tabla 18: Cálculo del ADT para la etapa inicial del sistema .....	73
Tabla 19: Cálculo del ADT para la etapa final del sistema .....	74
Tabla 20: Cuadro comparativo de escenarios para la selección del sistema de bombeo.....	76
Tabla 21: Datos de operación de la bomba 125-400-415mm-60 Hz a 1770 RPM .....	77
Tabla 22: Puntos de caudal y potencia extraídos del catálogo del fabricante. ....	78
Tabla 23: Estimación del comportamiento de ADT y Frecuencia para los puntos de isoeficiencia conocidos - Etapa inicial .....	80
Tabla 24: Estimación del comportamiento de ADT y Frecuencia para los puntos de isoeficiencia conocidos - Etapa final .....	80

Tabla 25: Velocidades de operación para la etapa inicial del sistema.....	81
Tabla 26: Velocidades de operación para la etapa final del sistema .....	81
Tabla 27: Ecuación de ADT para las distintas velocidades de la etapa inicial del sistema.	82
Tabla 28: Ecuación de ADT para las distintas velocidades de la etapa final del sistema ...	82
Tabla 29: Evaluación de presiones ofertadas para la etapa inicial .....	82
Tabla 30: Evaluación de presiones ofertadas para la etapa final.....	83
Tabla 31: Cálculos de eficiencia y potencia absorbida para las velocidades reducidas de operación – etapa inicial .....	84
Tabla 32: Cálculos de eficiencia y potencia absorbida para las velocidades reducidas de operación – etapa final.....	84
Tabla 33: Consumo energéticos sin VDF para la etapa inicial del sistema.....	86
Tabla 34: Consumo energéticos sin VDF para la etapa final del sistema .....	86
Tabla 35: Consumos energéticos de la red con VDF para la etapa inicial del sistema .....	86
Tabla 36: Consumos energéticos de la red con VDF para la etapa inicial del sistema .....	87
Tabla 37: Comparativa de escenarios para el consumo de la red – etapa inicial .....	87
Tabla 38: Comparativa de escenarios para el consumo de la red – etapa final .....	87
Tabla 39: Comparativa de escenarios para el consumo de la red – etapa final .....	88
Tabla 40: Aplicaciones de Fertilización del proyecto .....	90
Tabla 41: Calculo de tiempos para la inyección.....	90
Tabla 42: Calculo del caudal objetivo de inyección.....	91
Tabla 43: Hardware de la automatización de campo.....	93
Tabla 44: Hardware de la automatización de cabezal .....	95
Tabla 45: Hardware de la automatización de sensores.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curvas características de la Bomba .....	4
Figura 2: Potencias del sistema de bombeo.....	8
Figura 3: Hardware DREAM 2 .....	12
Figura 4: Analizador de redes comercial.....	13
Figura 5: Dinámica de las exportaciones peruanas de palta.....	14
Figura 6: Ubicación del fundo “La Mora” .....	17
Figura 7: Diagrama de flujo para la metodología.....	20
Figura 8: Área de Filtración modelo F7250 .....	27
Figura 9: Recomendación de velocidades en succión .....	27
Figura 10: Distribución de la interfaz RF G5 en una instalación .....	33
Figura 11: Carga estática en válvula producto de la cota de la RTU .....	34
Figura 12: Esquema hidráulico por automatizar.....	35
Figura 13: Esquema de conexión interfaz ANA local.....	36
Figura 14: Cálculos de ETo vía Cropwat 8.0 .....	37
Figura 15: Distribución del marco de Siembra.....	41
Figura 16: Parámetros del sistema existente.....	44
Figura 17: Equipos encontrados en el sistema existente .....	46
Figura 18: Base de datos general de las tuberías en IRRICAD.....	46
Figura 19: Base de datos con parámetros de tubería específica en IRRICAD .....	47
Figura 20: Parámetros de diseño hidráulico en IRRICAD .....	47
Figura 21: Base de datos de la línea de riego en IRRICAD .....	48
Figura 22: Gradiente Hidráulica de la portalinea crítica en operación.....	49
Figura 23: Mapa de presiones en producto del diseño de portalíneas .....	50
Figura 24: Gradiente Hidráulica para el lateral con menor presión de operación.....	50
Figura 25: Ecuación y base de datos para válvulas de 2” .....	52
Figura 26: Ecuación y base de datos para válvulas de 3” .....	52
Figura 27: Ecuación y base de datos para válvulas de 3” L .....	53
Figura 28: Distribución del turnado para la etapa final del sistema en IRRICAD .....	55
Figura 29: Calculo de presión en fuente de agua por software IRRICAD .....	56
Figura 30: Identificación de matrices diseñadas y zonas críticas por turno .....	57
Figura 31: Reporte de presiones en la fuente por IRRICAD.....	58

Figura 32: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T4.....	58
Figura 33: Gradiente Hidráulico para la zona alta durante el T4 .....	60
Figura 34: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T3.....	60
Figura 35: Gradiente Hidráulico para la zona alta durante el T3 .....	61
Figura 36: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T5.....	61
Figura 37: Gradiente Hidráulico para la zona alta durante el T5 .....	62
Figura 38: Gradiente Hidráulico para todos los turnos en la zona alta.....	62
Figura 39: Gradiente Hidráulico de los turnos altos sobre la zona baja.....	63
Figura 40: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T1.....	64
Figura 41: Gradiente Hidráulico para la zona baja durante el T1 .....	64
Figura 42: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T2.....	65
Figura 43: Gradiente Hidráulico para la zona baja durante el T1 .....	66
Figura 44: Gradiente Hidráulico para todos los turnos en la zona alta.....	67
Figura 45: Gradiente Hidráulico en la zona alta para los turnos bajos.....	67
Figura 46: Identificación de presiones negativas en los turnos 1 y 2 .....	68
Figura 47: Pérdida de carga para F7250 doble cuerpo de 3”.....	70
Figura 48: Datos metrológicos y de precisión para el medidor TurboBar .....	71
Figura 49: Grafica de pérdida de carga del TurboBar .....	71
Figura 50: Selección del primer escenario para el sistema de bombeo .....	75
Figura 51: Selección del segundo escenario para el sistema de bombeo .....	75
Figura 52: Comparativa de curvas características para los escenarios de bombeo .....	76
Figura 53: Curva de ADT de la bomba de riego .....	77
Figura 54: Curva de eficiencia de la bomba de riego .....	78
Figura 55: Curva de potencia hidráulica de la bomba de riego .....	79
Figura 56: Características Motor IE3 .....	85
Figura 57: Características del Variador CFW11 .....	85
Figura 58: Comparativa de CAPEX y OPEX según tipo de arranque de bombeo.....	89
Figura 59: Curva característica de la bomba de inyección de fertilizante.....	92
Figura 60: Ubicación de las RTU en el sistema de riego .....	94
Figura 61: Grafico de presiones del sistema a través del Console Dream .....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01: REPORTE DE OPERACIÓN EN PORTALÍNEAS, VÁLVULAS Y MATRICES DE LA ETAPA INICIAL.....	105
ANEXO 02: REPORTE DE OPERACIÓN EN PORTALÍNEAS, VÁLVULAS Y MATRICES DE LA ETAPA FINAL.....	120
ANEXO 03: REPORTE DE OPERACIÓN DE LA BOMBA Y CABEZAL PARA AMBAS ETAPAS.....	136
ANEXO 04: PLANOS.....	138
ANEXO 05: DATOS TECNICOS BOMBA, MOTOR Y VARIADOR.....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AC:</b>	Corriente Alterna
<b>ADT:</b>	Altura dinámica total del sistema
<b>ANA:</b>	Analógica
<b>CAD:</b>	Diseño asistido por computadora
<b>H:</b>	Valor de presión en un punto específico de operación
<b>HP:</b>	Caballo de Fuerza, unidad de potencia
<b>Hz:</b>	Hertz o hercio, unidad de frecuencia
<b>IE3:</b>	Eficiencia eléctrica Premium
<b>PVC:</b>	Policloruro de Vinilo
<b>Q:</b>	Valor de caudal de bombeo por unidad o turno de riego
<b>RF:</b>	Radiofrecuencia
<b>RPM:</b>	Revoluciones por minuto, unidad de velocidad angular
<b>RTU:</b>	Unidad terminal remota, control a distancia
<b>VDF:</b>	Variador de Frecuencia
<b>m.c.a:</b>	Metros de columna de agua, unidad de presión
<b>m<sup>3</sup>:</b>	Metros cúbicos, unidad de volumen
<b>m:</b>	Metros, unidad de longitud
<b>ha:</b>	Hectárea, unidad de superficie

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el rediseño de un sistema de riego para el cultivo de palta Hass en Nepeña, Santa-Ancash, con un enfoque en la reutilización de elementos instalados en un sistema de riego existente para cultivo de caña, y la eficiencia energética del nuevo subsistema de bombeo. El proyecto partió con el diseño agronómico para definir los requisitos del usuario y la selección del emisor D5000 para planificar el riego en dos etapas del sistema. Posteriormente, se llevó a cabo un diseño hidráulico utilizando IRRICAD, que implicó la selección de tuberías y válvulas de campo, así como el dimensionamiento de filtros, manifold y válvulas para el cabezal. Luego, considerando los requerimientos operativos calculados para cada etapa y turno de riego, se identificó el escenario más adecuado para la selección del sistema de bombeo y se determinó el tipo de operación mediante la implementación de un variador de frecuencia. Esta elección permitió llevar a cabo una evaluación comparativa del ahorro energético en contraste a la operación con otro tipo de arranque para el motor de bombeo, desarrollando un análisis energético dentro de un intervalo de tiempo establecido en 5 años, el ahorro fue de S/ 177,557.26, implementando un costo adicional de S/ 28,500 por el sistema VDF. En términos de automatización, para el control de válvulas de campo vía radiofrecuencia, se empleó la interfaz RF G5, evaluando la línea de visión entre las RTU y la antena maestra, mientras que en el cabezal se utilizó una interfaz AC de control para las entradas y salidas digitales, junto con una interfaz ANA para la sensorización, logrando lecturas de presión y variables eléctricas transmitidas por un analizador de redes. Finalmente, se implementó la lógica operacional dentro del controlador para el control de la operación del sistema de riego.

**Palabras clave:** riego, diseño hidráulico, análisis energético, automatización.

## ABSTRACT

The main objective of this work is the redesign of an irrigation system for the cultivation of Hass avocado in Nepeña, Santa-Ancash, with a focus on the reuse of elements installed in an existing irrigation system for cane cultivation, and the efficiency energy of the new pumping subsystem. The project started with the agronomic design to define the user requirements and the selection of the D5000 emitter to plan irrigation in two stages of the system. Subsequently, a hydraulic design was carried out using IRRICAD, which involved the selection of field pipes and valves, as well as the sizing of filters, manifold and valves for the header. Then, considering the operational requirements calculated for each irrigation stage and shift, the most appropriate scenario for selecting the pumping system was identified and the type of operation was determined by implementing a frequency converter. This choice allowed us to carry out a comparative evaluation of the energy savings in contrast to the operation with another type of start for the pumping motor, developing an energy analysis within a time interval established in 5 years, the savings were S/ 177,557.26 , implementing an additional cost of S/ 28,500 for the VDF system. In terms of automation, to control field valves via radio frequency, the G5 RF interface was used, evaluating the line of sight between the RTUs and the master antenna, while in the head an AC control interface was used for the inputs. and digital outputs, along with an ANA interface for sensorization, achieving pressure readings and electrical variables transmitted by a network analyzer. Finally, the operational logic was implemented within the controller to control the operation of the irrigation system.

**Keywords:** irrigation, hydraulic design, energy analysis, automation.

## I. INTRODUCCIÓN

La palta peruana, especialmente la variedad Hass, ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años y se ha consolidado como uno de los principales productos agrícolas de exportación del país. En vista a ello, dentro de la cadena de producción para palta, los sistemas de riego juegan un papel clave, por tal motivo, es importante buscar la optimización constante del diseño del sistema, enfocado en la operación y mantenimiento de este, con la finalidad de recibir la máxima producción aprovechable en el hectareaje cultivado, optimizando los recursos y costos asociados.

El manejo y operación óptimo de los sistemas de riego se orienta hacia la reducción del consumo de agua y energía para la conservación efectiva de estos recursos naturales. Abordar esta meta, requiere conocer el consumo de estos recursos y utilizar toda el agua disponible con menores costos y sin desperdicio, a partir de sistemas eficientes y con criterio de funcionalidad (Madrigal Millian *et al.*, 2019)

Entendiendo que existe la necesidad de crear bases científicas para realizar acciones que contribuyan a la mitigación y adaptación al cambio climático, empleando un uso eficiente del agua y utilizando sistemas de riego presurizados que permitan obtener altas uniformidades y eficiencias de riego (Ascencios, 2021). El principal objetivo del presente trabajo es rediseñar el sistema de riego existente en el Fundo “La Mora” ubicado en el distrito de Nepeña, provincia de Santa, departamento de Áncash, Perú, con la finalidad de que pueda ser apto para el cultivo de palta Hass, considerando una operación que permita no solo un uso eficiente del recurso hídrico según las necesidades del cultivo, también deberá cumplir con el criterio de ahorro energético, empleando tecnologías a disposición en el mercado que no son explotadas en su totalidad, como los variadores de frecuencia. Todo lo anterior debe complementarse con un eficiente manejo del riego y de la información del campo, por ello también se considera la automatización del sistema vía controlador DREAM 2, con un histórico de correctas aplicaciones para el riego tecnificado y fertirrigación.

Como resultado, se espera que el enfoque de ahorro energético, también le brinde al usuario final un beneficio, en base a la reducción de costos asociados al bombeo, aplicando eficiencia en la operación del sistema, lo que garantiza un retorno de la inversión adicional realizada.

### **1.1. Problemática**

La falta de aplicación de nuevas tecnologías y modernización dentro de un sistema de riego conlleva a un uso ineficiente del agua y energía, dificulta la gestión y el monitoreo del riego; en condiciones desfavorables, puede tener impactos negativos en los cultivos y la empresa encargada de producirlos. Por tal razón, el siguiente trabajo busca referenciar soluciones de diseño factibles para el mercado a mediana y gran escala, utilizando un sistema de bombeo enfocado en el concepto de ahorro energético y un controlador que permite realizar una programación de fertirriego variable en el tiempo, bajo operaciones lógicas de trabajo, así como también equipa instrumentos de medición de parámetros significativos para la operación del sistema.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo principal**

Rediseño del sistema de riego existente para el cultivo de 73.93 ha de palta Hass.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar el diseño y planificación agronómica para el cultivo de palta Hass
- Realizar el diseño hidráulico para la nueva operación del sistema de riego, enfocado en rediseñar los subsistemas de campo, cabezal y fertilización producto de un análisis del sistema existente.
- Realizar el análisis energético, producto de la selección del equipo de bombeo para el tipo de operación definida.
- Realizar el diseño del sistema de automatización

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Riego por goteo**

Según Pérez (2022), el riego por goteo ha demostrado ser una técnica eficiente para el suministro de agua y nutrientes a los cultivos, permitiendo un desarrollo óptimo de las plantas. El avance tecnológico también ha influenciado el manejo del riego, logrando componer sistemas automáticos capaces de optimizar la operación, a través del control y monitoreo en las diversas etapas y componentes en la estructura de un sistema de riego.

### **2.2. Composición de un sistema de Riego**

#### **2.2.1. Fuente de Agua**

El suministro de agua puede obtenerse mediante la extracción de agua subterránea a través de una red presurizada interconectada, o a través de canales que se dirigen hacia los reservorios. Estos reservorios, cuyas dimensiones varían según el área a regar, tienen como objetivo proporcionar un suministro constante de agua al sistema de riego.

#### **2.2.2. Cabezal de Filtrado**

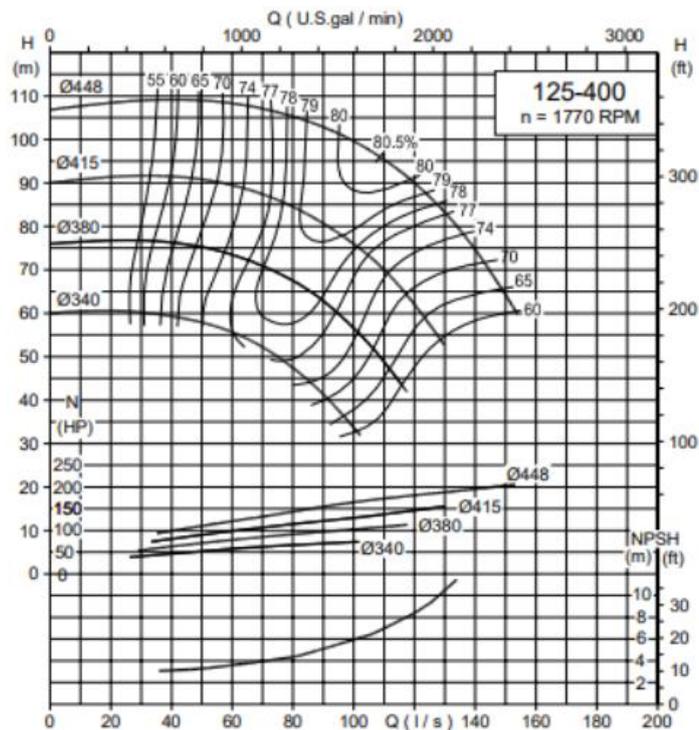
El cabezal de filtrado es considerado la estación de control principal del sistema de riego, está constituido por:

##### **2.2.2.1. Equipo de Bombeo**

Esta parte del cabezal de riego consta de una o más bombas, cuya capacidad y potencia dependen del área que se va a regar (Díez, 2007). Es fundamental dimensionar el equipo de bombeo de manera que la presión garantizada sea suficiente para superar la diferencia de topográfica y las pérdidas de carga del sistema producto del flujo dinámico. Para este dimensionamiento se deben considerar datos técnicos propios de la fabricación de la bomba, sobre todo, las curvas características. Estas curvas características son gráficas que relacionan

las distintas variables de operación como son la altura manométrica, rendimiento, potencia y carga neta positiva de aspiración requerida en función al flujo que bombea el equipo.

- i. **Curva altura manométrica-caudal (H-Q):** También llamada altura total desarrollada (ADT), esta representa el comportamiento de una bomba para generar paso de caudal a través de ella en relación con la presión de bombeo.
- ii. **Curva eficiencia-caudal( $\eta$ -Q):** La curva representa, la correspondencia entre la potencia de la bomba y la potencia absorbida. Los valores inician desde cero, aumentan progresivamente en función del aumento de flujo hasta el punto máximo, luego conforme aumenta el flujo el valor de eficiencia tiende a disminuir.
- iii. **Curva potencia-caudal (P-Q):** Esta representa la potencia absorbida y depende del caudal y la altura manométrica, es la potencia de la bomba para lograr el traslado del fluido a una presión conocida.
- iv. **Curva altura neta positiva en la aspiración-caudal (NPSHr-Q):** Es la presión mínima en la entrada de la bomba para evitar la formación de cavitación. Para que la bomba opere sin cavitación, se requiere que el NPSH disponible supere al NPSH requerido.



**Figura 1: Curvas características de la Bomba**

FUENTE: Hidrostral

**a. Ecuaciones matemáticas de las curvas características de una bomba centrífuga**

En diversas aplicaciones de las bombas, surgen circunstancias que demandan la exploración de alternativas operativas con el propósito de abordar y atender las exigencias presentes. Por tal motivo, se emplea la modificación de la velocidad de rotación de la bomba, la adopción de regímenes de velocidad variables, la reducción del tamaño del impulsor, así como la disposición de unidades de bombeo configuradas de forma paralelas o en serie, entre otras estrategias, estas aplicaciones requieren entender un comportamiento detallado de la operación de la bomba, y aplicar modelos matemáticos que definan las ecuaciones que presentan las curvas características del sistema de bombeo.

Para obtener las ecuaciones de las curvas características de las bombas se seleccionan una serie de puntos representativos de estas y se aplica el Método de los Mínimos Cuadrados para encontrar las expresiones matemáticas correspondientes (Pérez Franco, 2012).

**i. Curva altura dinámica total -caudal (ADT-Q):**

$$ADT = A \pm BQ - CQ^2$$

**ii. Curva altura eficiencia-caudal ( $\eta$  -Q):**

$$\eta = GQ - HQ^2$$

**iii. Curva altura potencia-caudal (P-Q):**

$$P = D \pm EQ \pm FQ^2$$

**iv. Curva altura NPSHr-caudal (NPSHr-Q):**

$$NPSHr = I + JQ + KQ^2$$

Donde A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K son coeficientes del polinomio representativos de cada una de sus curvas.

## **b. Leyes de afinidad en bombas centrifugas**

Las leyes de afinidad gobiernan las relaciones entre velocidad, flujo, presión de descarga y potencia de entrada de la bomba, y permiten predecir el rendimiento de una bomba a una velocidad que no sea la característica. Se expresa la siguiente relación para cumplir las leyes de afinidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$
$$\frac{ADT_1}{ADT_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Donde:

ADT: altura dinámica total (m)

P: potencia en la entrada de la bomba (kW)

Q: caudal (l/s)

N: velocidad de la bomba (rpm)

Ascencios (2021) menciona que la reducción de velocidad provocara una leve reducción del rendimiento y que se obtiene una buena aproximación hasta disminuir un 40 % de la velocidad máxima. Para este caso deben evaluarse condiciones del sistema. Guo *et al.* (2020), evalúan tres posibles escenarios para la variación del rendimiento de la bomba utilizando un variador de frecuencia (sin carga estática, con carga estática y sistema variable con carga estática)

## **c. Motor Eléctrico y Tipo de Arranque**

El sistema de bombeo está constituido por una carcasa de bombeo o cuerpo hidráulico y un motor de funcionamiento normalmente eléctrico. El motor eléctrico es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica a través de la interacción de campos magnéticos, generando movimiento en la parte giratoria conectada a la bobina. Entre las variantes principales se encuentran los motores de corriente continua y corriente alterna, incluyendo los motores síncronos y asíncronos, que pueden ser regulados mediante un

variador de frecuencia, donde el factor eficiencia resultar ser de los más importantes.

Para poder clasificar un motor en función a la eficiencia existe nomenclaturas que están dadas por la norma IEC 60034-30-1 para 50 y 60 Hz, estas son: IE1 de eficiencia básica, IE2 de eficiencia alta, IE3 de eficiencia premium y IE4 de eficiencia super premium (Guatemala, 2010).

El arranque del motor se realiza a través de un tablero eléctrico, el cual contará con un sistema de protección y dispositivos en función a la necesidad de operación de este, se precisa los tipos de arranque en tableros eléctrico existentes para aplicación en riego tecnificado:

- i. **Arranque directo:** Es simple y económico, pero puede generar picos de corriente y estrés mecánico en el sistema debido al arranque brusco.
- ii. **Arrancador estrella-triángulo:** Consta de un arrancador especial que reduce la corriente de arranque al conectar las bobinas del motor en estrella, cambiando luego a configuración triángulo una vez en marcha, lo que reduce picos de corriente y desgaste.
- iii. **Arranque con partidor suave:** Utilizando dispositivos de control electrónicos, el arranque suave permite un aumento gradual de la tensión y la corriente suministrada al motor durante el arranque. Esto reduce el estrés en el sistema eléctrico y mecánico, evitando picos de corriente y prolongando la vida útil del motor y la bomba.
- iv. **Arranque mediante variador de frecuencia:** El variador de frecuencia permite controlar la velocidad y el par de arranque del motor al ajustar la frecuencia de la corriente suministrada. Esto ofrece un arranque suave y un control preciso de la velocidad, lo que puede ser beneficioso para adaptarse a diferentes requerimientos de caudal y presión en el sistema de riego, y considerar el principio de ahorro energético. Los variadores suelen tener una eficiencia entre el 95% y 98% (la cual debe sobre los consumos del motor eléctrico), sin embargo, la aplicación que este permite implica una reducción considerable en los consumos energéticos de los motores y en consecuencia una reducción en la facturación de consumo energético.

#### d. Consumo energético del sistema de bombeo

La potencia eléctrica define la cantidad de energía eléctrica consumida para la operación del conjunto variador de frecuencia, motor y bomba. Se define bajo la siguiente ecuación:

$$P = Q * ADT / (102 * Eb * Em * Ev)$$

P = La potencia consumida en Kw.

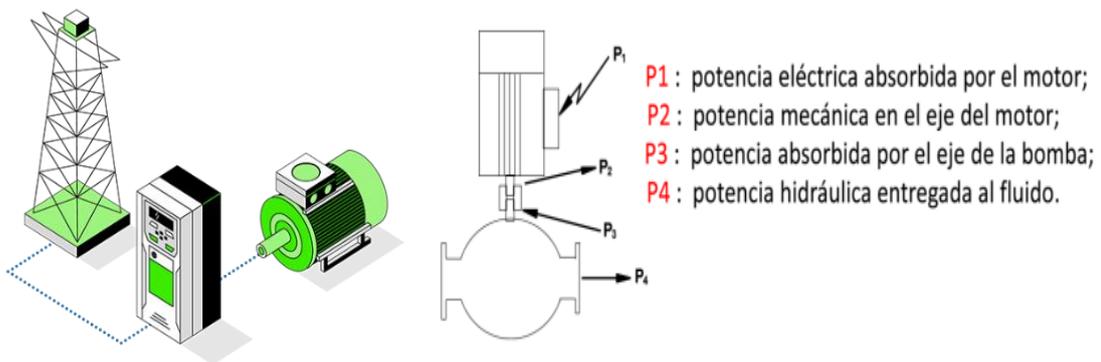
Q = El caudal bombeado en l/s.

ADT = Altura dinámica total en m.c.a.

Eb = Eficiencia de la bomba en decimal.

Em = Eficiencia del motor en decimal

Ev = Eficiencia del variador de frecuencia aplicada sobre el motor



**Figura 2: Potencias del sistema de bombeo**

FUENTE: Secoin (2023) / Grundfos (2015)

#### e. Costos de energía anual

Se presenta a continuación la fórmula para calcular los costos incurridos en la operación de una red energética, para abastecimiento eléctrico.

$$C (S// año) = S// Kw-hr * Kw * Hr/ año$$

Donde:

C (S// año) = Costos de energía anual

S// Kw-hr = Costo del kilowatt por hora

Kw = Potencia de la red Hr /año = Horas de operación por año

### 2.2.2.2. Unidad o estación de filtrado

Para la elección de una unidad de filtrado es preferible el uso de filtros de arena o grava, constituidos en baterías, para retener partículas orgánicas en suspensión, filtros de malla para retener sólidos en suspensión y filtros de anillos para atrapar todo tipo de sólidos en suspensión. Una selección cuidadosa de los filtros contribuirá a mantener la eficiencia del sistema de riego por goteo y garantizar un suministro óptimo de agua para las plantas (Fernández Gómez, 2010). La elección del filtro adecuado depende del origen del agua, el tipo de emisor utilizado y la calidad requerida.

### 2.2.2.3. Válvulas de Control y Seguridad

- **Válvulas de compuerta o mariposas:** Estas válvulas se utilizan para abrir o cerrar completamente el flujo de agua. Son simples y confiables, y generalmente se utilizan en aplicaciones donde se requiere un control binario del flujo.
- **Válvulas de control de presión:** Estas válvulas se utilizan para mantener una presión constante dentro del sistema de riego. Ayudan a proteger los emisores de riego de posibles daños debido a fluctuaciones de presión. Existen aplicaciones como: alivio de presión, anticipadoras de onda, reductoras y sostenedoras de presión.
- **Válvulas de retención:** Estas válvulas permiten que el agua fluya en una dirección y evitan el flujo de retroceso. Son útiles para prevenir el vaciado del sistema cuando la bomba se detiene y proteger el sistema cuando trabaja a cargas estáticas elevadas.
- **Válvulas de solenoide:** Estas válvulas son controladas electrónicamente y se utilizan para abrir o cerrar el flujo de agua de forma automática o remota. Son comunes en sistemas de riego automatizados.
- **Hidrómetro o Medidor de Caudal:** Este instrumento es el encargado de contabilizar el flujo, pueden tener distintos principios de medición: con principio mecánico pueden ser tangenciales o woltmann tipo turbina, medidores con principio electromagnético y medidores con principio ultrasónico.

### 2.2.3. Sistema de Fertirriego

El sistema de fertirriego es aquel que se encarga de inyectar la dosis necesaria de nutrientes al agua de riego que es bombeada desde el cabezal de filtrado hasta la zona de cultivo. En el sector, se emplean varios métodos de fertirrigación, entre los cuales se destacan el método volumétrico y proporcional:

- **Método volumétrico:** consiste en inyectar un volumen predeterminado de fertilizante durante un tiempo establecido. Para esto, se suelen utilizar bombas de inyección directa que alimentan los tanques en la línea de riego.
- **Método proporcional:** implica la inyección de fertilizante a una tasa variable en función del caudal de riego del sistema, puede inyectarse en función de una cantidad de volumen de riego por pulsos, o en distribuciones de tiempo a lo largo del turno. En este caso, es recomendable utilizar inyector venturi, inyector de caudal constante o bombas dosificadoras, que permitan calcular aproximadamente el caudal de inyección del fertilizante según el modelo seleccionado. También se pueden emplear mesas de fertilización para este propósito. Una aplicación avanzada de este método son las mesas de fertilización

Existen numerosos componentes dentro del sistema de fertilización, pero resultan primordial que dentro del sistema exista: medidor de flujo con protocolo de comunicación, válvula de paso (hidráulica o eléctrica) y/o bomba de inyección, si se busca lograr un control automático de la operación.

#### **2.2.4. Red de Distribución**

Estas redes de distribución se encargan de transportar el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los emisores de riego, garantizando una distribución adecuada en toda el área a regar. Los componentes principales de estas redes incluyen tuberías, válvulas, conexiones y accesorios. Principalmente, el criterio de diseño de la red de distribución se basa en la velocidad, usualmente variando entre 0.75 y 3.0 m/s. Es crucial evitar altas velocidades para prevenir el golpe de ariete, que podría dañar los elementos de los dispositivos y las tuberías. Por otro lado, una velocidad inferior o igual a 0.5 m/s conlleva a sedimentaciones en el interior de las tuberías. (Peralta & Simpfendörfer, 2001). Las redes de distribución se caracterizan en:

- **Matriz o línea principal:** Representa el conjunto de tuberías encargadas de transportar las mayores masas de agua, las cuales van bifurcando y tienen como punto de entrega cada una de las válvulas de control de sectores.
- **Válvula de Control:** Esta válvula principalmente son hidráulicas tiene como objetivo el control de paso entre la tubería matriz y la tubería sub matriz o portalíneas, pueden tener el control de apertura y cierre de forma física o remota.

- **Sub matriz o portalíneas:** Representa el conjunto de tuberías encargadas de distribuir el agua en un sector específico, adicional a estas van conectadas cada una de las líneas de riego.

### 2.2.5. Emisores o línea de goteros

Los emisores desempeñan un papel crucial en este sistema, ya que son los componentes de la red encargados de aplicar y distribuir el agua hacia las plantas, al mismo tiempo que permiten un control preciso del uso del agua.

La ecuación del emisor es:

$$q = k * h^x$$

Donde “q” representa el caudal del emisor en litros por hora, “k” denota el coeficiente de descarga, “x” indica el exponente de descarga del emisor, y “h” simboliza la presión hidráulica en metros de columna de agua (m.c.a). La variable "x" asume diferentes valores: 0 para un gotero auto compensado, mientras el valor este más cerca de 1 se tiene una tendencia a flujo laminar y 0.5 para flujo turbulento (Netafim, 2023).

### 2.2.6. Sistema de Automatización

Los controladores de riego son dispositivos utilizados para gestionar y automatizar el sistema de riego, permitiendo controlar la frecuencia, duración y cantidad de agua suministrada a las plantas, como el resto de la operación necesaria para la aplicación del riego. Estos controladores están equipados con un hardware capaz de gobernar salidas y entradas digitales, así como entradas 4-20 mA, lo que les permite que la dinámica de la automatización de un sistema.

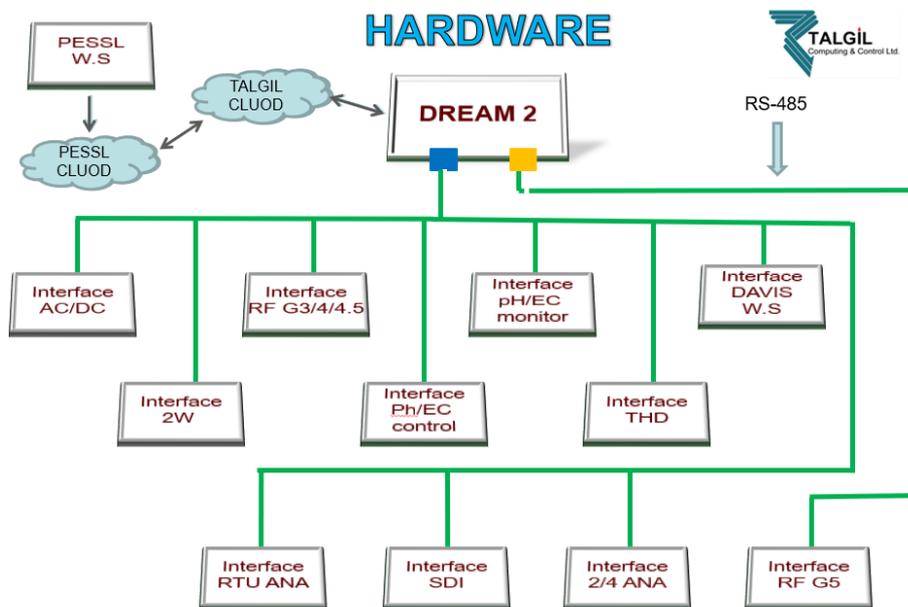
- **Salidas digitales:** son puertos o conectores que permiten activar o desactivar dispositivos externos, como válvulas o bombas, mediante señales digitales. Estas salidas pueden controlar el encendido y apagado de los componentes del sistema de riego, brindando un mayor nivel de automatización y precisión en la entrega del agua.
- **Entradas digitales:** son puertos que permiten recibir señales o información desde sensores o dispositivos externos al controlador de riego. Estas entradas pueden utilizarse para monitorear caudales, activación de flujo, activación de presión, principalmente cualquier sensor con contacto seco que permita utilizarse dentro del sistema de riego. Estos sensores solo poseen dos estados de comunicación por ende

no están catalogados dentro de una señal analógica

- **Entradas 4-20 mA:** estos puertos se utilizan para recibir señales analógicas proporcionadas por sensores de medición, como sensores de presión, caudal o nivel de agua.

Dentro del mundo de controladores de riego, destaca el sistema de control de riego DREAM 2 es la segunda generación de un controlado efectivo en su tarea. DREAM 2 ahora está equipado con un procesador más potente y una capacidad de memoria mucho mayor. Además, ofrece comunicación a través de internet, respaldada por un potente servidor de datos y un software amigable. Los usuarios y técnicos ahora pueden acceder a los controladores desde cualquier lugar y en cualquier momento.

- Controlador de riego capaz de monitorear y operar sistema de riego complejos, abarcando desde las bombas de suministro de agua hasta los filtros, inyectores de fertilizantes, válvula primaria, medidores de agua/fertilizantes, sensores, entre otros componentes.
- Habilitado para uso online. Múltiples usuarios pueden operar y programar el DREAM 2 usando el pc software Console y la aplicación Spot desde el smartphone.
- Cientos de programas, líneas y válvulas de riego pueden ser definidas.
- Notificaciones de eventos y alarmas.



**Figura 3: Hardware DREAM 2**

- **Analizador de Redes Eléctricas:**

Los analizadores de redes eléctricas se diseñan para su empleo en diversos sectores industriales que demandan energía para operaciones. Su versatilidad abarca un amplio espectro de mediciones, incluyendo corrientes, voltaje, consumos y potencias, junto con el análisis de armónicos individuales en corriente y tensión para evaluar la calidad de estas variables. Estos dispositivos almacenan datos en una memoria interna y son capaces de exportar o mostrar parámetros eléctricos mediante protocolos de comunicación con controladores o en plataformas de navegadores web.



**Figura 4: Analizador de redes comercial**

### 2.3. Cultivo de palto

El aguacate o palto (*Persea americana* Mill.) es originario de América, con sus raíces en las regiones altas de México y Centroamérica, extendiéndose hacia Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. Pertenece al género *Persea* y se clasifica en tres variedades botánicas o razas: Mexicana, Antillana y Guatemalteca.

- **Variedad Hass:** Conocida en muchas regiones del mundo como aguacate Hass, variedad del palto originada a partir de la semilla de raza guatemalteca en huerto del Sr. R. Hass California en 1926, patentada en 1935 e introducida globalmente en el mercado en 1960; variedad más cultivada a nivel mundial (Barrientos, 2000, p. 21).

Según Prohass, el Perú cuenta con 60,091 hectáreas de palta Hass que se registraron en 2022, lo que implica un crecimiento de 19% con relación al área sembrada un año antes. Existe una ligera tendencia a detener las inversiones en plantaciones nuevas, sin embargo, un gran número de ese total de hectáreas (19%) son plantas jóvenes y en los próximos años seguirá

el crecimiento de los volúmenes exportados.

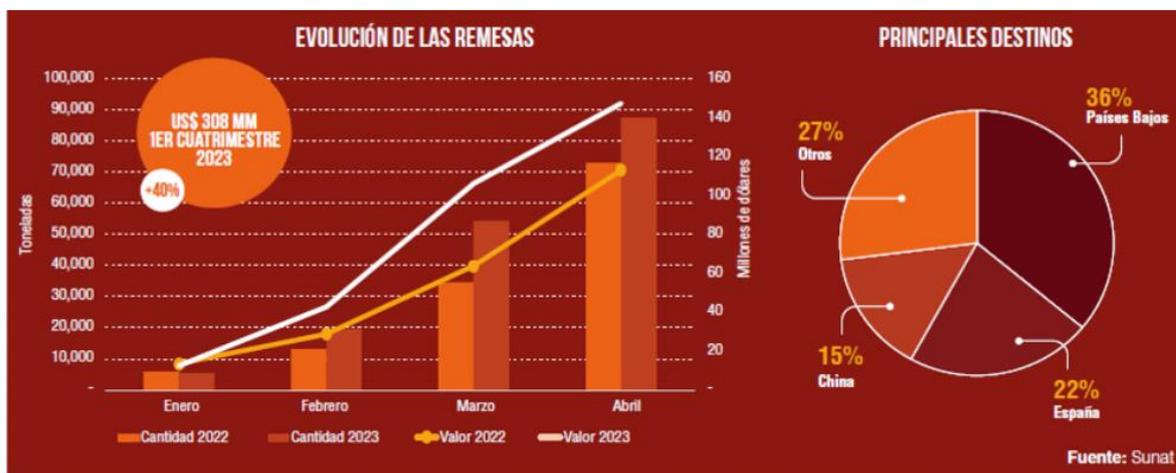


Figura 5: Dinámica de las exportaciones peruanas de palta

### 2.3.1. Manejo del riego y fertilización del cultivo

#### a. Calidad de agua y suelo para riego

Respecto a la calidad del agua de riego, influye en la elección del método de riego, la gestión del sistema y la selección del cultivo. Se evalúa principalmente por la salinidad, sodicidad y toxicidad, resaltando el control de parámetros como dureza del agua, conductividad eléctrica y pH. Estos aspectos son esenciales para optimizar la productividad agrícola y minimizar impactos negativos en la utilización de aguas de riego.

Con relación al suelo, este se configura como un sistema complejo que involucra partículas sólidas (minerales y orgánicas), solución del suelo (agua en solutos) y aire. Es crucial comprender las variables que influyen en sus propiedades, especialmente en lo referente a la retención y absorción del agua de riego (variaciones del contenido de humedad), influenciado por la textura, estructura, densidad aparente, porosidad y velocidad de infiltración.

El pH del suelo y del agua para fertirriego afecta el comportamiento de los nutrientes del suelo. Y con ello el uso y eficiencia de fertilizantes foliares y agroquímicos utilizados en el palto.

- **Valores de pH del agua de riego en Palto:**

- **Rango 6-7:** Agua de óptima calidad para fertirriego y uso foliar
- **Rango 7-7,5:** Agua de Calidad Intermedia. Posibles precipitaciones. Es necesario conocer el nivel de Bicarbonatos.
- **Rango 7,5 – 8:** Agua de Calidad Regular a Baja. Problemas crecientes de Bicarbonatos y Precipitaciones.
- **Rango superior a 8:** Agua de muy baja Calidad. Problemas severos de precipitaciones y pérdida de eficiencia de fertilizantes y agroquímicos. Se deberá acidificar y controlar.

Referente a la conductividad eléctrica y su relación con la palta, la cual es muy sensible a este parámetro. Una conductividad del agua de riego por encima de 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1.2 Ds/m) y más de 35 ppm de cloruros puede ser problemática y favorecer la aparición quemaduras en los bordes y puntas de las hojas, hasta causar una defoliación, pudiendo perder más del 20% de la producción.

#### **b. Programación de riego para el palto**

Según Red Agrícola, una adecuada programación de riego requiere, que los grupos de manejo conformada por sectores o turnos de riego sean unidades de suelo homogéneas, en cuanto a su textura, estructura, profundidad y porcentaje de piedra, de manera que el agua fácilmente aprovechable no varíe en forma importante.

El cultivo de palta tiene características de requerimientos hídricos variables en función al crecimiento de la planta hasta su primer ciclo de producción de fruto. En el riego localizado en frutales, hasta hace algunos años, los programas de riego sólo consideraban la alta frecuencia en la aplicación del agua de riego, sin considerar el tipo de suelo. Actualmente, la experiencia ha mostrado que los riegos de alta frecuencia son más apropiados para aquellos suelos de baja capacidad de retención de humedad, de texturas medias a gruesas, de una alta macroporosidad y delgados, en cambio para suelos pesados es necesario generar intervalos de mayor tiempo entre riegos, de no ser así puede significar problemas desde el punto de vista de la aireación del suelo, desarrollo de ciertas enfermedades y una escasa área de suelo mojada.

Respecto a la fertilización, Agro Banco recomienda que las relaciones Nitrógeno- Fósforo- Potasio (N-P-K) sean variables conforme la planta crece hasta entrar en producción y los volúmenes de cosecha se van incrementando año tras año. En primeros 2 a 4 años, antes de que la planta entre en producción, la relación Nitrógeno- Fósforo- Potasio es 1:1:1 es la más recomendable. Se busca a la planta a desarrollar un vigoroso sistema radicular y una copa frondosa. Cuando la planta entra en producción, la relación cambia de la siguiente manera: 1:0.2:1 y aún 1:0.2:1.5. El Palto es un cultivo muy exigente en potasio, en plantaciones jóvenes de 1 a 4 años la cantidad de óxido de potasio (K<sub>2</sub>O), va variando de 100 a 450gramos por año, cuando la planta va entrando en producción y hasta llegar a su máxima producción es probable que el elemento pase de los 1000g por planta/año.

#### **2.4. Software de Diseño IRRICAD**

IRRICAD proporciona herramientas avanzadas que permiten a los profesionales del diseño de riego mejorar la planificación, eficiencia y gestión de sistemas de riego, contribuyendo así a un uso más sostenible y eficiente del agua en la agricultura

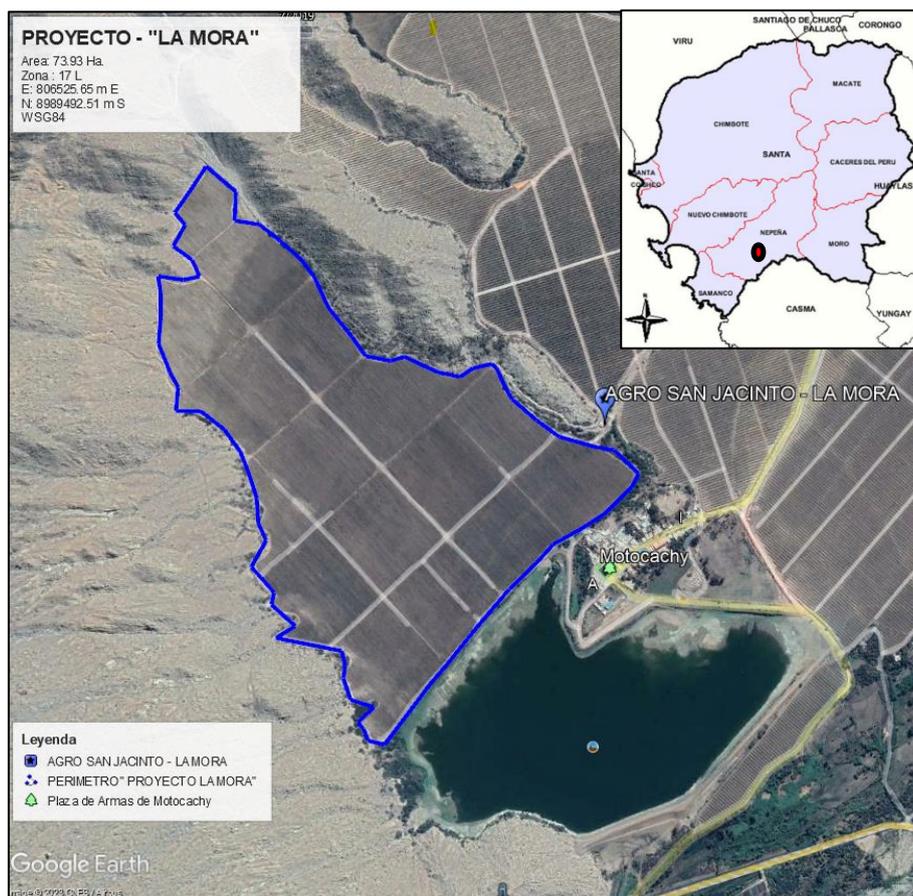
- **Análisis preciso de la distribución del agua:** IRRICAD facilita evaluaciones detalladas considerando topografía, textura del suelo y necesidades de los cultivos, mejorando la planificación del sistema de riego.
- **Optimización de la eficiencia hídrica:** Permite ajustes precisos en cantidad y frecuencia de riego, considerando datos climáticos, demandas de cultivos y capacidad de los componentes, mejorando así la eficiencia del sistema.
- **Reducción de costos operativos:** Identifica áreas con pérdidas de agua innecesarias, optimizando el uso de recursos hídricos y energéticos, reduciendo costos asociados con mantenimiento y reparaciones.
- **Visualización 3D para comprensión integral:** La capacidad tridimensional de IRRICAD facilita la identificación de problemas y ajustes previos a la implementación, mejorando la eficacia y confiabilidad del sistema.
- **Generación automática de informes:** Simplifica la documentación al generar informes detallados sobre el diseño del sistema, ahorrando tiempo y mejorando la consistencia de la documentación técnica.

### III. DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 3.1. Información básica del proyecto

##### 3.1.1. Ubicación

El proyecto se encuentra ubicado en el Fundo “La Mora”, en el distrito de Nepeña, provincia de Santa, departamento de Áncash, Perú y comprende un de área neta de 73.93 ha.



**Figura 6: Ubicación del fundo “La Mora”**

### **3.1.2. Topografía**

El terreno presenta una diversidad de formas, una pendiente constante positiva de forma transversal, incluyendo áreas semiplanas en las zonas agrícolas, así como la presencia de formaciones rocosas en menor cantidad. Para obtener información detallada sobre la topografía, se llevó a cabo un levantamiento utilizando un GPS diferencial y el software CAD.

### **3.1.3. Clima**

En la región de Nepeña, los períodos estivales se caracterizan por ser breves, calurosos, con alta humedad y frecuentes nubes. Por otro lado, los inviernos son prolongados, agradables y presentan parcial nubosidad, mientras que la sequedad se mantiene a lo largo de todo el año. A lo largo de las estaciones, las temperaturas generalmente oscilan entre los 17 °C y 26 °C, siendo poco común que descendan por debajo de los 15 °C o superen los 28 °C.

### **3.1.4. Suelo**

En la zona de Nepeña, las áreas dedicadas a la agricultura, es común hallar suelos con características de franco, franco arenoso o franco arcilloso. Estos suelos son reconocidos por su fertilidad y su idoneidad para el cultivo. Además, exhiben una destacada habilidad para retener agua y nutrientes, lo cual resulta beneficioso para el desarrollo de los cultivos. Para mejorar la estructura de suelo, el usuario final realizó un mejoramiento de suelo en la zona donde se ubicará el mayor desarrollo radicular del cultivo.

### **3.1.5. Plano topográfico**

El plano topográfico proporcionó el perímetro delimitador a utilizar en el proyecto, la lotización o sectorización de parcelas dentro del terreno, consensuada con el usuario final, junto con las líneas de nivel, la ubicación de la fuente de agua y el punto de conexión del sistema, además de otros detalles relevantes a tener en cuenta para todas las fases de diseño.

### **3.1.6. Oferta de Agua**

Existe un sistema de bombeo sumergible a través de un pozo, interconectado al reservorio Motocachy, la cual ingresa a una primera estructura que cumple la función de sedimentador y punto de aplicaciones para el mejoramiento de los parámetros de la calidad

de agua, luego por vasos comunicantes abastece a una cámara húmeda con control de nivel de llenado, donde se conectará el sistema de bombeo para riego de palta, por otra parte se complementa con una derivación proveniente del proyecto especial Chinecas. La oferta diaria para la zona es de 150 l/s por 16 horas efectiva en épocas de estiaje, logrando obtener una oferta máxima de 8,640 m<sup>3</sup>/día, donde inicialmente trabajará este primer sistema de riego y luego se implementarán un mayor hectareaje.

### **3.2. Software de procesamiento**

Se utilizarán los siguientes programas:

- **IRRICAD:** diseño hidráulico y modelamiento de topografía
- **Bricscad:** elaboración de planificación y modelamiento de planos
- **Dream Console:** sistema de control para el diseño de la automatización del proyecto.
- **Microsoft Pack:** elaboración del análisis energético, cálculos y redacción del proyecto.
- **Cropwat 8.0:** cálculo de las necesidades hídricas

### 3.3. Metodología

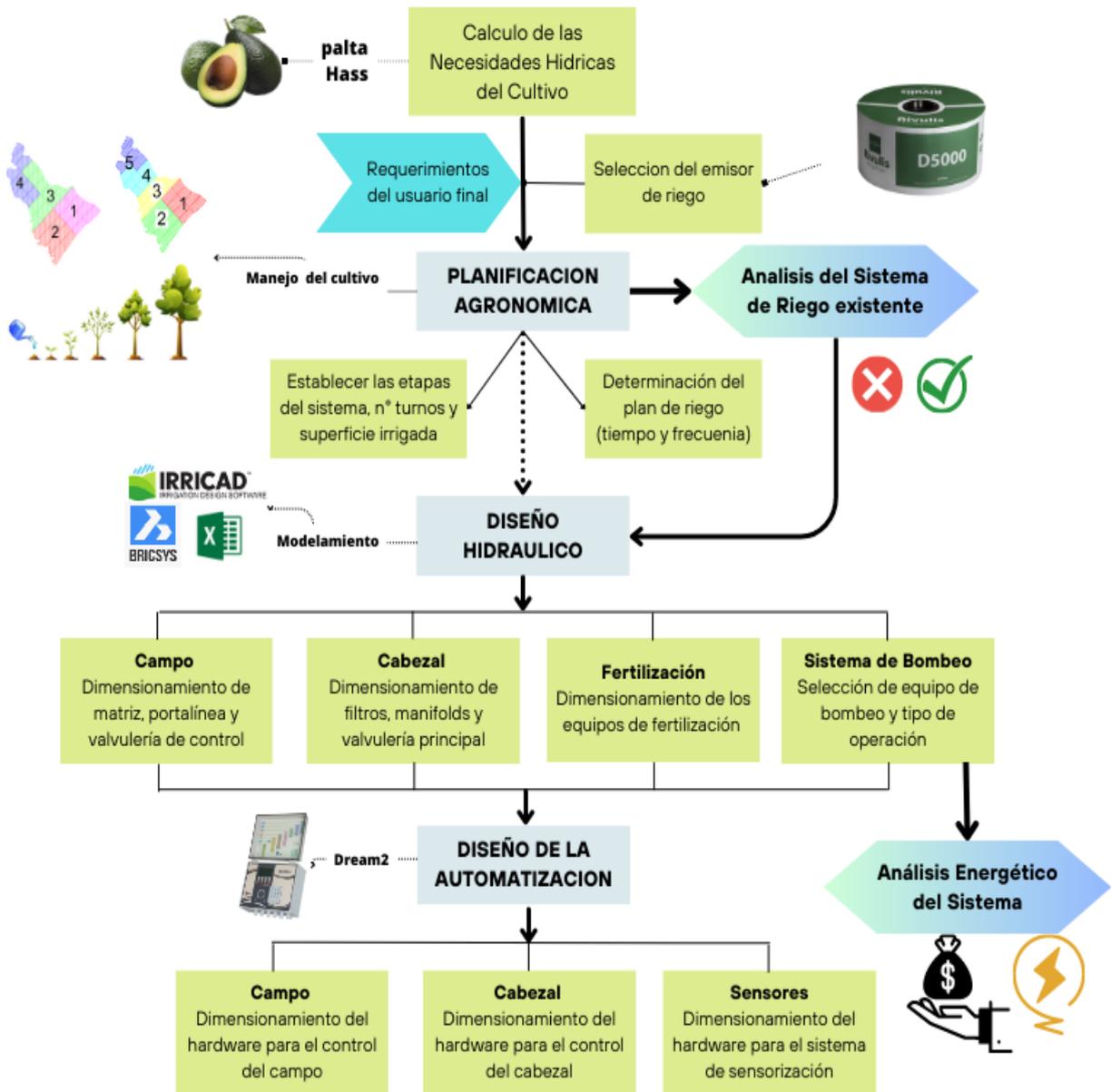


Figura 7: Diagrama de flujo para la metodología

#### 3.3.1. Diseño Agronómico

Para lograr el objetivo de la planificación agronómica, el usuario final del sistema de riego, en función a su experiencia bajo el manejo agroindustrial del cultivo de palta, y referenciando datos característicos de agua, clima y suelo, realizó un balance hídrico y diseño agronómico. Luego, cálculo el requerimiento máximo para el sistema por unidad de hectárea producida, referenciando la lámina a reponer diaria (mm/día), valor utilizado para el equipamiento del sistema de riego. En contraste, se realizó la evaluación de las

necesidades hídricas referenciadas según la zona de impacto del proyecto y el factor de corrección (eficiencia hídrica) para el objetivo de aplicación de riego del usuario final.

**a. Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>)**

Se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo (ET<sub>o</sub>) a través de la ecuación de Penman Monteith, a través del software CROPWAT 8.0. Esta ecuación permite estimar ET<sub>o</sub> sobre la base de datos diarios de temperatura máxima y mínima, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento que son los que más influyen sobre el consumo de agua de las plantas, para ello el procesamiento se utilizaron los datos meteorológicos de la estación más cercana: San Jacinto de Nepeña.

**b. Cálculo de la Evapotranspiración de un Cultivo (ET<sub>c</sub>)**

Se realizó el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>), con la finalidad de sustentar los requerimientos del diseño para el cultivo de palto en la zona de Nepeña, sin embargo, la lámina brindada para el diseño presente es solicitud del usuario final del sistema de riego, resultando en 6.00 mm/día como demanda máxima teórica. Para realizar el cálculo de la ET<sub>c</sub> es necesario previamente conocer el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>). Según (Dorado Guerra et al,2017) establece valores promedio para el cultivo de palto en 03 etapas en base a diferentes zonas de aplicación.

**Tabla 1: Valores referenciales de K<sub>c</sub> para el cultivo de palto**

Procedencia de la Investigación	K <sub>c</sub> Inicial	K <sub>c</sub> Intermedio	K <sub>c</sub> Final
FAO, 2006	0.6	0.85	0.75
LIMA, 2015		1.125	
ACONCAGUA, 2007		0.72	

**c. Determinación de la línea de goteo**

Para planificar la nueva operación sistema se empleó un gotero auto compensado que requerirá baja presión. El lateral que se propondrá será el modelo D5000 de clase 15 MIL en 16mm de diámetro, el cual estará diseñado con un amplio laberinto, una piscina de salida de gran capacidad y filtros de entrada de múltiples zonas. Cada componente del Rivulis D5000 PC será maximizado para lograr un rendimiento excepcional y una resistencia sobresaliente frente a posibles obstrucciones (Rivulis, 2021).

Se espera obtener un valor de uniformidad promedio superior al 90%, considerando que se trata de un sistema de riego tecnificado por goteo. Es importante mencionar que la selección se debe a que el usuario final del sistema de riego tiene experiencia en otros campos con el mismo cultivo y en condiciones similares, donde obtiene buenos resultados con el lateral de riego seleccionado.

#### **d. Determinación de la Planificación Agronómica**

Debido al manejo del cultivo propuesto, se recibieron los parámetros de siembra del usuario final y se definió implementar etapas del sistema, principalmente por la cantidad de laterales de riego por hilera de planta, lo cual afecta principalmente a la precipitación (mm/hr) o capacidad de riego en el sistema y en las necesidades del cultivo. Por ello, la planificación se divide en etapa inicial (2 líneas de goteo) y etapa final (3 líneas de goteo) con el emisor seleccionado D5000 de Rivulis. Como resultado, se obtuvo para ambas etapas la determinación del tiempo de riego requerido, a fin de satisfacer la demanda hídrica del usuario final de manera óptima.

Para continuar con la planificación de ambas etapas y en base a experiencias previas, se revisó el horario de disponibilidad energética, la zonificación de sectores riego y el agrupamiento de estos en función a que tengan condiciones similares y permita un diseño más factible en operación, gracias a ello se logró calcular el número de turnos, la superficie de cada uno, y para ambas etapas del sistema: la totalidad del tiempo de riego para un ciclo en todo el terreno y la frecuencia de tiempo con que se realizara este ciclo. Finalmente, segmentado en etapas, y a través de la distribución de áreas por turno se determinó un caudal preliminar, así mismo se estimó la demanda diaria de recurso hídrico para cada uno de los turnos y de todo el sistema en un día de operación o ciclo de riego.

#### **3.3.2. Análisis del Sistema de Riego existente**

El rediseño del sistema de riego en estudio se efectuó sobre un sistema existente diseñado para cultivo de caña sin operar 1 año antes de la intervención, sin embargo, se encontraban instalados los siguientes componentes: tuberías portalíneas, arcos de riego, tuberías matrices y un cabezal de riego, compuesto principalmente por una bomba horizontal y un filtro de mallas. Esta información se encontraba consolidada en un plano de instalación entregado por el usuario final, por consiguiente, se procedió a realizar el análisis de los elementos que

podrían reutilizarse para cubrir los nuevos requerimientos.

### 3.3.3. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico abarca la determinación de las dimensiones de tuberías, válvulas y dispositivos de riego en parcelas. Para dimensionar la red de tuberías y dispositivos de riego en parcelas, el presente trabajo utiliza el software IRRICAD. Este programa emplea iteraciones basadas en las fórmulas hidráulicas como la de Hazen – Williams para eficientemente calcular los diámetros de las tuberías

$$hf = \left( \frac{10.679}{C^{1.852}} \right) * \left( \frac{L}{D^{4.87}} \right) * Q^{1.852}$$

Donde:

hf = pérdida de carga (m)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro interno (m)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

Los valores de los coeficientes “C” hacen referencia a la rugosidad interna del material conductor del fluido, usualmente es un valor entregado por el fabricante.

Esto se realiza en función de una base de datos previamente cargada en el software que incluye información sobre diámetros internos y valores de rugosidad, también pueden añadirse el costo de la tubería para considerarlo dentro de un modelo de cálculo, entre otros parámetros que puedan complementar a un mejor análisis y selección.

El enfoque de diseño elegido variará según la programación, entre los cuales se encuentran: un diseño basado en la velocidad, que da prioridad al de la mayor velocidad permitida, basada en los criterios del usuario del software; y otro diseño que enfatiza el consumo energético reducido. A continuación, se detallan los modelos de diseño para el dimensionamiento de las tuberías:

- **Diseño por “LP”:** El dimensionamiento de la tubería se lleva a cabo utilizando una optimización de programación lineal (LP) junto con el método de gradiente hidráulico. Los diámetros y longitudes de las tuberías se optimizan en función del costo de las tuberías y consumo energético. Las redes de tuberías se resuelven

utilizando una combinación de algoritmo lineal y Newton Raphson. La fricción de la tubería se calcula utilizando Hazen-Williams para líneas principales y secundarias con Darcy-Weisbach o Diskin para cálculos de cinta de goteo (IRRICAD,2013).

- **Diseño por Velocidad:** Para el diseño por velocidad, las tuberías se dimensionan según la velocidad, pero la presión en la válvula de control es calculada hasta alcanzar valores cercanos al objetivo requerido. Debido a que este método de dimensionamiento de tuberías se basa en el flujo, no hay garantía de que se cumplirán las presiones requeridas en las salidas. Por ello, se deberá realizar la corrección ajustando los parámetros de velocidad, o simplemente cambiando el tamaño de la tubería según sea necesario para cumplir con los requisitos de presión en los puntos de demanda o válvulas de riego. Se recomienda utilizar el criterio de velocidad al dimensionar tuberías con loops o bucles cerrados, para realizar cambios sobre líneas existentes, o cuando el diseño “LP” no logra encontrar una respuesta (IRRICAD,2013).

Es crucial resaltar que lograr un equilibrio entre ambos métodos depende de las capacidades del diseñador y su dominio de la herramienta, quien debe ingresar la información inicial y los parámetros agronómicos al programa para que se consideren durante el procesamiento. Los principales criterios que se requiere para hacer el dimensionamiento del sistema mediante el diseño hidráulico a través del software son los siguientes:

- **“Maximum zone velocity”:** es la máxima velocidad permitida en las tuberías de portallínea.
- **“Maximum mainline velocity”:** es la máxima velocidad permitida en las tuberías de matriz.
- **“Minimum lateral length”:** es la distancia mínima lateral de riego.

#### **3.3.3.1. Dimensionamiento de tubería portallíneas**

El rediseño abarca en su totalidad un cambio de portallíneas, se utilizó el software IRRICAD para el cálculo. Se esperan tener resultados de un mínimo de 03 diámetros distintos para un bloque de portallíneas, de tal forma que se distribuya de manera telescópica en función a la disminución de caudal por la ruta de abastecimiento a las mangueras de riego.

Según el análisis realizado al sistema existente, las portallíneas deben cambiarse en su totalidad. Al ser una nueva tubería, trabajaremos con la opción de “LP design” por

recomendación del fabricante, ya que se presenta un modelo de cálculo más efectivo, sin embargo, requiere la correcta interpretación de los resultados de presión y velocidad de las tuberías.

El material seleccionado para las tuberías fue PVC, que rige bajo la norma NTP-ISO 1452, con sistema de unión UF (unión flexible) por encima de los diámetros de 63mm, y para tuberías menores en SP (simple presión).

### 3.3.3.2. Dimensionamiento de válvulas hidráulicas

Se realizó el cambio total de válvulas del sistema existente, con ellos el diseño de las nuevas válvulas hidráulicas se ejecutó vía software IRRICAD, en función a la cantidad de flujo dentro del lote o sector de riego que domina cada una de las válvulas hidráulicas de cabecera. Como información de entrada tenemos la constante de variación de flujo (Kv) indicado por el fabricante. Este valor Kv se utilizó para calcular los valores de pérdida de carga de la válvula ( $\Delta P$ ) en un rango conocido (0.75 m.c.a. -5 m.c.a.) y los valores de caudal para cada escenario, considerando que se aplican a todos los distintos diámetros de válvula. La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{1/\Delta P}}$$

Donde:

Q=Rango de Flujo (m<sup>3</sup>/h),

$\Delta P$ =Pérdida de presión a lo largo de la válvula (bar), cuando está totalmente abierta

Sin embargo, para realizar la configuración de las válvulas hidráulicas en la base de datos del software IRRICAD es necesario introducir los valores ( $\Delta P$  - Q) calculados a través del Kv de la válvula, resultando ser los datos de entrada para la obtención de los de K y C, en la siguiente ecuación, la cual utiliza el software para el dimensionamiento:

$$H = K(Q)^n + C$$

Siendo:

H: Pérdida de carga expresado en m.c.a.

K: Constante de Ecuación de Pérdida de Carga

n: Exponente de Ecuación de Perdida de Cara

Q: Caudal expresado en m<sup>3</sup>/h

C: Intercepto de Ecuación de Perdida de Carga

### **3.3.3.3. Dimensionamiento y verificación de tubería matriz**

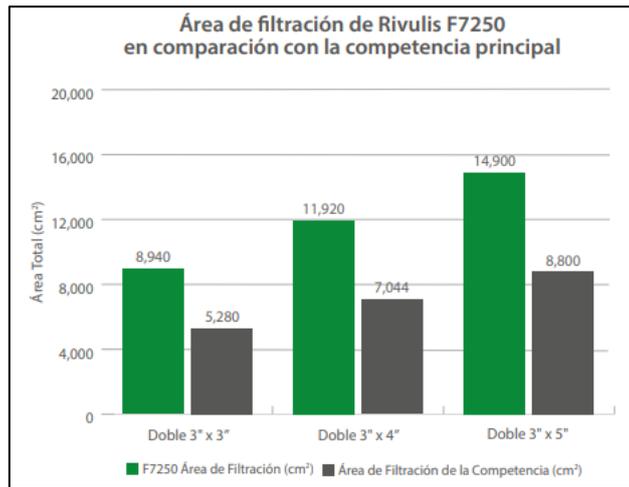
El análisis del sistema existente indicó que las tuberías matrices pueden reutilizarse, únicamente se analizaron las zonas donde requieran realizarse algún cambio de diámetro, para mejorar la velocidad sin sobrepasar el parámetro establecido (2.5 m/s) principalmente para la etapa final del sistema, la cual requiere de caudales más elevados. Para ello, se procedió a cargar la información dentro del software, incluyendo el trazo y diámetros de la línea principal o tubería matriz existente en el sistema de riego. Adicionalmente, es necesario ingresar la distribución del turnado obtenido en planificación agronómica para dentro del software para que este pueda interpretar el flujo en las tuberías por turnado de operación.

### **3.3.3.4. Cálculo de la presión de salida a campo**

Con el apoyo del software IRRICAD, una vez generado el diseño de portalíneas, válvulas y matrices, se realizó el análisis de identificación de parcelas críticas. En conjunto, se calculó la presión de operación que se entregará en el inicio de la matriz a fin de que la válvula más crítica de todo el sistema pueda tener la presión mínima suficiente para que opere de forma óptima durante el riego.

### **3.3.3.5. Dimensionamiento de la estación de filtrado, manifold de control y cálculos de Altura Dinámica Total (ADT)**

Se procedió a realizar el dimensionamiento del sistema de filtrado, para el cual se tiene como selección previa los filtros de anillos Rivulis 7250, principalmente por experiencia del usuario final, sin embargo, se resalta que este tipo de filtros cuentan con un diseño innovador en la actualidad, el cual le permite proporcionar un área de filtración mayor, en comparación con sus competidores directos. Para ubicar el modelo específico, se utilizó la gráfica de caudales contra la pérdida de carga, según la cantidad de cuerpos del filtro.



**Figura 8: Área de Filtración modelo F7250**

FUENTE: Rivulis

**a. Diseño de la tubería succión de succión y descarga en el manifold de cabezal**

La Figura 9 muestra los rangos de velocidad según Hydraulic Institute, la aplicación es válida al ser un equipo independiente en la toma y tener carga positiva en la succión por lo cual se realizó el cálculo del diámetro de la tubería pasante.

Pump Flow Range Q, l/s	Recommended Inlet Bell Design Velocity, m/s	Acceptable Velocity Range, m/s
< 315	V = 1.7	$0.6 \leq V \leq 2.7$
$\geq 315$ < 1260	V = 1.7	$0.9 \leq V \leq 2.4$
$\geq 1260$	V = 1.7	$1.2 \leq V \leq 2.1$

**Figura 9: Recomendación de velocidades en succión**

Por otro lado, se procedió con la selección del diámetro de la tubería de descarga en función a las buenas prácticas del dimensionamiento hidráulico, para el caso se definió que la velocidad no exceda el valor de 3.5 m/s en la caudal de mayor. Para calcular el dimensionamiento del manifold de descarga y succión se utilizó la ecuación de Hazen-Williams descrita anteriormente, con la finalidad de entender las pérdidas asociadas.

**b. Dimensionamiento de Valvulería principal en el manifold de cabezal**

La experiencia con sistema de riego tecnificado permitió definir los principales componentes

de un manifold de control en un cabezal de riego, se detallan:

- **Medidor de Caudal o Hidrómetro:** Para realizar la selección del medidor de caudal, se identificó dentro del catálogo del fabricante la gráfica de caudales y perdidas de carga asociadas, también consideró que este pueda tener comunicación con el controlador de riego.
- **Válvulas de Alivio:** Se consideró dentro la selección este tipo de válvula, ya que resguarda las tuberías o equipos de la red hidráulica (principalmente el sistema de bombeo), liberando flujo de agua a una zona permitida de descarga, aliviando las presiones del sistema. Para dimensionar el diámetro de válvula, el fabricante recomienda no exceder valores de 6.5 m/s aguas arriba de la válvula.
- **Válvulas de Corte y Retención:** El diseño consideró utilizar válvulas de corte y retención, las cuales deben ser del mismo diámetro del manifold de descarga previamente diseñado.

Como paso final se obtendrá el valor de Altura Dinámica Total (ADT) en todo sistema, esto nos permite continuar a la selección de la bomba.

### 3.3.3.6. Selección de la bomba de riego y tipo de operación

Para realizar la selección de la bomba, se calcularon los puntos de requerimiento de presión y caudal, para cada turno y etapa del sistema, se consideró un factor adicional de seguridad del 5 %, sobre los valores de caudal de los turnos, de la misma forma se adicionó al sistema el requerimiento de caudal por retro lavado del filtro, donde el equipo de bombeo debe seguir ofertando el mismo valor de presión. Respecto al ADT, ya existen consideraciones en secciones anteriores que garantizan una operación por encima de la presión crítica en todo el sistema.

Otro punto a considerar, para selección del equipo de bombeo es el NPSH. Para ello, se utilizaron las siguientes ecuaciones para conocer el NPSH disponible, y posteriormente compararlo con el NPSH requerido del equipo de bombeo, valor entregado por el fabricante.

$$(NPSH)_d = P_a + H_{suc} - H_f - P_v$$

Donde:

$(NPSH)_d$  = Altura Neta Positiva de Succión Disponible (m.c.a.)

$P_a$  = Presión atmosférica (m.c.a.)

Hsuc = Carga en la succión sobre el eje de la bomba (m.c.a.)

Hf= Perdidas de carga en succión (m.c.a.)

Pv= Presión de vapor (m.c.a.)

$$(NPSH)d - (NPSH)r \geq 0.75$$

Donde:

NPSHd = Altura Neta Positiva de Succión Disponible (m.c.a.)

NPSHr = Altura Neta Positiva de Succión Requerida (m.c.a.)

### **a. Identificación de alternativas de selección del equipo de bombeo**

En este punto se procedió con la identificación de todos los escenarios posibles en sistemas de bombeo que puedan cumplir los puntos de operación críticos del sistema. El usuario final solicitó consideraciones especiales sobre el producto a emplearse, las cuales se definieron en 02 posibles escenarios, luego se realizó el análisis de los principales parámetros de operación, consumo energético e inversión económica para lograr la selección, para dicho desarrollo se utilizó el catálogo del fabricante, principalmente la información de las curvas características de las bombas Hidrostral ISO-DIN.

### **b. Estimación de la operación con Variador de Frecuencia y Análisis Energético para el sistema de bombeo:**

Se reconoce comúnmente que, para un óptimo ahorro energético, se considera el uso de VDF, que varía la velocidad del motor para adaptarse a distintos puntos de operación definidos por los requerimientos iniciales de caudal y altura manométrica total. En esta sección se han determinado las velocidades mínimas de operación. Dentro de las leyes de afinidad, podemos obtener la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$
$$\frac{ADT_1}{ADT_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

De estas ecuaciones podemos despejar el factor N1/N2 obteniendo:

$$\frac{ADT_1}{ADT_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

Dado un punto operativo específico, como  $ADT_2$  y  $Q_2$ , la fórmula anterior genera una ecuación que describe una curva en forma de parábola. Esta curva representa todos los puntos en el espacio que comparten el mismo nivel de eficiencia

$$ADT_1 = K(Q_1)^2$$

Estas curvas, que interceptan tanto el origen de coordenadas como el punto de referencia definido por  $ADT_2$  y  $Q_2$ , son reconocidas en términos académicos como "parábolas de isoeficiencia". Esto indica que existe un constante de isoeficiencia "K", para cada uno de los valores de eficiencia de la bomba, la cual expresa que, según la variación de velocidad de giro del motor de bombeo, se puede mantener la misma eficiencia durante toda la operación.

Para el siguiente procedimiento, según los análisis (Guo et al, 2020), define que en la mayoría de las bombas centrifugas, donde la nueva velocidad de operación es mayor al 66.7% de la velocidad total, es común aceptar que la eficiencia de la bomba es la misma tanto para el punto reducido como para el de velocidad total, aplicado a esta característica del sistema de riego. Este concepto estableció el límite de rpm mínimas en operación, con apoyo del fabricante quien recomienda que la frecuencia no trabaje en rango menor a 40 Hz.

Pasos para el cálculo de las velocidades por turno:

- 1- Se identificó dentro de las curvas el rodete seleccionado, se realizó un escalamiento de los ejes para una mayor precisión de la extracción de datos a través del AutoCAD en las curvas características de la bomba, con ello se logró establecer un primer cuadro con la cantidad al menos 10 puntos a fin de entender el comportamiento por el equipo de bombeo en caudal, altura, eficiencia de la bomba y NPSH.
- 2- Se procedió a obtener las ecuaciones que modelan las curvas características de diseño de las bombas centrifugas para el impulsor de diámetro 415mm. Para este caso se considera fundamental obtener en función del caudal: la presión, potencia y eficiencia de la bomba. En este punto añadiremos la constante de factor "K", que se define la posible combinación de puntos (Q, H) para el rendimiento de los puntos conocidos a la velocidad total.

- 3- Se realizó las estimaciones de velocidad óptima para cada turno, primero estableciendo la región de operación permitida para garantizar las mejores eficiencias del producto, luego se aplicó las leyes de afinidad para caudal y presión, obteniendo cuadros base de entrada con frecuencias de operación a 40 Hz, 45 Hz, 50 Hz y 55 Hz. Esto se contrasta con el punto de máxima eficiencia en operación a velocidad total, donde se obtuvo el factor “K” para la ecuación de isoeficiencia, para ello es necesario ingresar el caudal del turno y obtener la presión de salida en la máxima eficiencia de la bomba. Con ello consideran conocidos los caudales en velocidad total de operación, el factor “K” de la ecuación y el caudal objetivo, podemos aplicar la ecuación de ley de afinidad por caudal y obtener la estimación de la velocidad para ese punto y la presión ofertada.
- 4- Se continuó realizando iteraciones respectivas con el paso anterior hasta ubicar la mejor velocidad para cada turno de operación. Se probaron diferentes factores K en rendimiento hasta ajustar el punto a la menor velocidad permitida buscando como objetivo la reducción del consumo energético y considerando la mejor eficiencia posible.
- 5- Conocidas las velocidades de operación para cada turno y cada etapa del sistema, se procedió a realizar la ecuación de relación entre la presión y caudal para cada velocidad encontrada, a fin de calcular los ADT correspondientes la operación estándar del sistema y con retrolavado.
- 6- Se aplicó las leyes de afinidad, conocidos los puntos de caudal y ADT de cada turno y la velocidad de operación, para obtener el comportamiento de estos a 60 Hz, luego se utilizó la ecuación de la potencia vs caudal y eficiencia vs caudal, calculadas inicialmente para la bomba a velocidad total, de aquí se obtiene la eficiencia del punto en la velocidad reducida, considerándose la misma por no reducirse del 66.7% y la potencia operando en el punto de isoeficiencia a velocidad total. Por último, aplicando nuevamente las leyes de afinidad y conocida la potencia a velocidad total, y la velocidad real de operación, se obtuvo el valor de la potencia a la operación con velocidad reducida.
- 7- Se realizó la selección del tipo de motor eléctrico a emplear y el tipo de variador para conocer las eficiencias que representan en el sistema y calcula la potencia total para la operación.
- 8- Se realizó el análisis energético y con ello la comparativa de los consumos

eléctricos para todos los turnos de riego en las distintas etapas, para el escenario de la bomba sin variador y con variador de frecuencia. Luego se analiza la brecha de costos incurridos para 5 años de funcionamiento, donde se estima ya haber producido la primera campaña de cosecha.

### **3.3.3.7. Dimensionamiento del sistema de fertilización**

Luego de realizar el análisis del sistema existente, se decidió que componentes pueden ser reutilizados para la nueva operación del sistema de fertilización. Además, en función a las tasas de aplicación entregadas por análisis del usuario final de riego, se dimensionó la operación hidráulica de la bomba para garantizar un caudal de inyección que cumpla con el requerimiento, según la especificación de cada producto o composición a emplearse para el cultivo, garantizando que el último gotero cumpla con la dosis respectiva, basado en los tiempos de traslado del fertilizante en las tuberías.

### **3.3.4. Diseño de la automatización**

El controlador DREAM 2 tiene la facilidad de relacionarse con diversas interfaces, las cuales resultan ser el canal para establecer una comunicación entre el controlador y los dispositivos gobernados o monitoreados dentro del sistema de riego. Las interfaces se van adicionando al controlador en función a la cantidad de elementos a controlar y el protocolo de comunicación para el control de procesos. El controlador DREAM 2 permite únicamente el control y monitoreo de las siguientes señales:

- **Salida Digital:** Son los dispositivos a los cuales el controlador gobierna, tales como solenoides, relés eléctricos, entradas de actuadores, entradas del VDF
- **Entrada Digital:** Son los dispositivos de los cuales el controlador recibe información en forma de señal tipo switch, pueden ser pulsos de contadores de caudal, contacto seco de boyas eléctricas de nivel u otros.
- **Entrada Analógica:** Son los dispositivos de los cuales el controlador recibe información en forma análoga, donde hay valores variables en tiempo real, en su mayoría son aquellos sensores que utilicen el protocolo de comunicación 4-20mA o 0-5 V.

Para el diseño del hardware de la automatización se optó por elegir las siguientes interfaces:

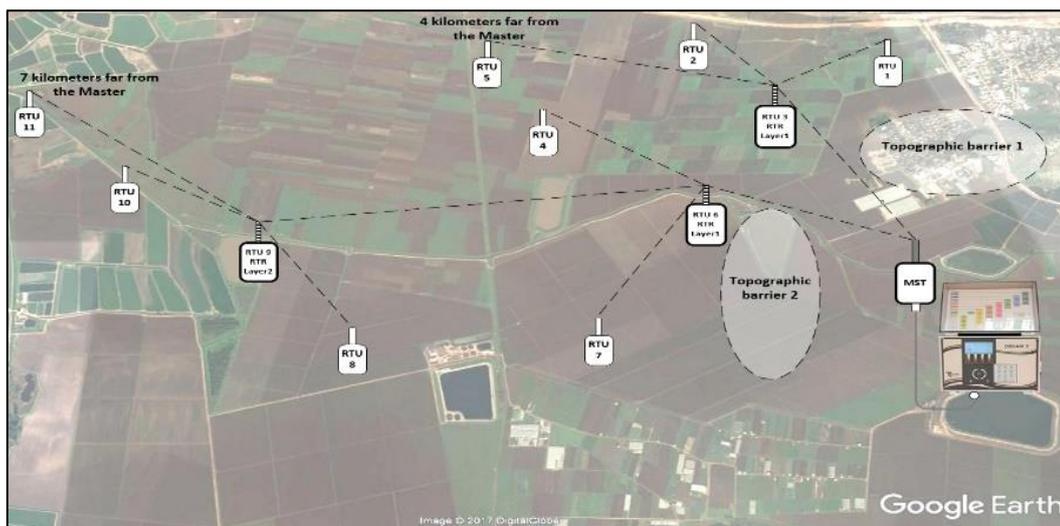
- **Interfaz Local AC 16/8:** Control del Cabezal de Riego, principalmente los

instrumentos que van instalados dentro de la caseta de riego

- **Interfaz RF G5:** Control de las válvulas de campo, se explicará con mayor profundidad el sistema de radiofrecuencia compuesto por una antena MASTER y una serie de unidades de transmisión remota (RTU) ubicadas en campo.
- **Interfaz ANA:** Control de los sensores instalados tanto en el Cabezal de Riego y en campo

### 3.3.4.1. Consideraciones para el diseño de la automatización vía radiofrecuencia

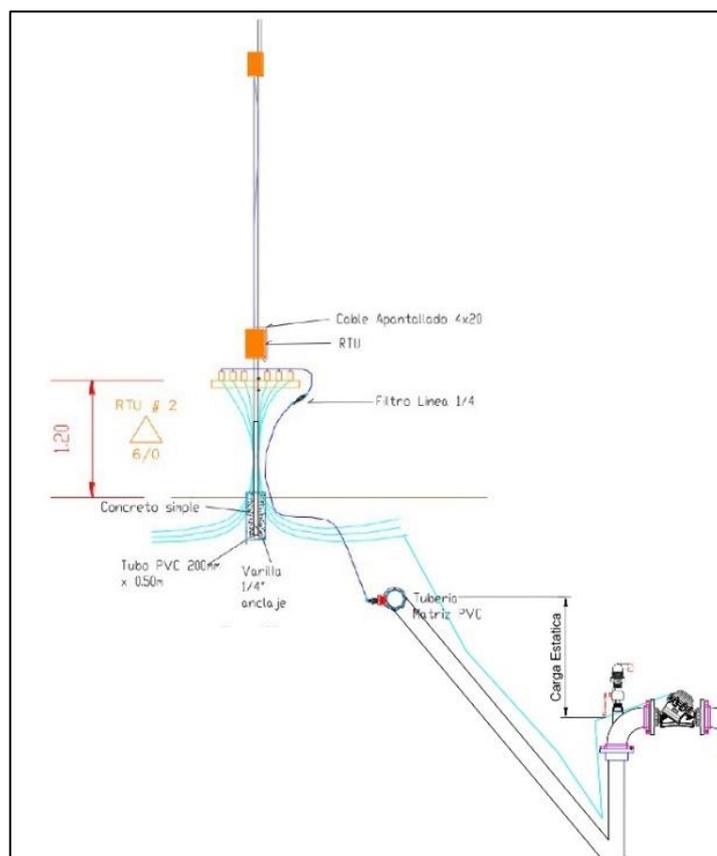
Se definió que el controlador debe trabajar con la interfaz RF G5, la cual es la última interfaz lanzada al mercado, permitiendo una comunicación más dinámica con el campo. Adicionalmente, es necesario aclarar que para controlar las válvulas de campo, es necesario realizar la selección estratégica de la Unidad de Transmisión Remota (RTU), esta debe tener línea vista con la antena maestra y no tener una distancia mayor a 2.5 km, en caso de tener interferencias o zonas sin línea vista producto de la topografía, las RTU pueden trabajar como repetidoras de señal entre ellas, los saltos entre RTU pueden ser en un máximo de 10 capas, lo que permite que el controlador DREAM 2 tenga comunicación en 25km de alcance para la radiofrecuencia. Otra consideración clave es que las RTU deben estar ubicadas en zonas donde no interfieran con la operación de la maquinaria agrícola en el campo o con la circulación de vehículos en la zona.



**Figura 10: Distribución de la interfaz RF G5 en una instalación**

FUENTE: Talgil (2018)

Las unidades remotas, son las encargadas de gobernar a los solenoides en campo, los que luego realizarán la transformación de la señal eléctrica en hidráulica, el solenoide se coloca en posición de apertura y envía una presión de la matriz hacia el galit de la válvula. Por ello, se debe considerar factores de carga estática, ocurridos por la posición de RTU y su toma de presión respecto a la ubicación final de válvula principalmente cuando la RTU tiene mayor cota que la válvula, para solucionar este posible problema se opta por seleccionar dispositivos complementarios que controlan la carga según la estática resultante en cada una de las válvulas de riego.

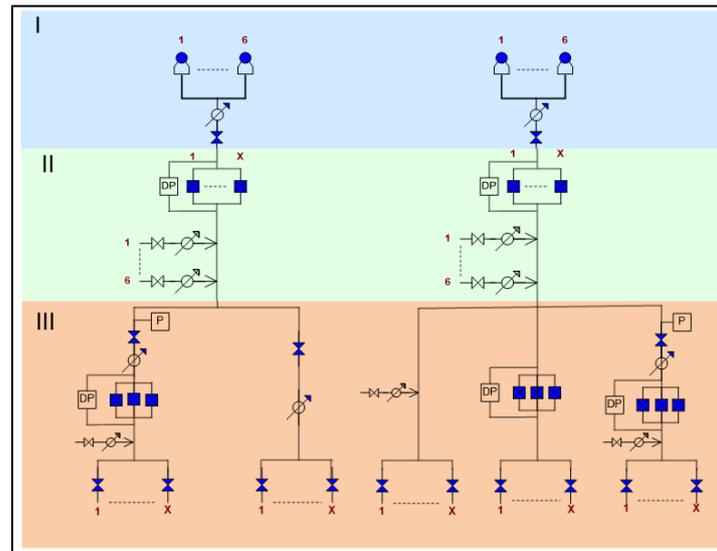


**Figura 11: Carga estática en válvula producto de la cota de la RTU**

La unidad remota permite controlar un máximo de 8 salidas u solenoides, sin embargo, los solenoides pueden trabajar con más de una válvula, para realizar la agrupación se debe considerar lo descrito en el párrafo anterior. Con la información antecedente se procedió a dimensionar la automatización por radiofrecuencia.

### 3.3.4.2. Consideraciones para el diseño de la automatización del cabezal

Para el dimensionamiento de la automatización del cabezal se tomarán en cuenta todos los elementos a controlar y monitorear dentro de la caseta, los dispositivos a gobernar para este punto deben ser compatibles con el voltaje de 24VAC referente a las salidas digitales, debido a que el Controlador opera en ese voltaje utilizando una fuente de alimentación AC. Para el tema de las entradas, los dispositivos deben ser principalmente por contacto seco y soportar como mínimo 12VDC.



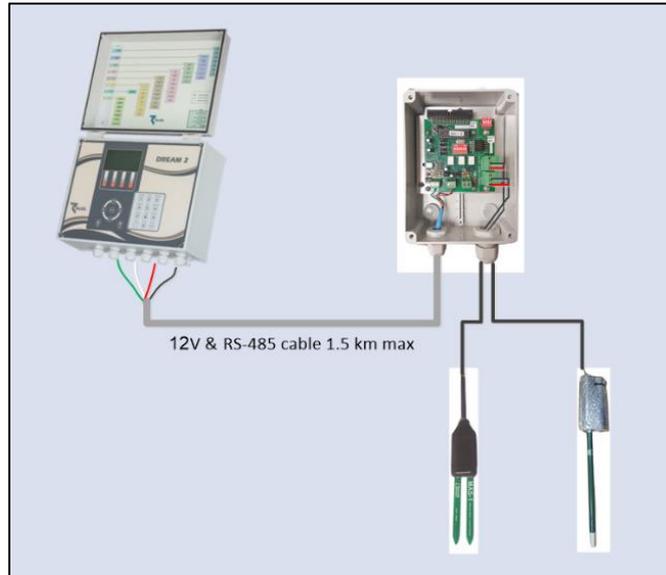
**Figura 12: Esquema hidráulico por automatizar**

FUENTE: Talgil (2018)

### 3.3.4.3. Consideraciones para el diseño de los sensores de la automatización

Se ha propuesto para el sistema de riego la instalación de sensores que permitan monitorear variables que indiquen una correcta operación del sistema. Principalmente se debe garantizar que el sistema realice un riego efectivo y que se identifiquen los parámetros eléctricos, para verificar el cumplimiento del ahorro energético propuesto en el sistema de bombeo.

Para equipar sensores de riego al controlador DREAM 2 podemos utilizar la interfaz ANA, el protocolo de comunicación debe ser de 4-20 miliamperios o 0-5 voltios, adicional se debe conocer el rango de los extremos de operación del sensor para introducirlos en el procesador del controlador. La interfaz ANA puede conectarse directamente al controlador, con un número de 4 sensores por interfaz y más de 20 Interfaces, o también puede anclarse a una unidad remota de dos formas, la primera considera solo una tarjeta para 01 sensor y la segunda considera una expansión adicional con capacidad para 4 sensores.



**Figura 13: Esquema de conexión interfaz ANA local**

FUENTE: Talgil (2018)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Diseño Agronómico

#### 4.1.1. Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>)

Para realizar el cálculo de las necesidades hídricas se utilizó el software CROPWAT 8.0, el cual nos permite procesar los datos meteorológicos, extraídos de la estación más cercana a la zona de intervención (Tuñoque,2018), con la finalidad de obtener parámetros como la Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>). En la Figura 14 se muestra el resultado de la ET<sub>o</sub> para todos los meses en la estación.

País	PERU	Estación	SAN JACINTO				
Altitud	255 m.	Latitud	9.15 °S	Longitud	78.28 °E		
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET <sub>o</sub>
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	18.4	31.1	64	2.1	6.9	20.7	5.02
Febrero	19.6	31.8	65	2.2	6.2	19.7	5.04
Marzo	18.8	31.1	67	2.2	6.0	18.8	4.75
Abril	17.9	29.6	68	2.1	6.8	18.7	4.43
Mayo	15.2	26.0	73	2.2	6.9	17.2	3.64
Junio	13.7	23.9	74	2.1	5.4	14.4	2.98
Julio	13.5	23.2	74	2.1	5.4	14.7	2.93
Agosto	13.3	23.4	73	2.3	6.0	16.8	3.35
Septiembre	13.1	24.0	70	2.3	6.6	19.1	3.83
Octubre	13.2	25.1	70	2.4	7.3	21.1	4.23
Noviembre	14.3	27.2	67	2.3	7.8	22.0	4.64
Diciembre	15.8	29.2	66	2.3	7.8	21.9	4.94
Promedio	15.6	27.1	69	2.2	6.6	18.8	4.15

Figura 14: Cálculos de ET<sub>o</sub> vía Cropwat 8.0

El cálculo con el uso de CROPWAT considera un valor máximo de 5.04 mm/día de lámina perdida por evapotranspiración para el mes de febrero, principalmente por la ubicación en el hemisferio sur.

#### 4.1.2. Cálculo de la Evapotranspiración de un Cultivo (ETc)

El coeficiente de cultivo utilizado fue de 1,125, según Dorado-Guerra *et al.* (2017) el cual aplica en la etapa media del cultivo donde los requerimientos hídricos son los más elevados, luego existe una tendencia de reducción, conforme la planta se acerca a la etapa final. El valor del Kc empleado hace referencia a un estudio en Chilca, Lima; donde las condiciones meteorológicas son similares a la zona de intervención del proyecto.

$$ETC = 5.04 \left( \frac{mm}{dia} \right) \times 1.125 = 5.67 \left( \frac{mm}{dia} \right)$$

El usuario final del sistema de riego, considera factores de eficiencias de aplicación, lavado de sales y dinámica del suelo, para este caso el valor es 94.5% sobre los cálculos de la ETc, así mismo su experiencia en el manejo del cultivo de palto indica que en los primeros años donde no se tendrá producción, los requerimientos de agua serán menores, por tal motivo el sistema debe conceptualizar etapas de desarrollo en el sistema de riego.

$$ETC(a) = 5.67 \left( \frac{mm}{dia} \right) / 0.945 = 6 \left( \frac{mm}{dia} \right)$$

El sistema propuesto se diseñó para cubrir una demanda máxima teórica de 6.00 mm/día y adecuarse a menores requerimientos por una etapa inicial por un periodo aproximado de 2 años. Sin embargo, la precipitación máxima que podría realizar el sistema quedará sujeto a la selección de la línea de riego, la cantidad de estas por hilera de cultivo y la disponibilidad de horas de trabajo, en esta parte se tomarán las consideraciones de seguridad para que el sistema de riego cumpla con por encima de la demanda teórica solicitada. El consumo teórico para las 73.93 ha de cultivo calculado fue de 4,435.8 m<sup>3</sup> por día, referido a 60 m<sup>3</sup>/hr/ha.

#### 4.1.3. Determinación de la línea o emisor de riego

Es importante considerar que el porcentaje de suelo que moja el equipo de riego sea alto (PSM). Según Red Agrícola (2021) el sistema de riego debe mojar entre un 50 a 60% de la superficie plantada, este objetivo se puede lograr con tres líneas de riego, por hilera de plantación, con goteros de bajo gasto; de preferencia operación auto compensante y permita maximizar las distancias de las hileras de cultivo con requerimientos de presión bajos. Por motivos económicos, el usuario final decidió implementar un sistema de cultivo con un marco de siembre constituido en 7 metros de espaciamiento entre las filas de plantas y 7 metros entre plantas de una misma hilera. Esta última medida se eligió para asegurar un

espacio adecuado donde se puedan realizar las labores agrícolas mecanizadas y el correcto desarrollo radicular. Se optó por tener 3 laterales por cada hilera de cultivo con espaciamiento de 0.50 metros entre goteros, para la demanda máxima, sin embargo, los primeros años de funcionamiento el sistema debe trabajar únicamente con 2 laterales por hilera de cultivo. Como resultado se obtuvo la selección del emisor a usar, de la marca Rivulis, modelo D5000 16mm / 15 mil / 2.0 l/h / 0.5 m.

#### 4.1.4. Determinación de la Planificación Agronómica

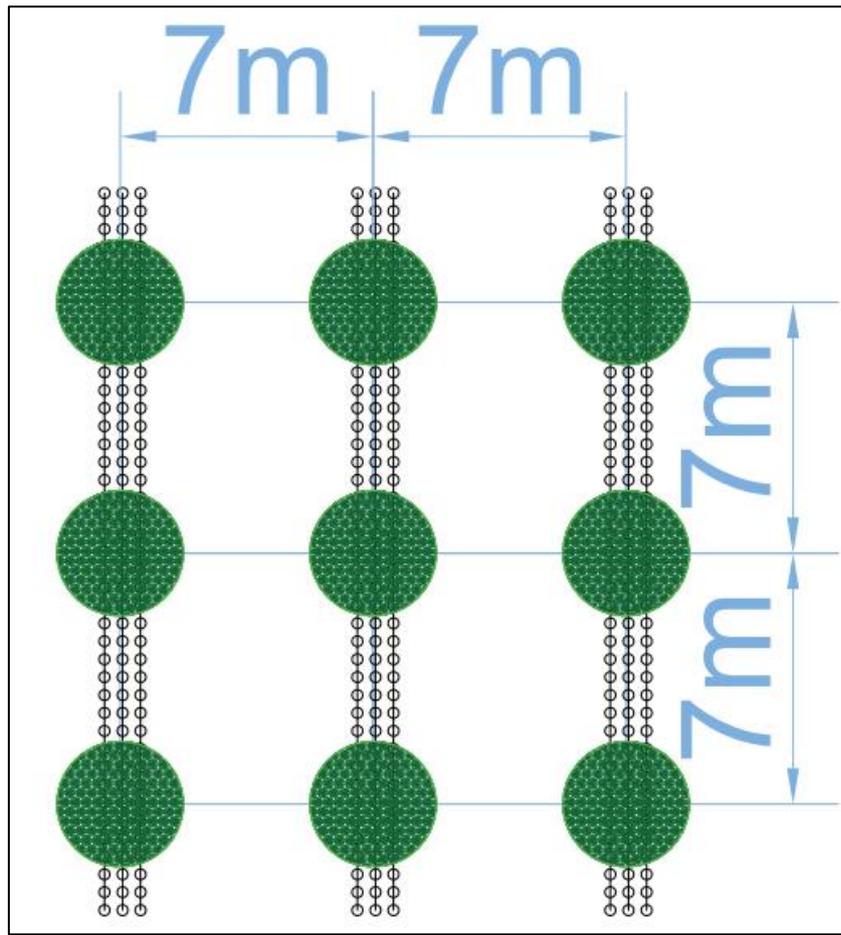
**Tabla 2: Parámetros del Diseño agronómico del Sistema de Riego 73.93 Ha**

<b>PARAMETROS DE DISEÑO AGRONOMICO - PALTA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Cultivo		PALTO
Área Total	ha	73.93
<b>Marco de Siembra:</b>		
Separación entre Plantas	m	7
Separación entre Hileras	m	7
Diámetro de Proyección Copa de Planta	m	3.5
<b>LAMINA DE RIEGO A REPONER</b>		
Evapotranspiración - Eto	mm/día	5.040
Coefficiente Cultivo - Kc		1.125
Factor de Localización - Kl		0.855
Factor de Variación Climática - Kv		1.175
Factor de Advección - ka		0.950
Evapotranspiración Cultivo - Etc	mm/día	5.411
Precipitación Efectiva	mm/día	0.000
Lamina Neta de Riego	mm/día	5.411
Coefficiente de uniformidad por goteo-CU	%	0.900
Eficiencia de aplicación (Ea)	%	0.900
Perdida por Percolación Profunda (1-Ea)	%	0.100
Fracción de lavado por sales (FL=Cew/3xCErc)	%	0.200
Conductividad Eléctrica Agua de Riego (CEw)	ds/m	0.500
Conductividad Eléctrica Permitida por el Cultivo (CErc)	ds/m	1.200
pH del agua para riego objetivo:	pH	6 - 7
Eficiencia aplicación de riego	%	0.900
Lamina Bruta a Reponer (Necesidades Totales)	mm/día	6.013
	m3/ha/día	60.127
	m3/ha/mes	1863.931
	m3/ha/años	21946.284
Demanda Mensual	m3/mes	137800.418
Tiempo de Riego: Para determinar Módulo de Riego	h	73.930
Módulo de riego	L/s/ha	0.226

«Continuación»

PARAMETROS DE DISEÑO AGRONOMICO - PALTA		
CARACTERISTICAS SUELO		
Tipo de Suelo (Según Análisis de suelos)		FRANCO
Densidad aparente	gr/cm <sup>3</sup>	1.4
Capacidad de Campo (CC)	%	16.1
Punto de Marchitez (PMP)	%	8.17
Profundidad de raíz	cm	80
% Agotamiento considerado en goteo	%	0.5
Dosis total de riego de almacenamiento suelo y cultivo (Ln)	mm	44.408
Lamina Neta de Riego	mm/día	6.010
Porcentaje de superficie mojada (franja de cultivo)	%	0.33
Intervalo de riego disponible (IR) IR= (Dosis total riego x % Área mojada) /Etc.	días	2
Frecuencia de riego optada para goteo	días	1
CARACTERISTICAS AGRONOMICAS		
Cultivo		PALTO
Separación Plantas (a)	m	7.000
Separación Hileras de Plantas (b)	m	7.000
Superficie ocupada = a x b	m <sup>2</sup>	49.000
Caudal del gotero	l/h	2.000
Separación entre emisores seleccionada-Se	m	0.500
Cantidad de mangueras de riego por hilera de planta	und	3.000
Capacidad de riego del sistema	m <sup>3</sup> /hr/ha	17.143
Litros de aplicación por planta	l/h	84.000
Emisores estimados por planta	und	42.000
Emisores por linea de riego	und	14.000
<b>Dosis Total de Riego</b>	mm	6.013
	m <sup>3</sup> /ha/hr	60.100
	litros/planta	294.621

La Tabla 1 parte de información características para el riego y manejo del usuario final, se obtuvo que el consumo en época crítica para la reposición de las necesidades hídricas del cultivo es de 294.621 litros por cada planta, bajo una cantidad de 42 emisores por planta, generando un traslape en la aplicación y la franja de humedad necesaria.



**Figura 15: Distribución del marco de Siembra**

Las tablas 3 y 4, presentan el resultado de la planificación agronómica, luego de recibir los requerimientos del usuario final y realizar el cruce de información con los parámetros disponibles para el aprovechamiento de las 73.93 ha cultivables referentes a disponibilidad de la topografía del terreno, horas de riego, preparación del medio suelo y manejo del cultivo específico del usuario final.

**Tabla 3: Parámetros de operación agronómica del Sistema de Riego – Etapa Inicial (73.93 ha)**

Parámetro	Resultado				Unidad
	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	TURNO 4	
Sector De Riego					
Cultivo		PALTO (HASS)			
Distancia Entre Hileras	7.00	7.00	7.00	7.00	m
Laterales Por Hilera	2	2	2	2	und
Demanda Máxima Teórica	3.50	3.50	3.50	3.50	mm/día
Superficie Habilitada	17.97	19.72	20.57	15.67	ha
Tiempo Disponible De Riego		20			hr
Lateral Seleccionado		D5000 15 MIL / 16 MM			
Caudal Del Gotero	2.00	2.00	2.00	2.00	l/h
Distancia Entre Goteros	0.50	0.50	0.50	0.50	m
Caudal Del Lateral	4.00	4.00	4.00	4.00	lt/hr/m
Caudal Por Hectárea	11428.57	11428.57	11428.57	11428.57	l/hr
	3.17	3.17	3.17	3.17	l/s
Precipitación Horaria	1.14	1.14	1.14	1.14	mm/hr
Capacidad De Riego Del Sistema	11.43	11.43	11.43	11.43	m3/hr/ha
Tiempo De Riego - Turno	3.10	3.10	3.10	3.10	hr
Tiempo de Riego Total		12.40			hr
Área Del Turno De Riego	17.97	19.72	20.57	15.67	ha
Caudal Del Turno	205.37	225.37	235.09	179.09	m3/h
	57.05	62.60	65.30	49.75	l/s
Demanda Hídrica Del Turno	636.65	698.65	728.77	555.17	m3/día
Demanda Teórica Del Sistema		2619.23			m3/día
Frecuencia de Riego		1			día
<b>Máxima capacidad del sistema</b>					
Sector De Riego	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	TURNO 4	
Tiempo Disponible De Riego		20			hr
Tiempo De Riego Por Sector	5.00	5.00	5.00	5.00	hr
Precipitación Horaria	1.14	1.14	1.14	1.14	mm/hr
Lamina De Riego Máxima (Lb)	5.71	5.71	5.71	5.71	mm/día
Área Del Turno De Riego	17.97	19.72	20.57	15.67	ha
Caudal Del Turno	205.37	225.37	235.09	179.09	m3/hr
Demanda Hídrica Del Turno	1026.86	1126.86	1175.43	895.43	m3/día
Demanda Teórica Del Sistema		4224.57			m3/día

**Tabla 4: Parámetros de operación agronómica del Sistema de Riego – Etapa Final (73.93 ha)**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>					<b>Unidad</b>
Sector De Riego	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	TURNO 4	TURNO 5	
Cultivo	PALTO (HASS)					
Distancia Entre Hileras	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	m
Laterales Por Hileras	3	3	3	3	3	und
Demanda Máxima Teórica	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	mm/día
Superficie Habilitada	17.97	19.72	13.56	13.22	9.45	ha
Tiempo Disponible De Riego	20.00					hr
Lateral Seleccionado	D5000 15 MIL / 16 MM					
Caudal Del Gotero	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	l/h
Distancia Entre Goteros	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	m
Caudal Del Lateral	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	lt/hr/m
Caudal Por Hectárea	17142.86	17142.86	17142.86	17142.86	17142.86	l/hr
	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76	l/s
Precipitación Horaria	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	mm/hr
Capacidad De Riego Del Sistema	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	m3/hr/ha
Tiempo De Riego - Turno	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	hr
Tiempo de Riego Total	17.50					hr
Área Del Turno De Riego	17.97	19.72	13.56	13.22	9.45	ha
Caudal Del Turno	308.06	338.06	232.46	226.63	162.00	m3/h
	85.57	93.90	64.57	62.95	45.00	l/s
Demanda Hídrica Del Turno	1078.20	1183.20	813.60	793.20	567.00	m3/día
Demanda Teórica Del Sistema	4435.20					m3/día
Frecuencia de Riego	1					día
<b>Máxima capacidad del sistema</b>						
Sector De Riego	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	TURNO 4	TURNO 5	
Tiempo Disponible De Riego	20					hr
Tiempo De Riego Por Sector	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	hr
Precipitación Horaria	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	mm/hr
Lamina De Riego Máxima (Lb)	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	mm/día
Área Del Turno De Riego	17.97	19.72	20.57	15.67	15.67	ha.
Caudal Del Turno	308	338	232	227	162	m3/hr
Demanda Hídrica Del Turno	1232.23	1352.23	929.83	906.51	648.00	m3/día
Demanda Teórica Del Sistema	5068.80					m3/día

La planificación agronómica se realizó para dos etapas del sistema, inicial y final, en base al manejo del cultivo de palta por parte del usuario final. Para la etapa inicial, considerando el uso de 02 laterales de riego, se proyectó un objetivo de aplicación de 3.5 mm/día, y capacidad máxima de 5.71 mm/día, empleando el total de horas de riego disponibles. Por otro lado, en la etapa final, considerando el uso de 03 laterales de riego, se proyectó un objetivo de

aplicación de 6.0 mm/día de lámina de riego, y capacidad máxima de 6.86 mm/día. La frecuencia del riego según la planificación agronómica para el manejo del cultivo debe ser diaria.

El volumen de oferta diaria de la captación es de 8,640 m<sup>3</sup>/día, superando a la demanda máxima del sistema de riego, el cual requiere de 5068.80 m<sup>3</sup>/día para una aplicación de lámina de riego de 6.84mm/día en total de la superficie. Esto permite poder aprovechar la oferta en áreas adicionales a futuro.

#### 4.2. Análisis del Sistema de Riego existente

La información de entrada para el análisis del sistema consiste en un plano con lotización del cultivo de caña, se indicó que el sistema no operaba desde el 2017, cabe mencionar que el campo se encontraba sin línea de riego ya que se había desplazado a otro punto por temas internos del usuario final del sistema.

DATOS DE IRRIGACION			LEYENDA	
Descripcion	Unidad	Detalles		
Cultivo		CAÑA	TUBERIA PVC Ø250/7.5	
Area de Riego (Neta)	Ha	74.04	TUBERIA PVC Ø250	
Espaciamiento entre surcos	Mtr.	1.80	TUBERIA PVC Ø200	
Espacio entre plantas	Mtr.	0.00	TUBERIA PVC Ø160	
Sistema de riego		Goteo	TUBERIA PVC Ø140	
Tipo de emisor		DRIPNET PC 16150	TUBERIA PVC Ø110	
Emisor-Presion minima permitida	Mtr.	7.00	TUBERIA PVC Ø90	
Caudal del emisor	L/H	1.60	TUBERIA PVC Ø75	
Espacio entre emisores	Mtr.	0.60	TUBERIA PVC Ø2"/7.5	
Espacio entre laterales	Mtr.	1.80	TUBERIA PVC Ø1 1/2"/7.5	
No. Laterales por surco		1	LATERALES	
Tasa de aplicacion	mm/h	1.48	VALVULA REGULADORA 6"	
Evaporacion equivalente	mm/día	6.00	VALVULA HIDRAULICA 4"	
Ciclo de irrigacion	Dias	1	VALVULA HIDRAULICA 3"	
Duracion de operacion	Hrs.	4.00	VALVULA HIDRAULICA 2"	
Numero de operacion	No.	5.00		
Duracion de operacion por dia	Hrs.	20.0		
Duracion diaria disponible	Hrs.	20.0		
Caudal maximo requerido	m <sup>3</sup> /h	229.00		
Caudal maximo disponible	m <sup>3</sup> /h	.....		
Presion de agua requerida de la fuente	M	.....		

Figura 16: Parámetros del sistema existente

Con la información alcanzada y con el respectivo análisis se realizaron los siguientes acuerdos para el diseño hidráulico:

- **Portalíneas:** al encontrarse ubicadas con un espaciamiento entre surcos de 1m, quiere decir que la totalidad de la tubería se encuentra perforada con instalación de arranques o “bigotes de inicio” según el marco de plantación del cultivo existente, lo cual conlleva a un riesgo para la operación, por ello, no es recomendable anular

aproximadamente el 80% de estos arranques dentro de la instalación. Otro punto crítico es que la configuración de diámetros de tuberías para la distancia entre hileras inicial (1 m) del marco de plantación en caña complicaba la distribución de presiones para la condición de triple línea cada 7 m en el cultivo de palto, y como punto fundamental el usuario realizó otro tipo de lotización, dividiendo áreas que antes eran gobernadas por una sola válvula en 02 sectores para que las longitudes máxima de laterales se encuentren cercanos a los 125 m, anteriormente la longitud de lateral era de 250 m aprox. para el cultivo de caña. Por estos motivos, se optó por realizar un cambio total de portátiles del sistema usando diámetros efectivos que no incrementa la inversión económica en el proyecto.

- **Arcos de riego:** Los arcos de riego se encontraban incompletos, en algunos casos estos no tenían válvula, debido a que se utilizaron para cubrir necesidades internas del usuario. Por tal razón, se decidió retirar todos los arcos de riego existentes y anular con tapones la toma de matriz, para luego implementar nuevos arcos de riego y valvulería.
- **Matriz:** La tubería matriz estaba diseñada para realizar un tránsito de caudal máximo de 229 m<sup>3</sup>/hr, se analizarán el comportamiento de estas tuberías para un nuevo caudal máximo teórico de 338 m<sup>3</sup>/hr, en referencia a la nueva distribución de turnado
- **Válvula reductora de matriz:** Esta válvula se indica en el plano ubicada en la cota media del terreno, sin embargo, cuando se realizó la inspección de campo solo se encontró el arco de PVC sin válvula. Dentro del equipo del usuario, se compartió una experiencia en la que indicaba que esa válvula operaba de forma manual con el equipo de caña a 5 turnos, sin embargo, ocurrían constantes oscilaciones de presión en el sistema y se decidió retirar.  
Este fue un dato importante para el criterio de selección de turnos, ya que por la topografía existente era necesario generar turnos con condiciones de operación topográfica similares, caso contrario la máxima presión requerida para regar las zonas altas tendría un impacto en las zonas bajas generando complicaciones.
- **Filtro de Malla:** El filtro de malla se encontraba completamente desarmado, el usuario indicó mala experiencia con este tipo de filtración, debido a que el agua de riego es de una calidad relativamente buena, se eligió utilizar una batería de filtrado por anillos de la marca Rivulis.
- **Equipo de Bombeo:** Se encontró una bomba de eje libre marca Hidrostral de 125HP, la cual sería trasladada a otra zona donde el usuario del sistema requería instalarla, por

tal motivo se solicitó incluir un nuevo equipo.

- **Sistema de Fertilización:** Se identificó una bomba de mezcla conectada a un tanque de preparación con capacidad de 2500 litros, 03 tanques de 5000 litros que operaban como almacenamiento, no se encontraron las bombas de inyección correspondientes.



Figura 17: Equipos encontrados en el sistema existente

### 4.3. Diseño hidráulico

Para la ejecución del diseño hidráulico se realizó inicialmente la carga de base de datos del software IRRICAD, donde tenemos la información principalmente tuberías, emisores, valvulería, fittings entre otros.

Pipes Tapes Valves Other Hydraulics Lateral Take Offs Couplers Elbows / Bends Tees Crosses Pumps Outlets Outlet Connections Wires Controllers Lights Other Electrics Miscellaneous Nozzles						
Creating assembly:						
Description	Warehouse Code	Supplier Code	Usage	Line Type	Color	
TUBERIA PVC 140 MM C-7.5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 140 MM C-10	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 160 MM C-4	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 160 MM C-5	PVC	SUP1	ZM			
TUBERIA PVC 160 MM C-5(OLD)	PVC	SUP1	ZM			
TUBERIA PVC 160 MM C-7.5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 160 MM C-10	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 200 MM C-4	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 200 MM C-5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 200 MM C-5(OLD)	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 200 MM C-7.5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 200 MM C-10	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 250 MM C-4	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 250 MM C-5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 250 MM C-5(OLD)	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 250 MM C-7.5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 250 MM C-7.5(OLD)	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 250 MM C-10	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 315 MM C-4	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 315 MM C-5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 315 MM C-7.5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 315 MM C-10	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 355 MM C-4	PVC	SUP1				
TUBERIA PVC 355 MM C-5	PVC	SUP1	M			
TUBERIA PVC 355 MM C-7.5	PVC	SUP1	M			
*				0		0

Figura 18: Base de datos general de las tuberías en IRRICAD

Dentro de la sección Pipes del editor del software, en lo que respecta a esta base de datos se preparó una segregación adicional, añadiendo en la etiqueta la palabra “OLD”, refiriéndose a tuberías del sistema existente, cuales estaban instaladas y eran necesaria dentro del análisis, esto con la finalidad que no se considere dentro del proyecto como una inversión nueva.

Field	Value
Pipe Number	525
Pipe Description	TUBERIA PVC 200 MM C-5[OLD]
Usage	M (Lateral / Zone / Mainline / Flushing)
Warehouse Code	PVC
Supplier Cost Code	SUP1 (Label: 200mmC-5)
Pipe Type	PVC
Nominal Diameter	200 mm
Actual Diameter	190.2 mm
Pipe Roughness	130 C
Allowable Pressure	50 m
Wholesale Cost	7.59 per meter
Retail Price	9.488 per meter
Plotting Line Type	[Dropdown]
Plotting Color	[Pink]

**Figura 19: Base de datos con parámetros de tubería específica en IRRICAD**

Finalizada la preparación de la base de datos de tuberías. Para continuar con la programación se procedió a ingresar los valores de criterio de diseño de velocidad. Adicional a ello, el presente estudio contempla la inclusión de un margen de seguridad del 2% en el caudal dentro del sistema. Esto tiene como propósito establecer un nivel adicional de confiabilidad en todo el sistema de riego. Asimismo, se considera la incorporación de un valor de presión mínima que excede en 2 m.c.a. a al valor especificado por el fabricante.

Section	Parameter	Value	Unit
Hydraulic Parameters	Maximum zone velocity	2.2	m/s
	Maximum mainline velocity	2.5	m/s
	Minimum lateral length	5	m
Flushing Parameters	Required velocity	0.3	m/s
	Manifold back pressure	0	m
	Assign Virtual Manifolds	<input type="checkbox"/>	
	Virtual manifold size	10	laterals
Rationalization Parameters	Zone Pipe Sizes	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Mainline Pipe Sizes	<input checked="" type="checkbox"/>	

**Figura 20: Parámetros de diseño hidráulico en IRRICAD**

En la Figura 10 se muestra la base de datos correspondiente a la línea de riego. En esta base de datos se incluyeron valores relacionados con el diámetro nominal e interno, coeficiente de rugosidad, presión máxima y mínima permitida, presión nominal y presión mínima para que el gotero trabaje con la función de “PC” o auto compensante. También se presentaron los rangos de tolerancia en presión, expresados en porcentaje, tanto por encima como por debajo de la presión nominal. Adicionalmente, se indicaron los valores de descarga de la manguera de goteo por cada tramo de 100 metros. Esto incluye la constante de emisión, el exponente (con valor 0 al ser auto compensado), el coeficiente de pérdidas por fricción en cada gotero, el espaciamiento entre emisores y la presión mínima requerida para lograr la compensación. Todos estos valores han sido proporcionados por el fabricante y se encuentran registrados en la base de datos del software.

Edit Tape

<b>Tape Number</b>		523	
<b>Tape Description</b>		D5000 16mm/15 2.0 lph @ 0.5 mt. +2%	
Usage	L Lateral	Default Inlet Pressure	10 m
Warehouse Code	MANGUERA AUTOCOMPENSADA	Minimum Pressure	7 m
Supplier Cost Code	IPHY	Label	D5 16/15/2/5
Pipe Type	LPPE	CDV	0
Nominal Diameter	16 mm	Maximum Pressure	22 m
Actual Diameter	16 mm	Zone Pressure Tolerance	120 % above
Tape Roughness	140 C	Zone Pressure Tolerance	30 % below
Allowable Pressure	22 m	Nominal Specific Discharge Rate	408 lph/100m
Wholesale Cost	1 per meter	Flow Calculation Type	Iteration <input checked="" type="checkbox"/>
Retail Price	2 per meter	Emitter Constant	2.04
Plotting Line Type		Emitter Index	0
Plotting Color		Emitter Barb Factor	0.5
		Spacing	0.5 m
		Minimum PC Pressure	5 m

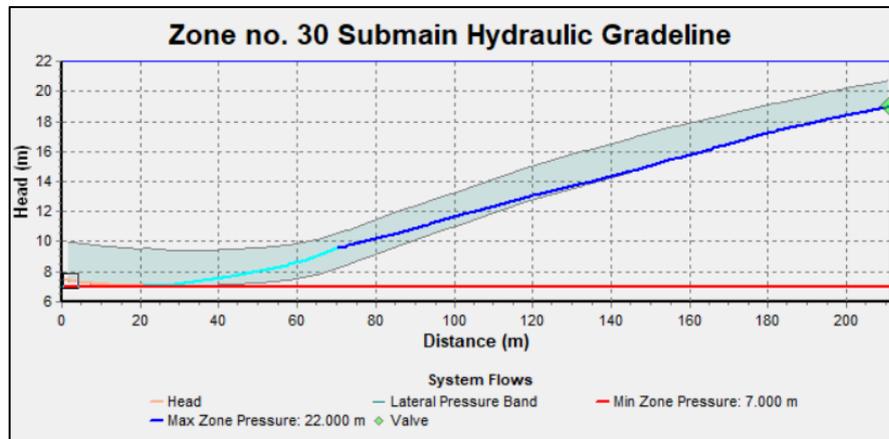
**Figura 21: Base de datos de la línea de riego en IRRICAD**

El lateral máximo producto de la planificación agronómica del terreno tiene como longitud 124 m y presenta una pérdida de carga 3.31 m.c.a. en toda su longitud, estas pérdidas son compensadas por la diferencia de elevaciones topográficas y entrega un caudal total de 507.96 l/h en su extensión.

#### **4.3.1. Dimensionamiento de tubería portalíneas**

Para el dimensionamiento de la portalínea es necesario enfocarnos en los requerimientos agronómicos para la etapa final del sistema, incluyendo triple línea de riego por hilera de cultivo. Se utilizó el método propio de “LP Design” del software, sin dejar de considerar que las velocidades de la tubería se encuentren por encima de los criterios indicados. Se utilizó la planificación agronómica y la lotización inicial del plano para generar las tuberías en todas los sectores o zonas de riego, como resultado se muestra la gradiente hidráulica para el sector

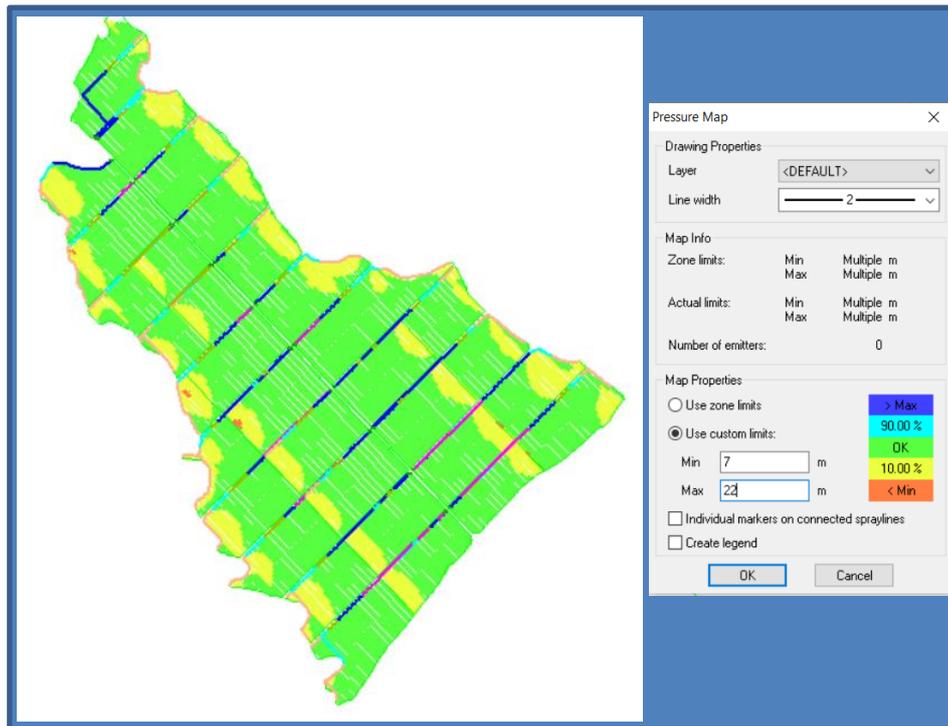
o zona de riego crítica (N°30):



**Figura 22: Gradiente Hidráulica de la portallinea crítica en operación**

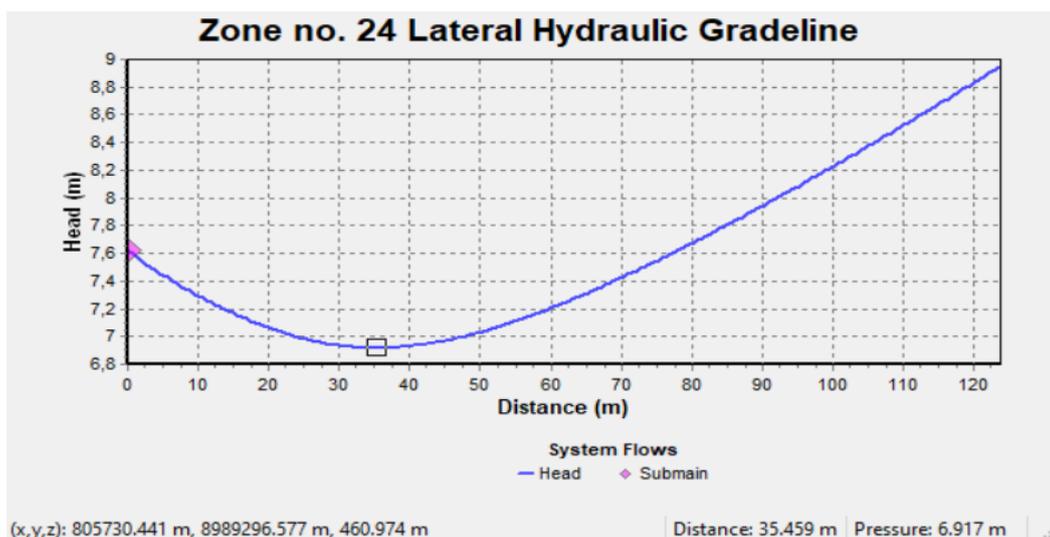
El análisis de la gradiente hidráulica permite visualizar el comportamiento de la selección de la tubería para el caso más crítico, con un mínimo de 03 diámetros reducidos telescópicamente (90mm, 63mm, 1.1/2") en función a la entrega de caudal. Dentro del análisis se observan los rangos de presión de laterales (lateral presión band), estos definen la presión máxima y mínima de la zona de riego, trabajando en función a la gradiente hidráulica de la portallinea.

De la misma forma se generó el mapa de presiones de todas las zonas o sectores de riego, a fin de predecir las distribuciones de presión producto de las tuberías dimensionadas. Para la generación del mapa fue necesario aplicar la opción de configuración de límites, donde se introdujo los valores de presión mínima y máxima tolerable del emisor.



**Figura 23: Mapa de presiones en producto del diseño de portalíneas**

Como ultimo análisis en este punto, con ayuda del mapa de presiones se identificó el comportamiento de un lateral crítico extraído de la zona 24, el cual presenta valores menores a 7 m.c.a. (6.917 m.c.a. como valor mínimo) en ciertos números de emisores, sin embargo, la variación es menor al 2% valor establecido como criterio de seguridad para el diseño hidráulico previamente establecido.



**Figura 24: Gradiente Hidráulica para el lateral con menor presión de operación**

### 4.3.2. Dimensionamiento de válvulas hidráulicas

Por experiencia y recomendaciones del fabricante, se definió el rango de trabajo de las válvulas en función a la pérdida de carga que se genera en esta ( $\Delta P$ ), y utilizando la ecuación del Kv logramos calcular los valores de caudal (Q) a través de la válvula para el rango de pérdida establecido.

**Tabla 5: Límites de operación para las válvulas hidráulicas del sistema**

Tipo de Válvula Bermad	Kv	Rango de $\Delta P$ (m.c.a.)		Rango de Caudales (m <sup>3</sup> /hr)	
		$\Delta P$ máx.	$\Delta P$ min.	Q máx.	Q min.
IR-S100-2"-Y	50	3	0.75	27.4	13.7
IR-S100-3"-Y	100	3	0.75	54.8	27.41
IR-S100-3"-L-Y	200	3	0.75	109.5	54.81

Se procedió con la introducción de la base de datos de las válvulas a emplearse al software IRRICAD, dentro de esto se pueden resaltar como parámetros fundamentales un correcto dimensionamiento lo siguiente: identificación del producto, los diámetros de ingreso y salida a la tubería que conecta las válvulas, el flujo máximo y mínimo permitido por la válvula. Adicionalmente se deben calcular valores de Constante (K), Exponente (n) e Intercepto (C) de la ecuación de pérdida de carga (H) que utiliza el software, se aplicó el mismo paso para cada diámetro.

Para el cálculo se procedió a introducir los valores obtenidos de caudal de las válvulas (Q) y ( $\Delta P$ ) producto de la ecuación del Kv específicamente en el generador de ecuaciones del software, configurando que aplique la ecuación para una válvula hidráulica, finalmente con la programación realizada se obtendrá la selección de la válvula y la pérdida de carga mediante el software, en cada una de las zonas o sectores de riego.

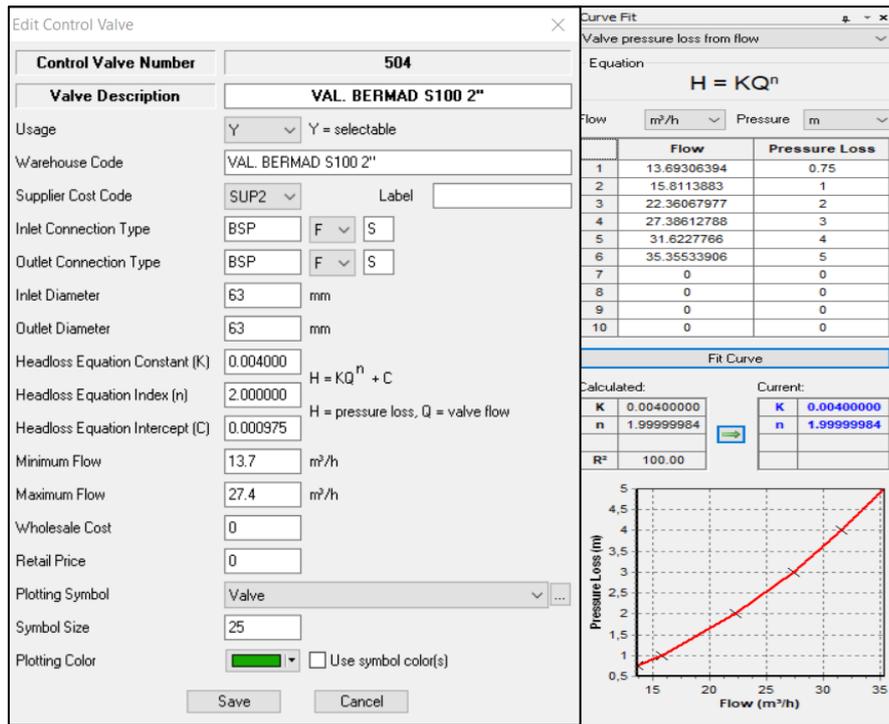


Figura 25: Ecuación y base de datos para válvulas de 2''

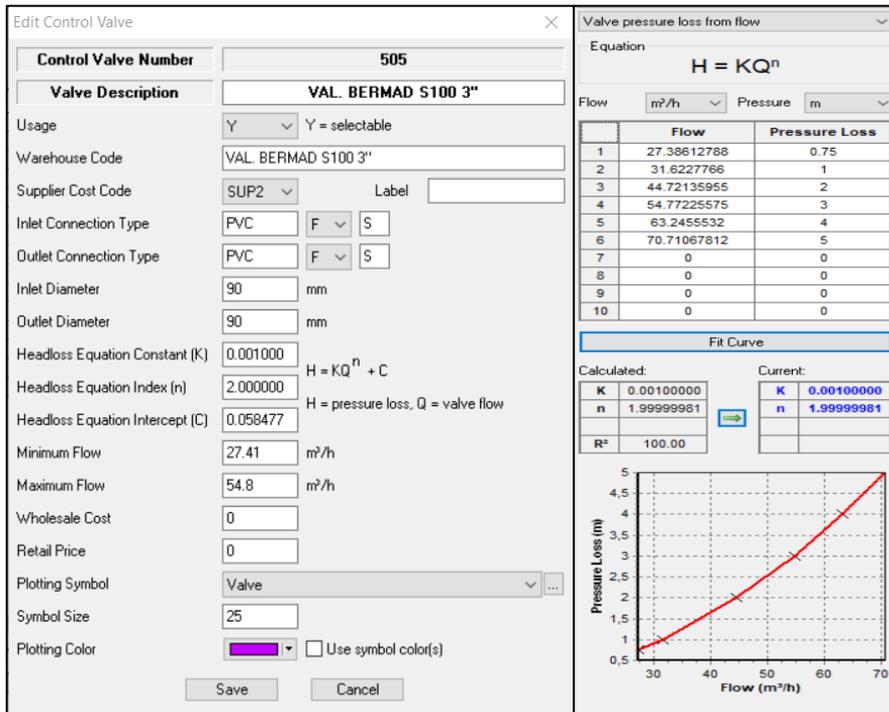
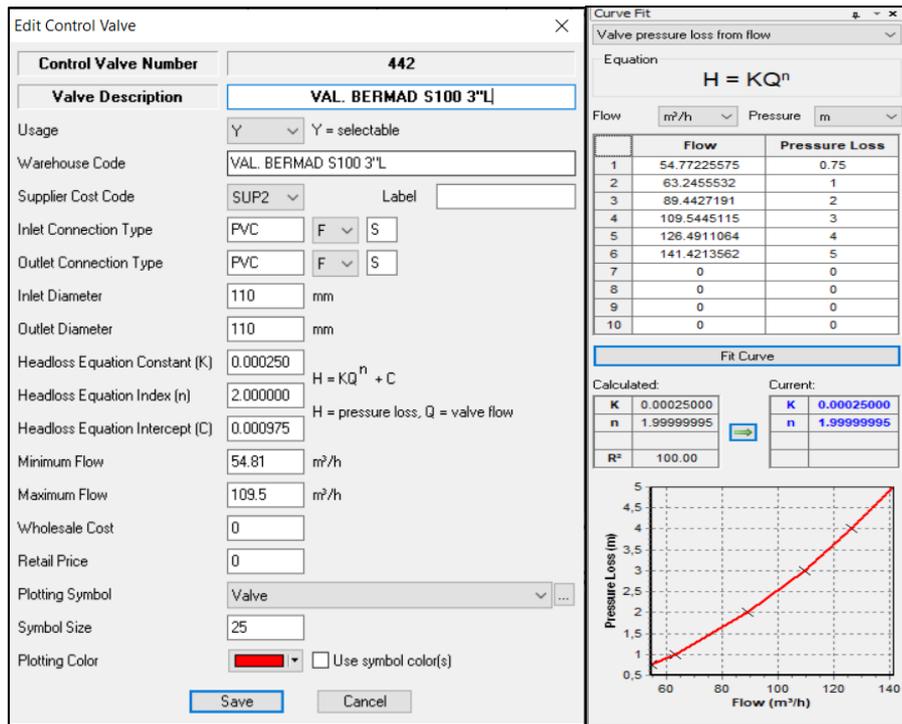


Figura 26: Ecuación y base de datos para válvulas de 3''



**Figura 27: Ecuación y base de datos para válvulas de 3” L**

Finalizada la configuración se obtuvo los parámetros de operación de cada válvula, en función a las siguientes tablas.

**Tabla 6: Parámetros de operación de las válvulas hidráulicas para la etapa final del proyecto**

Sector de Riego	Válvula Seleccionada	Parámetros de la Válvula			
		Caudal (m3/hr)	Presión de Salida (m.c.a.)	Hf (m.c.a.)	Presión Teórica De Operación (m.c.a.)
Zona no. 1	VAL. BERMAD S100 3"	31.77	16	1.07	17.07
Zona no. 2	VAL. BERMAD S100 3"	43.52	25.5	1.95	27.45
Zona no. 3	VAL. BERMAD S100 3"	42.69	16.5	1.88	18.38
Zona no. 4	VAL. BERMAD S100 3"	38.64	18	1.55	19.55
Zona no. 5	VAL. BERMAD S100 3"	47.08	16.5	2.27	18.77
Zona no. 6	VAL. BERMAD S100 3"	33.62	20.5	1.19	21.69
Zona no. 7	VAL. BERMAD S100 3"	45.72	16	2.15	18.15
Zona no. 8	VAL. BERMAD S100 3"	32.37	19	1.11	20.11
Zona no. 9	VAL. BERMAD S100 3"L	64.62	18.5	1.04	19.54
Zona no. 10	VAL. BERMAD S100 3"	43.21	14	1.93	15.93
Zona no. 11	VAL. BERMAD S100 3"	36.41	13.5	1.38	14.88
Zona no. 12	VAL. BERMAD S100 3"	41.34	15	1.77	16.77
Zona no. 13	VAL. BERMAD S100 3"	45.42	14	2.12	16.12
Zona no. 14	VAL. BERMAD S100 3"	40.34	12	1.69	13.69

«Continuación»

Zona no. 15	VAL. BERMAD S100 3"	45.83	16.5	2.16	18.66
Zona no. 16	VAL. BERMAD S100 3"	36.43	16.5	1.39	17.89
Zona no. 17	VAL. BERMAD S100 3"	51.57	22.5	2.72	25.22
Zona no. 18	VAL. BERMAD S100 3"	41.31	17.5	1.77	19.27
Zona no. 19	VAL. BERMAD S100 3"	36.82	23	1.41	24.41
Zona no. 20	VAL. BERMAD S100 3"	45.72	17	2.15	19.15
Zona no. 21	VAL. BERMAD S100 3"	47.02	23	2.27	25.27
Zona no. 22	VAL. BERMAD S100 3"	44.25	17.5	2.02	19.52
Zona no. 23	VAL. BERMAD S100 3"	43.64	22	1.96	23.96
Zona no. 24	VAL. BERMAD S100 3"	45.72	18	2.15	20.15
Zona no. 25	VAL. BERMAD S100 3"	28.75	18.5	0.88	19.38
Zona no. 26	VAL. BERMAD S100 3"L	56.42	19	3.4*	22.4
Zona no. 27	VAL. BERMAD S100 3"	28.95	14.5	0.9	15.4
Zone no. 27.2	VAL. BERMAD S100 2"	20.95	19	1.76	20.76
Zona no. 28	VAL. BERMAD S100 3"	28.02	14	0.84	14.84
Zone no. 28.2	VAL. BERMAD S100 2"	25.32	20.5	2.57	23.07
Zona no. 29	VAL. BERMAD S100 3"	51.84	18	2.75	20.75
Zona no. 30	VAL. BERMAD S100 3"	34.82	19	1.27	20.27

**Tabla 7: Parámetros de operación de las válvulas hidráulicas para la etapa inicial del proyecto**

Sector de Riego	Válvula Seleccionada	Parámetros de la Válvula			
		Flujo (m3/hr)	Presión de Salida (m.c.a.)	Hf (m.c.a.)	Presión Teórica De Operación (m.c.a.)
Zona no. 1	VAL. BERMAD S100 3"	21.43	16	0.52	16.52
Zona no. 2	VAL. BERMAD S100 3"	29.01	23	0.9	23.9
Zona no. 3	VAL. BERMAD S100 3"	28.46	16.5	0.87	17.37
Zona no. 4	VAL. BERMAD S100 3"	25.76	18	0.72	18.72
Zona no. 5	VAL. BERMAD S100 3"	31.38	16.5	1.04	17.54
Zona no. 6	VAL. BERMAD S100 3"	22.41	18.5	0.56	19.06
Zona no. 7	VAL. BERMAD S100 3"	30.48	16	0.99	16.99
Zona no. 8	VAL. BERMAD S100 3"	21.58	13	0.52	13.52
Zona no. 9	VAL. BERMAD S100 3"L	43.08	15.5	0.46	15.96
Zona no. 10	VAL. BERMAD S100 3"	28.81	14	0.89	14.89
Zona no. 11	VAL. BERMAD S100 3"	24.28	13.5	0.65	14.15
Zona no. 12	VAL. BERMAD S100 3"	27.57	14	0.82	14.82
Zona no. 13	VAL. BERMAD S100 3"	30.28	13	0.98	13.98
Zona no. 14	VAL. BERMAD S100 3"	26.9	12	0.78	12.78
Zona no. 15	VAL. BERMAD S100 3"	30.55	16.5	0.99	17.49
Zona no. 16	VAL. BERMAD S100 3"	24.28	15.5	0.65	16.15
Zona no. 17	VAL. BERMAD S100 3"	35.3	19	1.3	20.3
Zona no. 18	VAL. BERMAD S100 3"	27.54	16	0.82	16.82
Zona no. 19	VAL. BERMAD S100 3"	24.55	19	0.66	19.66
Zona no. 20	VAL. BERMAD S100 3"	30.48	16	0.99	16.99
Zona no. 21	VAL. BERMAD S100 3"	31.34	20	1.04	21.04
Zona no. 22	VAL. BERMAD S100 3"	29.5	16.5	0.93	17.43
Zona no. 23	VAL. BERMAD S100 3"	29.09	19	0.9	19.9

«Continuación»

Zona no. 24	VAL. BERMAD S100 3"	30.48	17	0.99	17.99
Zona no. 25	VAL. BERMAD S100 3"	19.42	17.5	0.44	17.94
Zona no. 26	VAL. BERMAD S100 3"L	37.61	18	0.35	18.35
Zona no. 27	VAL. BERMAD S100 3"	19.3	15	0.43	15.43
Zona no. 27.2	VAL. BERMAD S100 2"	14.04	18	0.79	18.79
Zona no. 28	VAL. BERMAD S100 3"	28.02	14	0.84	14.84
Zona no. 28.2	VAL. BERMAD S100 2"	16.88	18.5	1.14	19.64
Zona no. 29	VAL. BERMAD S100 3"	34.56	17	1.25	18.25
Zona no. 30	VAL. BERMAD S100 3"	23.57	19	0.61	19.61

De los resultados, se permitió en la V26 de la etapa final una pérdida de carga por encima de los 3 m.c.a., principalmente porque aún operaría en un intervalo de tolerancia, y otra razón fundamental es que aumentar el diámetro de esta válvula resultaría una operación a muy bajo caudal para la etapa inicial de menores requerimientos.

#### 4.3.3. Dimensionamiento y verificación de tubería matriz:

Se realizó la distribución de turnado del sistema de riego según la planificación agronómica para, proceder con el cálculo energético de las tuberías matrices. Para ello, se introdujo el número de turnos y se asignaron las zonas o sectores de riego correspondientes.

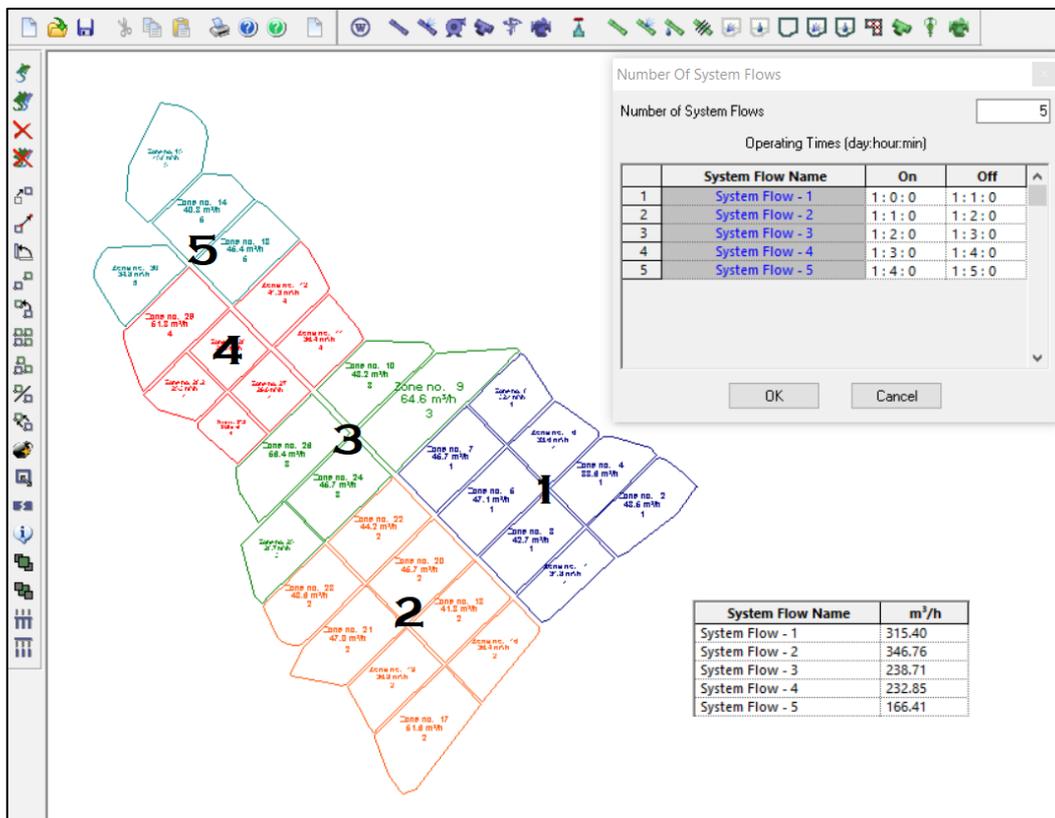
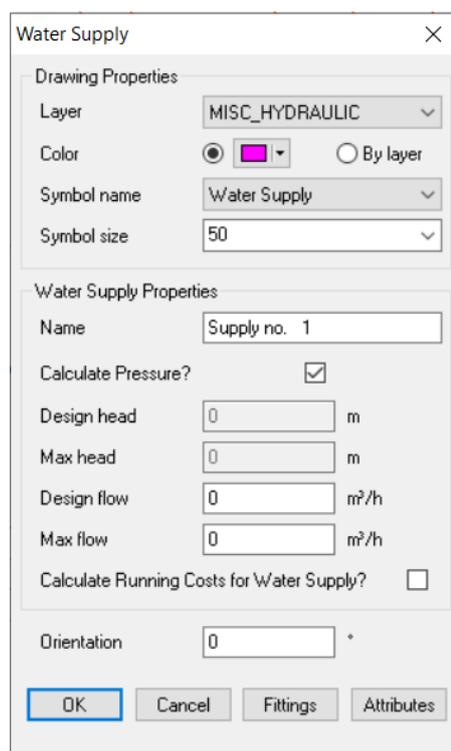


Figura 28: Distribución del turnado para la etapa final del sistema en IRRICAD

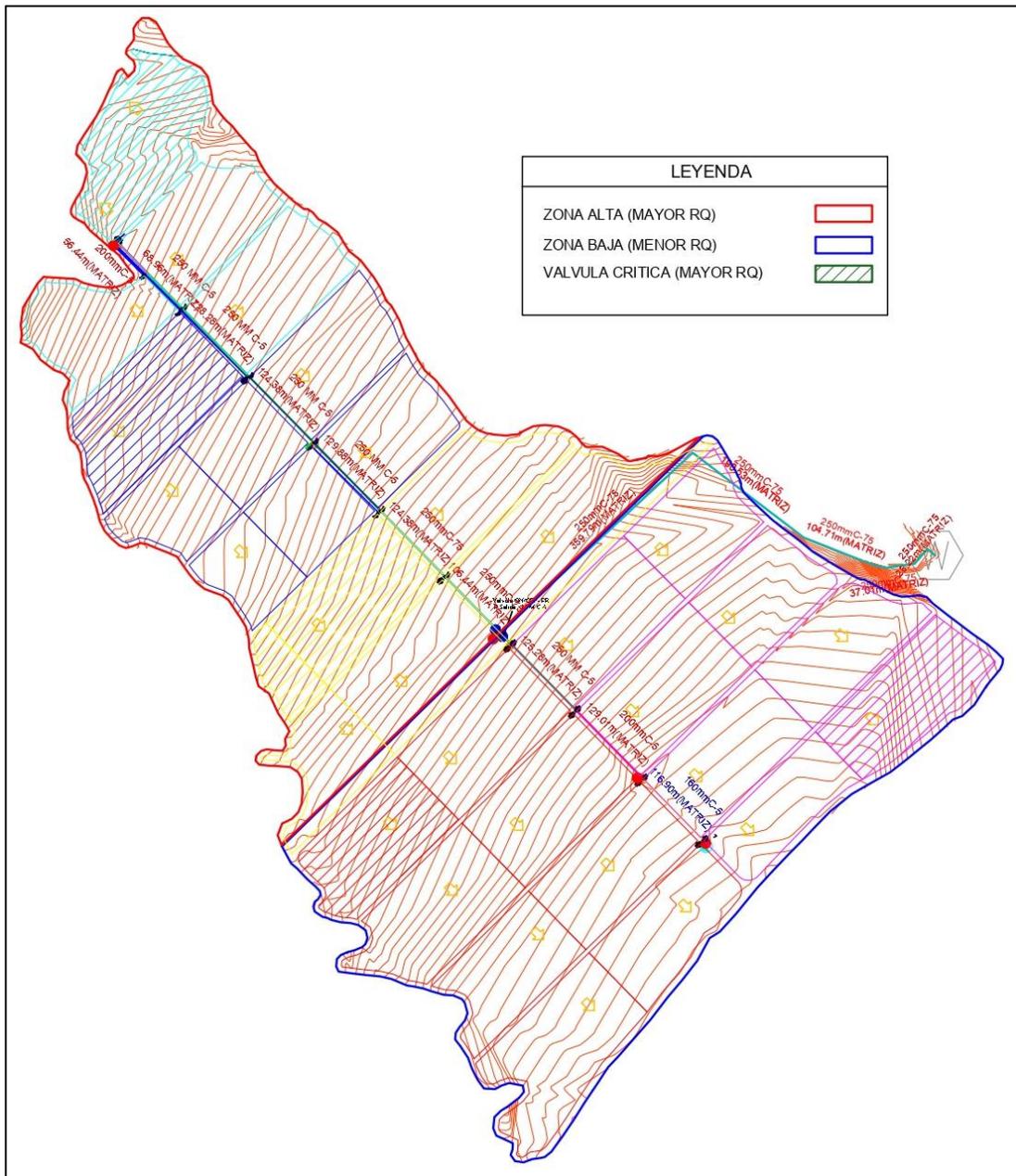
Luego de realizar la distribución de turnado, se procedió con la simulación de velocidades utilizando el método “Velocity Design”, esto no cambiara los diámetros ya establecidos de la matriz existente, sin embargo, es necesario realizar la adición de un tramo para conectar las válvulas finales producto de una división de sector de riego del sistema anterior, este tramo nuevo será calculado bajo los parámetros hidráulicos establecidos. De la misma forma al emplearse nuevos arcos de riego que se conectan a la matriz fue necesario generar una tubería de conexión entre la ubicación final de la válvula y la matriz existente.

El modelamiento elegido en el software a su vez realizara un análisis de la presión necesaria para suplir el requerimiento mínimo de la válvula crítica para cada uno de los turnos, para ello es necesario activar el comando de cálculo de presión en la fuente de agua del diseño de riego.



**Figura 29: Calculo de presión en fuente de agua por software IRRICAD**

Luego de generar el modelamiento del software y dimensionamiento de las nuevas tuberías bajo los límites establecidos en los rangos se presentan el siguiente análisis de resultados, se elige como escenario critico la etapa final del sistema de riego en rediseño:



**Figura 30: Identificación de matrices diseñadas y zonas críticas por turno**

Según la topografía inicial del terreno se evidenció que las zonas más altas significaban un mayor requerimiento de presión. Dentro de la Figura, se logró identificar que turno de riego posee el mayor requerimiento de presión del sistema (turno #4), y también el de mayor caudal (turno #2). Estos nos servirán para el análisis detallado de la ruta para la válvula crítica, finalmente como se puede evidenciar, la válvula crítica del turno no es necesariamente la que se encuentra más alejada de la fuente.

Water Supply : Supply no. 1		
Duty Number	Presión (m)	Caudal (m3/h)
Sector : 1	40.2	315.4
Sector : 2	46.0	346.8
Sector : 3	44.3	238.7
Sector : 4	57.7	232.8
Sector : 5	55.2	166.4

**Figura 31: Reporte de presiones en la fuente por IRRICAD**

#### 4.3.3.1. Operación Zona Alta

Para el análisis respectivo se considera como crítica la etapa final del sistema:

##### a. Turno #4:

Una vez realizado el modelamiento de tubería matriz, se procedió con la identificación de la parcela crítica, este análisis se logra ejecutando el reporte de presiones en válvulas producto de la selección de diámetros de matriz, en la Figura, se visualizan los nombres y caudales de las zonas de riego y la fuente de agua, adicionalmente el valor de “Valve Pressure”, refiere a la presión entregada aguas arriba de la válvula de riego de la zona, producto de la presión ofertada en la fuente de agua; mientras que el valor de “Required Pressure”, refiere a la presión necesaria en el sector de riego calculada con el dimensionamiento de las válvulas hidráulica. La válvula N°29 se encuentran con el mismo valor de oferta y demanda de presión, advirtiendo que esta es la válvula es la de mayor requerimiento energético del sistema.

System Flow - 4					
Zones Operating					
Zone Name	(X,Y) (m)		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 11	805679.8	8989656.5	29.8	14.9	36.4
Zone no. 12	805592.0	8989746.9	25.1	16.8	41.3
Zone no. 27	805671.5	8989648.8	29.8	15.4	29.0
Zone no. 27.2	805670.1	8989649.7	29.7	20.8	21.0
Zone no. 28	805583.7	8989739.1	25.2	14.8	28.0
Zone no. 28.2	805582.4	8989740.8	25.1	23.1	25.3
Zone no. 29	805493.1	8989832.4	20.7	20.7	51.8
Water Supplies					
Water Supply	(X,Y) (m)		Pressure (m)		Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4	8989500.4		57.7	-232.8

**Figura 32: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T4**

**Tabla 8: Parámetros de matriz en la ruta crítica del turno #4 etapa final**

Tramo	Diámetro (mm) / Clase	Material	Caudal (m3/h)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Hf (m)
1	250/7.5	PVC	232.85	1.53	13.71	0.19
2	250/7.5	PVC	232.85	1.53	26.22	0.36
3	250/7.5	PVC	232.85	1.53	37.01	0.46
4	250/7.5	PVC	232.85	1.53	17.18	0.26
5	250/7.5	PVC	232.85	1.53	104.71	1.15
6	250/7.5	PVC	232.85	1.53	190.53	2.01
7	250/7.5	PVC	232.85	1.53	359.79	3.71
8	250/7.5	PVC	232.85	1.53	106.44	1.17
9	250/7.5	PVC	232.85	1.53	124.38	1.34
10	250/5	PVC	232.85	1.46	129.88	1.27
11	250/5	PVC	146.53	0.92	124.38	0.51
12	250/5	PVC	51.84	0.32	128.28	0.08
TOTAL	-	-	-	-	1362.51	12.51

En la Tabla 8 se muestra los diámetros de la matriz de 250 mm, para un flujo máximo (232.85 m3/hr) y mínimo (51.84 m3/hr) de circulación por las tuberías, resultando un rango de velocidades entre 0.32 a 1.53 m/s., una longitud de transporte de fluido de 1362.51 m con pérdida de carga total de 12.51 m.c.a., producto de la fricción de la interna de la tubería. Adicionalmente, se aplicará la ecuación:

$$J = Hf/L*100 (\%) = 12.51/1362.51 *100 = 0.98\%$$

Donde:

Hf= Pérdida de Carga Total del tramo

L= Longitud total de tramo

J= Perdida de Carga promedio del tramo (m.c.a/m)

Se obtuvo un valor de 0.98 % para el tramo crítico, siendo lo ideal estar cercano al 1%, este indicador nos permite comprender que la selección de la tubería se encuentra en valores permisibles y en condiciones de operación que no generen desgaste prematuro, para esta revisión no se consideran las pérdidas producto del diferencial topográfico. Para calcular la presión de salida total en la fuente de agua se debe sumar la variación de cotas y las pérdidas por fricción entre la fuente de origen y el punto de entrega analizado, para realizar esos cálculos se utilizó información directa del software.

Para el turno #4 la presión de salida a campo se calculó en 57.7 m.c.a., y una presión de llegada de 20.7 m.c.a. en aguas arriba de válvula 29 como se aprecia en la Figura 31. El

diferencial resultante fue de 37 m.c.a. en un tramo de 1362.51 metros. La sección crítica presentó una pérdida de carga total (por fricción y topografía) para la entrega de presión requerida en la válvula; traducida al 2.72 % del recorrido total.

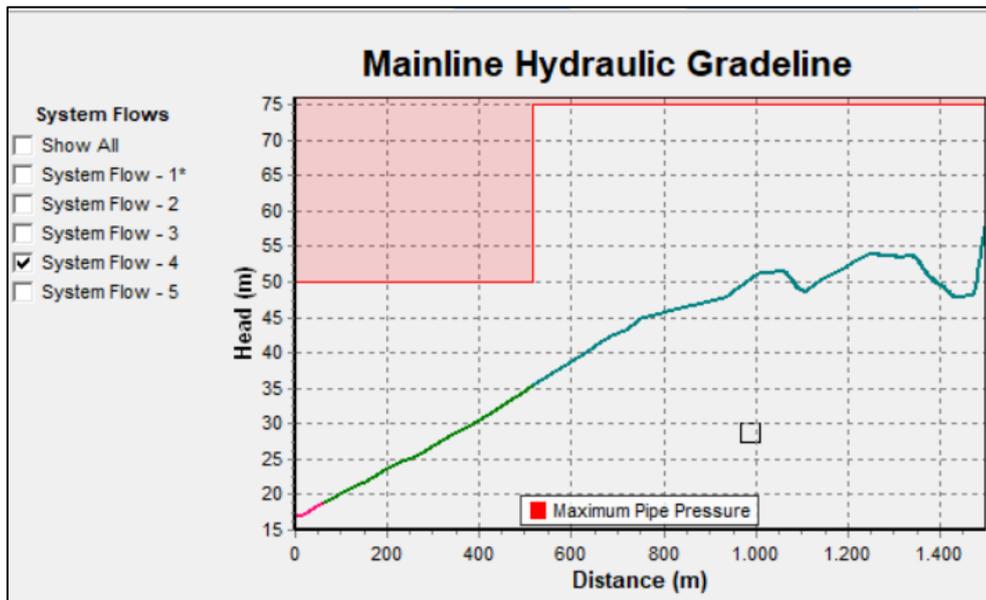


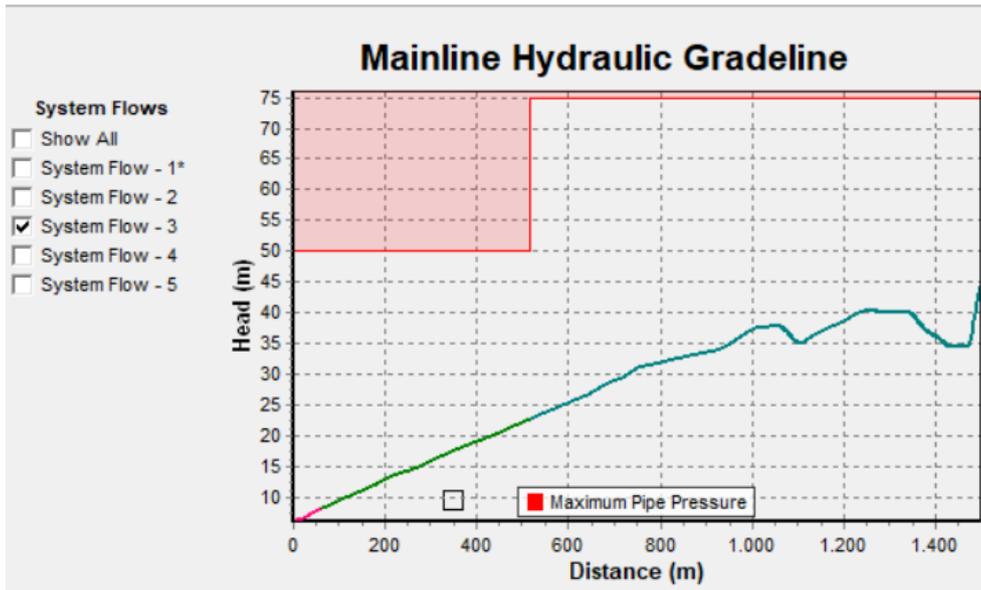
Figura 33: Gradiente Hidráulico para la zona alta durante el T4

**b. Turno #3:**

A través del reporte de IRRICAD, se definió que para el turno #3 se tiene una presión de salida a campo de 44.3 m.c.a., y una presión de llegada de 22.2 m.c.a. en la válvula 26. El diferencial resultante fue de 22.1 m.c.a. en un tramo de 981.74 metros. La sección crítica presentó una pérdida de carga total para la entrega de presión requerida en la válvula; traducida al 2.25 % del recorrido total. En las Figuras 33 y 34, podemos observar el comportamiento de distribución de las presiones en las válvulas y la gradiente hidráulica.

System Flow - 3					
Zones Operating					
Zone Name	(X,Y) (m)	(X,Y) (m)	Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 9	805858.2	8989473.1	26.5	19.5	64.6
Zone no. 10	805770.4	8989563.4	22.6	15.9	43.2
Zone no. 24	805849.9	8989464.9	26.4	20.1	45.7
Zone no. 25	805849.2	8989465.5	26.3	19.4	28.7
Zone no. 26	805762.1	8989555.4	22.2	22.2	56.4
Water Supplies					
Water Supply	(X,Y) (m)	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)	
Supply no. 1	806522.4	8989500.4	44.3		-238.7

Figura 34: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T3



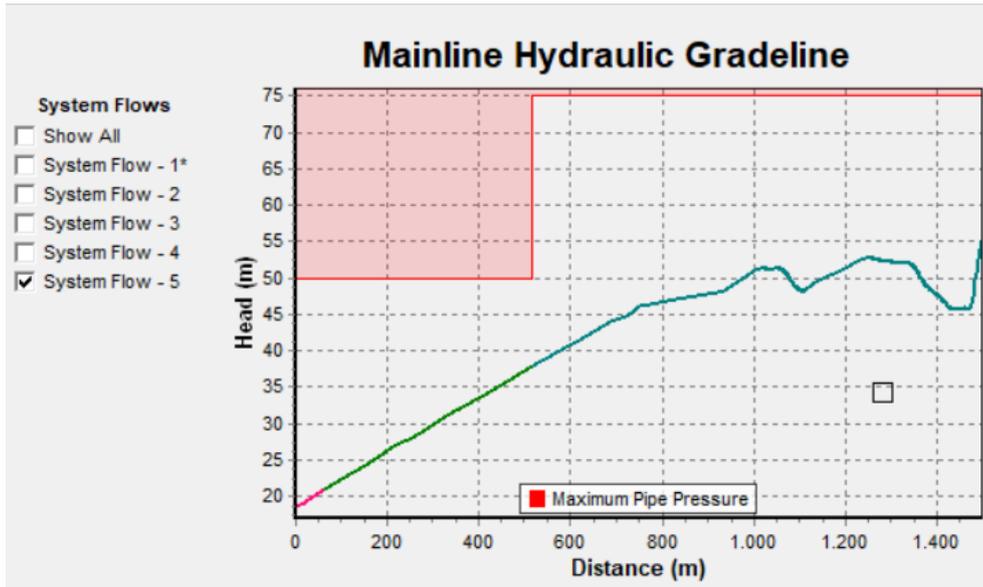
**Figura 35: Gradiente Hidráulico para la zona alta durante el T3**

**c. Turno #5:**

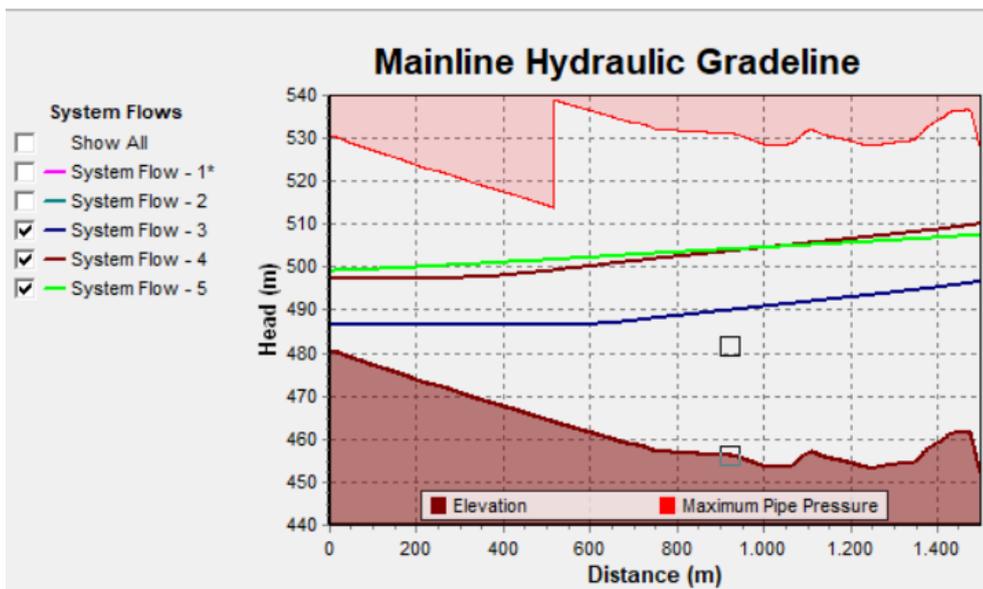
Para el turno #5 se tiene una presión de salida a campo de 55.2 m.c.a., y una presión de llegada de 18.7 m.c.a. en la válvula 15. El diferencial resultante fue de 36.5 m.c.a. en un tramo de 1492 metros. La sección crítica presentó una pérdida de carga total para la entrega de presión requerida en la válvula; traducida al 2.45 % del recorrido total. En las Figuras, podemos observar el comportamiento de distribución de las presiones en las válvulas y la gradiente hidráulica.

System Flow - 5					
Zones Operating					
Zone Name	(X,Y) (m)		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 13	805501.2	8989840.4	23.4	16.1	45.4
Zone no. 14	805413.5	8989930.3	18.6	13.7	40.3
Zone no. 15	805409.8	8989934.1	18.7	18.7	45.8
Zone no. 30	805444.6	8989882.6	20.4	20.3	34.8
Water Supplies					
Water Supply	(X,Y) (m)		Pressure (m)		Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4	8989500.4		55.2	-166.4

**Figura 36: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T5**



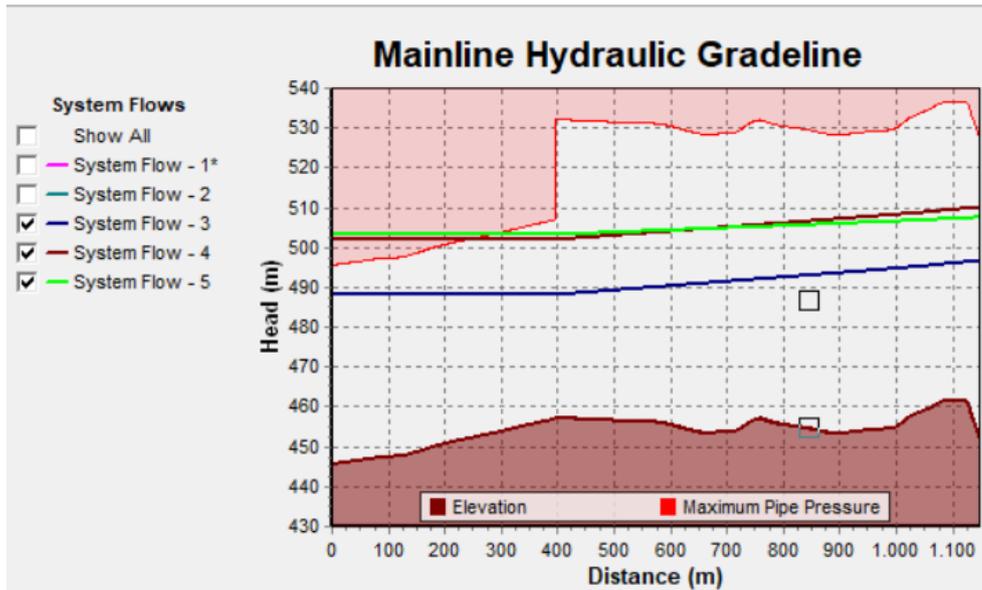
**Figura 37: Gradiente Hidráulico para la zona alta durante el T5**



**Figura 38: Gradiente Hidráulico para todos los turnos en la zona alta**

- **Turnos #3, #4 y #5 influencia en la zona baja:**

En la Figura 39, se puede evidenciar que los turnos #4 y #5 producen un efecto de presión estática en las zonas bajas de la tubería matriz, sobrepasando la presión nominal de estas.



**Figura 39: Gradiente Hidráulico de los turnos altos sobre la zona baja**

Como alternativa a este problema, se consideró incluir una válvula hidráulica en matriz, ubicada lo más cercano a la bifurcación principal en dirección a la zona baja del sistema. Esta válvula deberá cumplir la función de cierre automático cuando operen los turnos altos, a fin de no tener presión residual en las tuberías ubicadas en las cotas bajas del sistema de riego.

#### 4.3.3.2. Operación Zona Baja

##### a. Turno #1:

A través del reporte de IRRICAD, se definió que para el turno #1 se tiene una presión de salida a campo de 40.2 m.c.a., y una presión de llegada de 27.5 m.c.a. en la válvula 2. El diferencial resultante fue de 12.7. m.c.a. en un tramo de 1143 metros. La sección crítica presentó una pérdida de carga total para la entrega de presión requerida en la válvula; traducida al 1.11 % del recorrido total. En las figuras 39 y 40, podemos observar el comportamiento de distribución de las presiones en las válvulas y la gradiente hidráulica.

System Flow - 1					
Zones Operating					
Zone Name	(X,Y) (m)		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 1	806209.7	8989111.7	27.4	17.1	31.8
Zone no. 2	806209.4	8989112.2	27.5	27.5	43.5
Zone no. 3	806127.5	8989196.2	26.6	18.4	42.7
Zone no. 4	806127.4	8989196.4	26.7	19.6	38.6
Zone no. 5	806036.8	8989289.5	23.7	18.8	47.1
Zone no. 6	806036.4	8989290.3	23.7	21.7	33.6
Zone no. 7	805949.0	8989379.8	21.1	18.1	45.7
Zone no. 8	805948.7	8989380.5	21.2	20.1	32.4
Water Supplies					
Water Supply	(X,Y) (m)		Pressure (m)	Flow (m3/h)	
Supply no. 1	806522.4	8989500.4	40.2	-315.4	

Figura 40: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T1

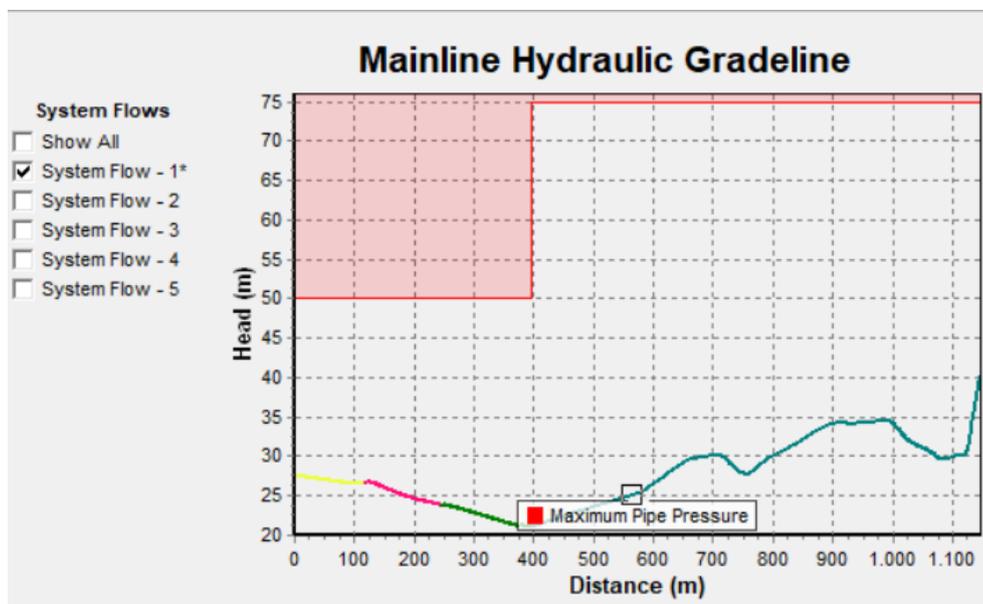


Figura 41: Gradiente Hidráulico para la zona baja durante el T1

**b. Turno #2:**

Para este turno, se realizará el mismo análisis que fue desarrollado para el turno#4, ya que pertenece a la operación crítica, por ser el turno de mayor caudal. En la Figura 42, podemos identificar cual es la válvula crítica del turno.

System Flow - 2					
Zones Operating					
Zone Name	(X,Y) (m)		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 16	806200.9	8989103.6	29.2	17.9	36.4
Zone no. 17	806200.2	8989104.3	29.3	25.2	51.6
Zone no. 18	806118.9	8989188.1	28.8	19.3	41.3
Zone no. 19	806118.3	8989188.5	28.7	24.4	36.8
Zone no. 20	806028.5	8989281.1	26.3	19.1	45.7
Zone no. 21	806027.9	8989281.7	26.3	25.3	47.0
Zone no. 22	805940.5	8989371.8	23.8	19.5	44.2
Zone no. 23	805940.0	8989372.2	24.0	24.0	43.6
Water Supplies					
Water Supply	(X,Y) (m)		Pressure (m)		Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4	8989500.4		46.0	-346.8

**Figura 42: Reporte de presiones en válvulas por diseño de matrices del T2**

**Tabla 9: Parámetros de matriz en la ruta crítica del turno #2 etapa final**

Tramo	Diámetro (mm) / Clase	Material	Caudal (m3/h)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Hf (m)
1	250/7.5	PVC	346.76	2.28	13.71	0.41
2	250/7.5	PVC	346.76	2.28	26.22	0.75
3	250/7.5	PVC	346.76	2.28	37.01	0.97
4	250/7.5	PVC	346.76	2.28	17.18	0.55
5	250/7.5	PVC	346.76	2.28	104.71	2.4
6	250/7.5	PVC	346.76	2.28	190.53	4.2
7	250/7.5	PVC	346.76	2.28	359.79	7.76
8	250/5	PVC	346.76	2.17	22.03	0.61
TOTAL	-	-	-	-	771.18	17.65

En la Tabla 9 se muestra los diámetros de la matriz de 250 mm, para un flujo máximo 346.76 m3/hr de circulación por las tuberías, resultando un valor de velocidad en 2.28 m/s aproximadamente hasta distribuir la presión en la válvula crítica, con una longitud de transporte de fluido de 771.18 m y pérdida de carga total de 17.65 m.c.a., producto de la fricción de la interna de la tubería. Adicionalmente, se aplicará la ecuación:

$$J = H_f/L * 100 (\%) = 17.65/771.18 * 100 = 2.29\%$$

Donde:

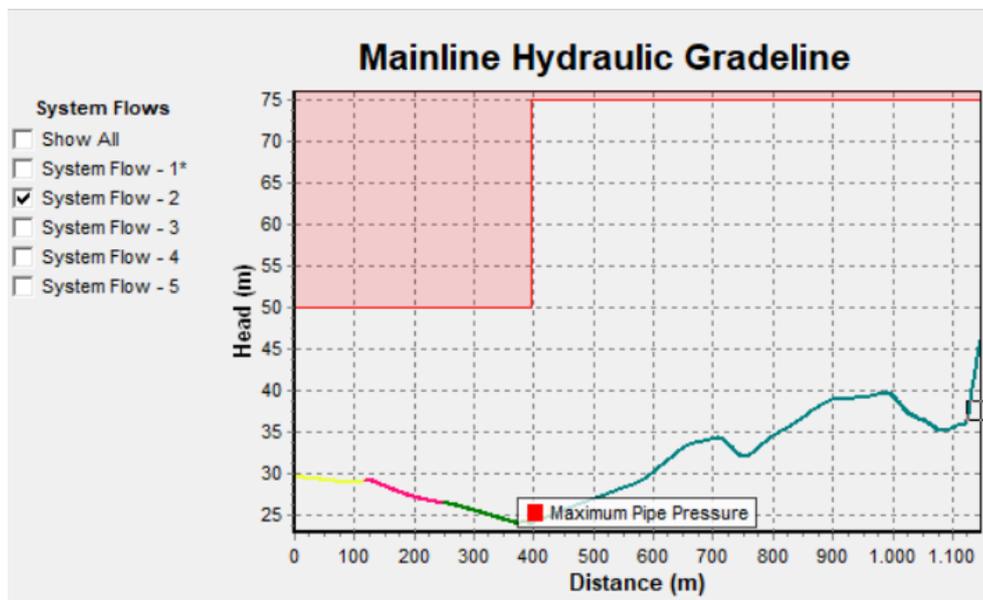
Hf= Pérdida de Carga Total del tramo

L= Longitud total de tramo

J= Perdida de Carga promedio del tramo.

Se obtuvo un valor de 2.29% para el tramo crítico, siendo lo ideal estar cercano al 1%, este indicador nos permite comprender que la selección de la tubería se encuentra cerca al límite de los valores permisibles y en condiciones de operación que no generen desgaste prematuro ( $J > 3.5\%$ ).

Para el turno #2 se tiene una presión de salida a campo de 46 m.c.a., y una presión de llegada de 24.0 m.c.a. en la válvula 23. El diferencial resultante fue de 22 m.c.a. en un tramo de 771.18 metros. La sección crítica presentó una pérdida de carga total para la entrega de presión requerida en la válvula; traducida al 2.85% del recorrido total. En las Figuras, podemos observar el comportamiento de distribución de la gradiente hidráulica.



**Figura 43: Gradiente Hidráulico para la zona baja durante el T1**

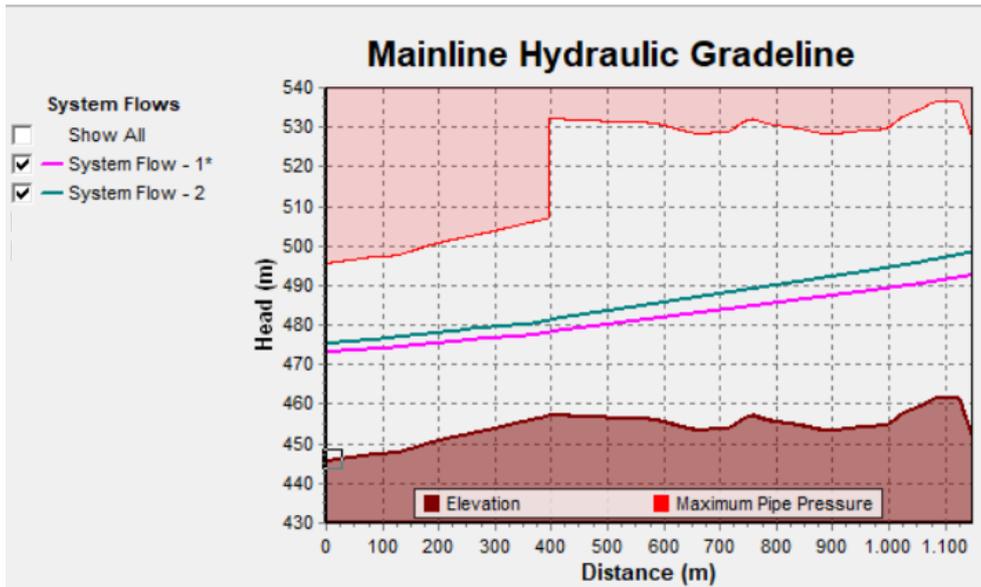


Figura 44: Gradiente Hidráulico para todos los turnos en la zona alta

- **Turnos #1 y #2, operación en zona alta:**

En la siguiente Figuras , se puede evidenciar que los turnos #1 y #2 producen un efecto de presión negativa en las zonas altas de la tubería matriz, no se profundiza en este fenómeno porque no es objeto del trabajo, sin embargo por experiencia se expone que la evidencia de presiones negativas en una tubería son sinónimo de que el fluido no puede llegar a presurizar toda la red del sistema, debido a que la energía y flujo están concentrados en otra zona del sistema, ante ello se tomó contacto con el proveedor de válvulas de aire y este nos brindó el dimensionamiento adecuado para este sector, con eso evitamos que ocurra un efecto negativo en el sistema durante la operación.

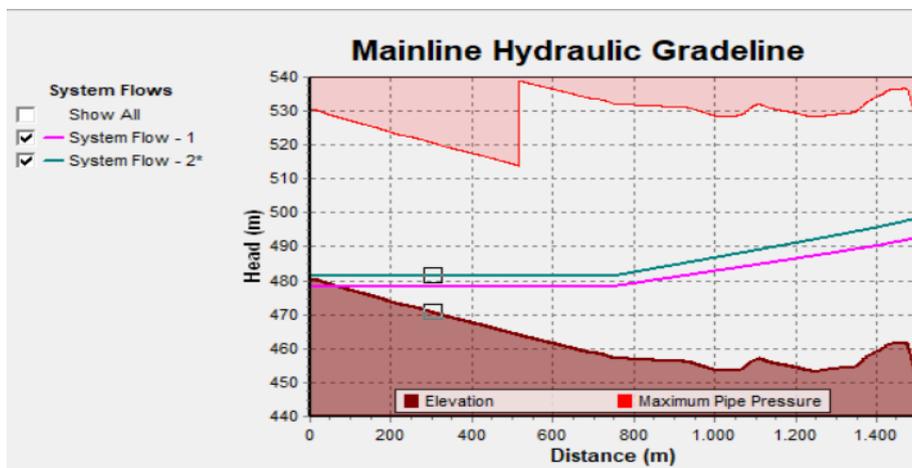
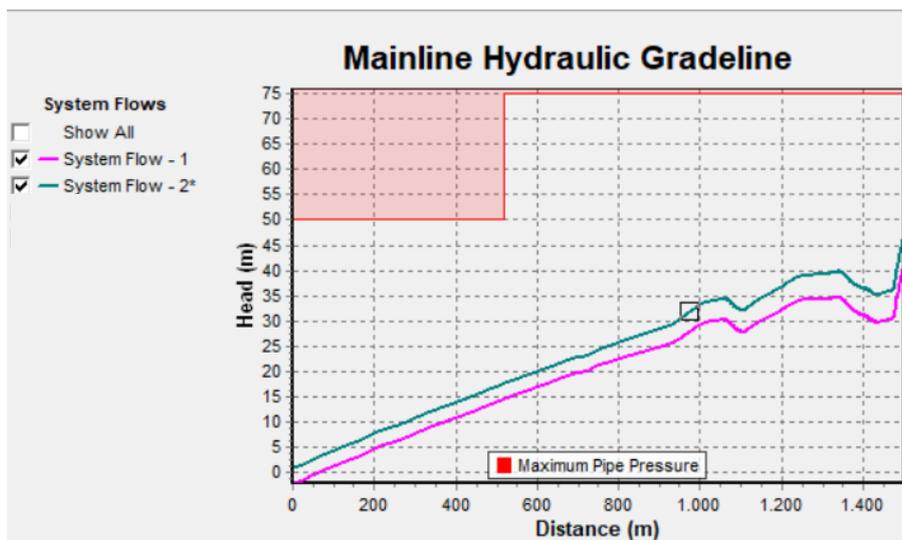


Figura 45: Gradiente Hidráulico en la zona alta para los turnos bajos



**Figura 46: Identificación de presiones negativas en los turnos 1 y 2**

#### 4.3.4. Dimensionamiento de la Válvula Hidráulica de Matriz

Para el dimensionamiento se utilizó la ecuación de Kv para el tipo de válvulas, según información del fabricante se calculó el cuadro siguiente:

**Tabla 10: Rango de operación de las alternativas de selección para la válvula hidráulica de matriz**

Tipo de Válvula Bermad	Kv	Rango de Caudales (m <sup>3</sup> /hr)		Rango de $\Delta P$ (m.c.a.)	
		Q máx.	Q mín.	$\Delta P$ máx.	$\Delta P$ mín.
IR-S400-6"-G	458	346.8	166.6	5.73	1.32
IR-S400-8"-G	781	346.8	166.6	1.97	0.46

Del cuadro anterior, los caudales máximo y mínimo son referenciados en función a los parámetros de operación de los turnos #1 y #2, tanto en la etapa inicial como en la etapa final. Estos equipos presentan el menor requerimiento de presión del sistema, por tal motivo se optó por seleccionar el diámetro de 8" para la válvula, optimizando los futuros costos energéticos con menor gasto en la línea, el valor de pérdida se redondeará en 6 m.c.a. y debe ser considerando para los cálculos de Presión de Salida a Campo y ADT. Adicionalmente, se ha propuesto utilizar un circuito con piloto reductor y relé hidráulico en la válvula a fin de proteger la zona baja de sobrepresiones transitorias y activar vía remota la operación de esta, esto por la experiencia en el manejo de sistemas de riego.

#### 4.3.5. Cálculo de la presión de salida a campo

Para calcular la presión de salida a campo, se identificaron todos los consumos que existen en la línea de conducción hacia las válvulas críticas, adicionalmente por recomendación del fabricante de válvulas, se optó por considerar un valor de 5 m.c.a. por encima de la válvula crítica, a fin de que tenga la presión disponible para operar, con el paso del tiempo el sistema va perdiendo eficiencia, siendo este valor el más recomendable. A continuación, se presentan las presiones de salida a campo calculadas para la etapa inicial y final del sistema.

**Tabla 11: Presiones de salida a campo para la etapa inicial del sistema**

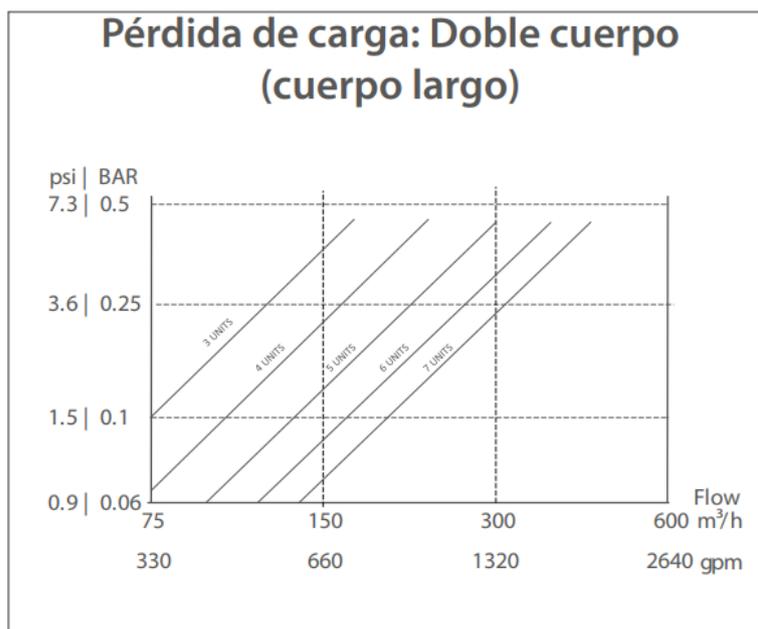
Turno	Válvula Crítica	Caudal (m3/hr)	Presión Calculada por IRRICAD (m.c.a.)	Presión Adicional a la Valv. Crítica (m.c.a.)	Cobertura de Seguridad por presión adicional (%)	Perdida Válvula Matriz (m.c.a.)	Presión de Salida a Campo (m.c.a.)
1	2	210.5	28.1	3.5	12.46	2	33.6
2	23	232.1	32.5	3.5	10.77	2	38
3	13	241.5	48.8	3.5	7.17	0	52.3
4	15	184.5	55	3.5	6.36	0	58.5

**Tabla 12: Presiones de salida a campo para la etapa final del sistema**

Turno	Válvula Crítica	Caudal (m3/hr)	Presión Calculada por IRRICAD (m.c.a.)	Presión Adicional a la Valv. Crítica (m.c.a.)	Cobertura de Seguridad por presión adicional (%)	Perdida Válvula Matriz (m.c.a.)	Presión de Salida a Campo (m.c.a.)
1	2	315.4	40.2	3.5	8.71	2	45.7
2	23	346.8	46	3.5	7.61	2	51.5
3	26	238.7	44.3	3.5	7.90	0	47.8
4	29	232.8	57.7	3.5	6.07	0	61.2
5	15	166.4	55.2	3.5	6.34	0	58.7

#### 4.3.6. Dimensionamiento de la estación de filtrado y manifold de control, cálculos de la Altura Dinámica Total

Se procedió a realizar la selección del sistema del sistema de filtrado, para el cual se tiene como alternativa el modelo F2750 de Rivulis, principalmente el de diámetro de conexión 3” y diseño doble cuerpo. En la Figura, podemos observar la gráfica de relación caudal vs. pérdida de carga para distintas unidades que componen la batería de filtro:



**Figura 47: Pérdida de carga para F7250 doble cuerpo de 3”**

Se optó por seleccionar el filtro de mayor caudal permitido, en este caso el de 7 unidades de cuerpo. Según la gráfica, se espera obtener pérdidas cercanas al 0.25 bar o 2.5 m.c.a. para caudales cercanos a 300 m<sup>3</sup>/hr y de 3.5 m.c.a. para el valor de 346.76 m<sup>3</sup>/hr como caudal máximo de todo el sistema. El caudal del retrolavado para esta operación resultó en 22 m<sup>3</sup>/hr según fabricante.

**a. Diseño de la tubería succión de succión y descarga:**

**Tabla 13: Cálculos para la tubería de succión del cabezal**

Caudal	Q	Material	Diam. Externo	Diam. Interno	Longitud	C	Hf	Velocidad
	(m <sup>3</sup> /hr)		(“)	(mm.)	(m)		(m.c.a.)	(m/s)
Max.	346.8	AC	10"	254.6	10	110	0.22	2.05
Min	166.8	SCH-40					0.05	0.90

**Tabla 14: Cálculos para la tubería de descarga del cabezal**

Caudal	Q	Material	Diam. Externo	Diam. Interno	Longitud	C	Hf	Velocidad
	(m <sup>3</sup> /hr)		(“)	(mm.)	(m)		(m.c.a.)	(m/s)
Max.	346.8	AC	8"	202.7	12.5	110	0.84	3.30
Min	166.8	SCH-40					0.19	1.45

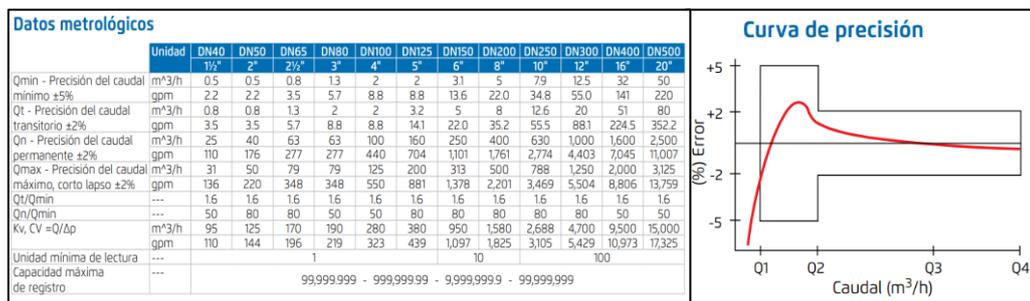
Se definió el diámetro de succión en 10” de acero al carbono SCH-40 y 8” para la descarga. Adicionalmente para la succión se calculó la sumergencia mínima necesaria para no generar problemas a la bomba.

$$S_m = \left(\frac{V^2}{2g}\right) + 0.1 = (0.21+0.1) = 0.31 \text{ m.}$$

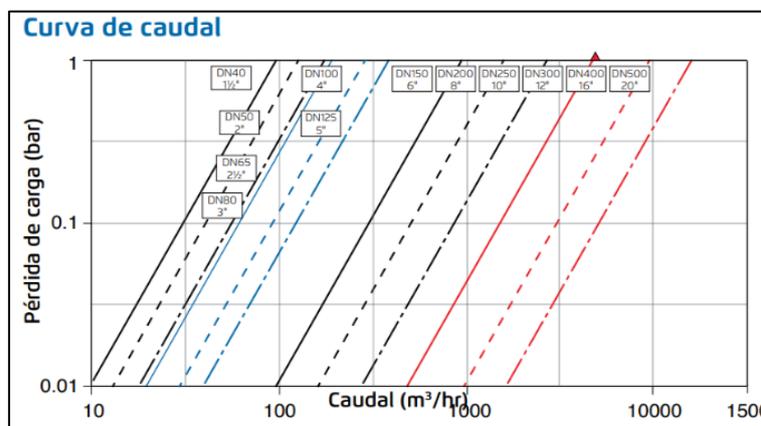
**b. Dimensionamiento de Valvulería principal en el manifold de cabezal:**

- **Hidrómetro:**

El modelo seleccionado fue TURBO-BAR-RM, el cual cumple con las condiciones de emisor de pulsos, esto le permite comunicarse con un controlado de riego, es necesario conocer la tasa del pulso para este caso fue 1 m3/pulso. Lo usual en estos sistemas es que el medidor sea del mismo diámetro que el manifold de descarga, sin embargo, se revisó que para los caudales propuestos la precisión de datos metrológicos es mejor en 6”, esta información se puede observar en las siguientes figuras. Es importante que el hidrómetro tenga una distancia libre de interrupciones de 5D aguas arriba y 3D agua debajo, donde D es el diámetro del medidor.



**Figura 48: Datos metrológicos y de precisión para el medidor TurboBar**



**Figura 49: Grafica de pérdida de carga del TurboBar**

Con la Figura, se logró calcular la pérdida de carga asociada al medidor de 6", la cual resulta de un en máximo 0.8 m.c.a.

- **Válvula de Alivio:**

La válvula de alivio se dimensiono para aliviar al menos 1/3 del caudal máximo en circulación por el sistema (346.8 m3/hr).

**Tabla 15: Parámetros de operación de la válvula de alivio del sistema**

Q (m3/hr)	Material	Diam. Externo (")	Diam. Interno (mm.)	Velo. (m/s)
115.6	AC SCH-40	3"	77.9	6.73

El resultado indica que para una tubería de acero al carbono sch-40, se tiene una velocidad de 6.73 m/s para el máximo caudal, esta sería la velocidad de entrada a la válvula. Se consideró que la válvula excede en 0.23 m3/s a la recomendación del fabricante, no se aumentó el diámetro ya que en experiencia los resultados obtenidos son satisfactorios, únicamente se debe tener en cuenta la correcta calibración del piloto de la válvula en función al máximo ADT de funcionamiento. La operación de la válvula de alivio se complementó con la adición de válvulas de aire en el manifold del cabezal.

- **Válvula de Corte y Retención:**

Se implementaron las válvulas de corte para el correcto manejo de la operación y mantenimiento del sistema, la válvula de retención fue considerada en la salida del cabezal antes del ingreso a la red de PVC, debido a que por topografía se evidenció presencia de presión estática en este punto.

**c. Cálculos de Altura Dinámica Total (ADT):**

Por otro lado, para los cálculos para la Altura Dinámica Total (ADT), se consideró un valor de pérdida de 10 m.c.a. para los filtros, debido al desgaste que ocurre conforme opera el sistema, aumentando la pérdida de carga del producto. Adicionalmente se incluyen las pérdidas de carga por valvulería y accesorios del cabezal, y para la carga procedente de la succión, se revisó el esquema del pase de tubería existente dentro de la cámara húmeda, teniendo una carga de 2.5 m.c.a. positiva y constante ya que el sistema tiene un control de

nivel de llenado implementado por el usuario final.

Se obtuvo como resumen las pérdidas generadas en el cabezal:

- Manifold 10" y accesorios: 2.0 m.c.a. (considera succión y descarga)
- Hidrómetro: 0.8 m.c.a.
- Valvulería: 2.2 m.c.a.

**Tabla 16: Calculo del ADT para la etapa inicial del sistema**

Turno	Caudal (m3/hr)	Presión Salida a Campo (m)	Carga en la Succión (m)	Filtros (m)	Hf Valv + Acc. (m)	Seguridad (%)	ADT (m)
1	210.5	33.6	2.5	10	5	1.5	46.8
2	232.1	38	2.5	10	5	1.5	51.3
3	241.5	52.3	2.5	10	5	1.5	65.8
4	184.5	58.5	2.5	10	5	1.5	72.1

**Tabla 17: Calculo del ADT para la etapa final del sistema**

Turno	Caudal (m3/hr)	Presión Salida a Campo (m)	Carga en la Succión (m)	Filtros (m)	Hf Valv + Acc. (m)	Seguridad (%)	ADT (m)
1	315.4	49.7	2.5	10	5	1.5	59.1
2	346.8	55.5	2.5	10	5	1.5	65.0
3	238.7	47.8	2.5	10	5	1.5	61.2
4	232.8	61.2	2.5	10	5	1.5	74.8
5	166.4	58.7	2.5	10	5	1.5	72.3

#### 4.3.7. Selección de la bomba de riego y tipo de operación

Para la selección de la bomba se adiciona un factor de seguridad sobre los cálculos de caudal manteniendo el mismo objetivo de ADT calculado en la sección anterior.

**Tabla 18: Calculo del ADT para la etapa inicial del sistema**

Caudal de Retro lavado = 6.1 l/s.					
Turno	Caudal (m3/hr)	Caudal +5% (m3/hr)	Caudal +5% (l/s)	Caudal +5% Retrolavado (l/s)	ADT (m)
1	210.5	221.03	61.4	67.5	46.8
2	232.1	243.71	67.7	73.8	51.3
3	241.5	253.58	70.4	76.5	65.8
4	184.5	193.73	53.8	59.9	72.1

**Tabla 19: Calculo del ADT para la etapa final del sistema**

Caudal de Retro lavado = 6.1 l/s.					
Turno	Caudal (m3/hr)	Caudal +5% (m3/hr)	Caudal +5% (l/s)	Caudal +5% Retrolavado (l/s)	ADT (m)
1	315.4	331.17	92	98.1	63.1
2	346.8	364.14	101.2	107.3	69
3	238.7	250.64	69.6	75.7	61.2
4	232.8	244.44	67.9	74.0	74.8
5	166.4	174.72	48.5	54.6	72.3

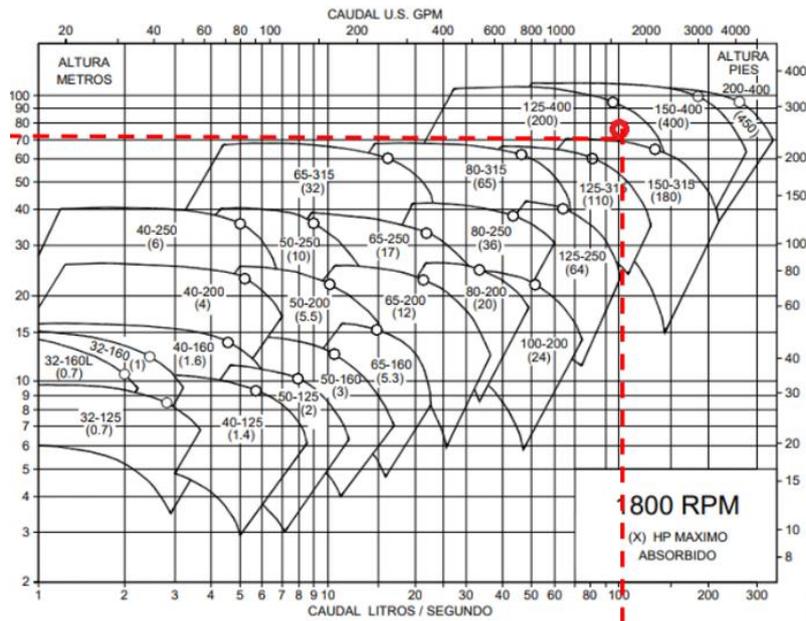
La experiencia propia advierte que para esta selección el punto crítico se encuentra en la etapa final, turno #2, principalmente la selección debe enfocarse en cubrir al mínimo este punto de operación. Adicional, se procedió a identificar el parámetro de NPSH disponible, a fin de considerar el valor máximo permitido en la identificación del NPSH requerido de la bomba dentro de los catálogos para la selección del equipo de bombeo.

$$(NPSH)_d = Pa + H_{suc} - H_f - P_v$$

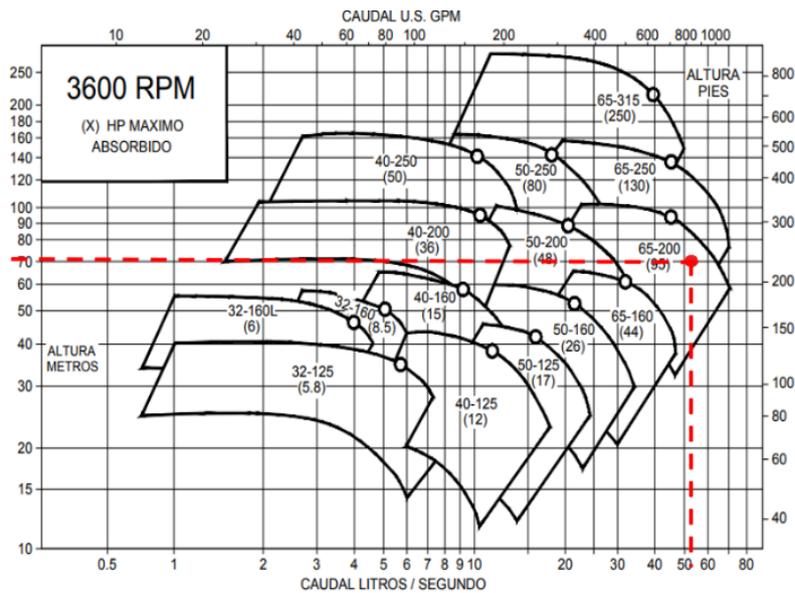
$$(NPSH)_d = 10 + 2.5 - 1 - 0.25 = 11 \text{ m.c.a.}$$

#### 4.3.7.1. Identificación de alternativas de selección del equipo de bombeo

Los requerimientos del usuario final indicaban que la bomba proceda del origen centrifuga aplicación horizontal, y de eje libre, principalmente de marca Hidrostal con el modelo ISO BOMBA CENTRIFUGA ISO 2858 con operación a 60 Hz. Por tal motivo, dentro de los catálogos, se analizaron las combinaciones posibles para cumplir los puntos críticos del sistema (ADT=69 m.c.a.; Q=107.3 l/s) durante el riego en simultaneo con un retrolavado del filtro. Se identificó dos escenarios posibles de selección del equipo. El primer escenario consiste en utilizar solamente un equipo de bombeo, con velocidad de giro en 1800 RPM; mientras que el segundo escenario presenta una combinación de funcionamiento de equipos de bombeo en paralelo de las mismas características, lo cual indica que el punto de operación por cada equipo es 69 m.c.a. de ADT y 53.65 l/s de caudal, estos equipos presentaban una velocidad de giro de 3600 RPM.



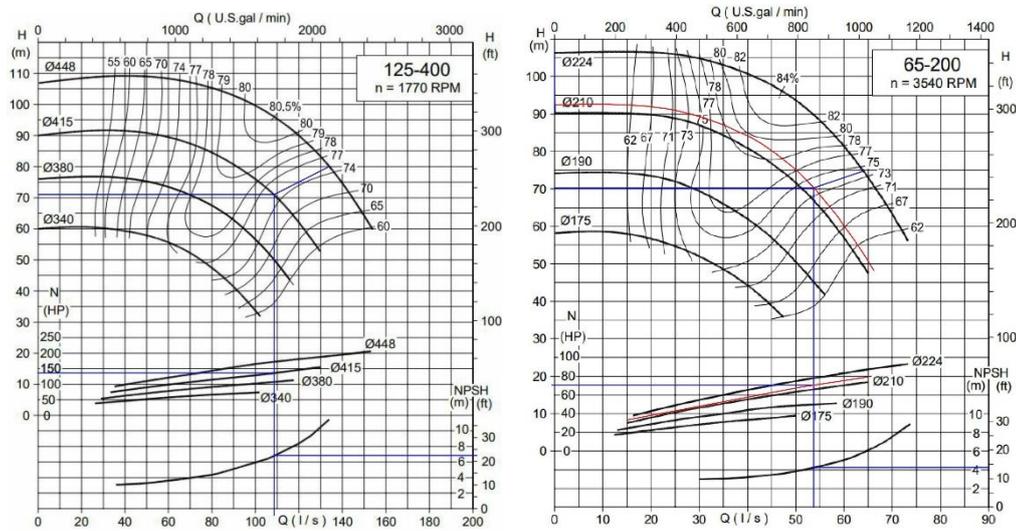
**Figura 50: Selección del primer escenario para el sistema de bombeo**



**Figura 51: Selección del segundo escenario para el sistema de bombeo**

Como resultado, la selección de equipos para el primer escenario contempló 01 unidad del modelo 125-400, y para el segundo escenario 02 unidades del modelo 65-200. Para la elección del escenario óptimo para el sistema, se procedió a la identificación de las curvas de operación propias cada modelo, donde se calculó el diámetro del impulsor, y se analizó para el punto de selección, los valores de NPSH, eficiencia y potencia absorbida que requiere el equipo, también es necesario considerar el factor de inversión económica del sistema, para

lo cual se tomó el mayor costo como el valor unitario y se calculó el factor del menor sobre este.



**Figura 52: Comparativa de curvas características para los escenarios de bombeo**

**Tabla 20: Cuadro comparativo de escenarios para la selección del sistema de bombeo**

Modelo de Bomba	Nº de Equipos	Velocidad de Giro	Diámetro del Impulsor	Caudal de Selección	ADT Ofertado	Eficiencia de la Bomba	Potencia Absorbida	Factor de Inversión
		RPM	(mm)	(l/s)	(m)	(%)	(HP)	
125-400-60 Hz	1	1770	415	107.3	71.2	75.3	136.08	0.925
65-200 – 60 Hz	2	3540	212	53.7 (1) 107.4 (2)	70	74.2	70.28 (1) 140.56 (2)	1.00

Nota: (1) operación de una bomba y (2) operación dos bombas en paralelo

Con la comparación de escenarios realizada, se optó por elegir el primero de estos, ya que resulta favorable el manejo de solo 01 equipo en operación en lo respecta a futuros mantenimientos, la eficiencia se encuentra por encima, si bien es cierto por muy poco, pero las principales implicancias para la toma de la decisión respectan al menor consumo energético del punto crítico de operación, y la menor inversión a realizar para el equipamiento. Adicional, Se define que el máximo NPSHr de la bomba para la operación critica es de 6.5 m.c.a., y el requerido de 11.5 m.c.a., la diferencia de estos es de 5 m.c.a. garantizando una correcta operación sin problema de cavitación.

#### 4.3.7.2. Estimación de la operación con Variador de Frecuencia y Análisis Energético para el sistema de bombeo

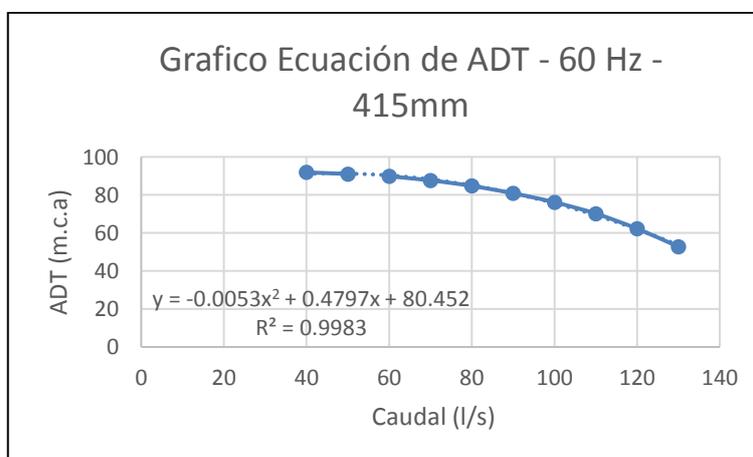
Para reducir el consumo energético de la operación en los turnos donde no se requiere la máxima capacidad de la bomba se utilizó un tipo de arranque por Variador de Frecuencia (VDF). La estimación del tipo de operación inicia con los puntos de la bomba específica.

**Tabla 21: Datos de operación de la bomba 125-400-415mm-60 Hz a 1770 RPM**

Caudal (l/s)	ADT (m.c.a.)	Eficiencia (nb) %	NPSHr (m.c.a.)	Potencia Absorbida (HP)	Factor Isoeficiencia "K"	Factor Eficiencia
40	91.86	60.5	3.1	80.05	0.05741	0.76
50	91	67.2	3.3	90.25	0.03640	0.85
60	89.77	72.1	3.56	99.35	0.02494	0.91
70	87.64	75.5	3.95	107.5	0.01789	0.95
80	84.72	78.4	4.36	114.96	0.01324	0.99
90	80.84	79.1	5.13	122.01	0.00998	1.00
100	76.13	78.1	5.96	129.51	0.00761	0.99
110	70.15	74.8	7.02	138.47	0.00580	0.95
120	62.21	67.5	8.43	147.55	0.00432	0.85
130	52.74	59	10.57	156.81	0.00312	0.75

Una vez obtenidos los puntos, se partió calculando inicialmente la ecuación del ADT. Para ello, se llevó a cabo su representación gráfica seguido del modelamiento a una curva polinómica de grado dos. En la Figura se puede visualizar con claridad la curva ADT junto a su ecuación correspondiente, respaldada por un elevado coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9983. Este coeficiente de determinación demuestra un ajuste altamente preciso entre la curva teórica y los datos empíricos.

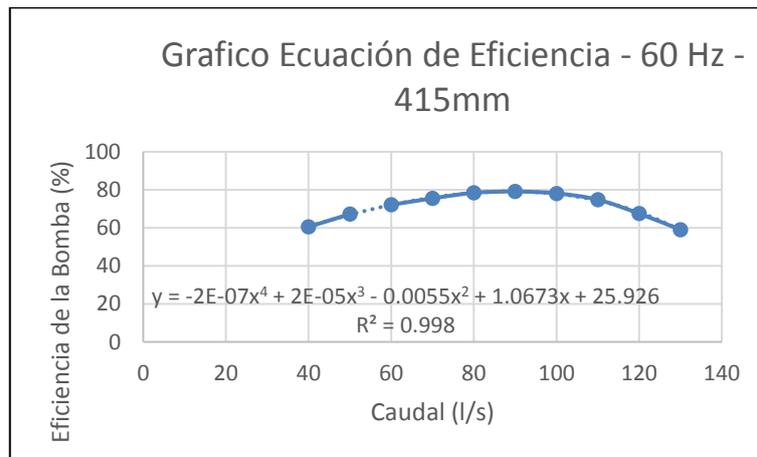
$$ADT = -0.0053(Q^2) + 0.4797(Q) + 80.452$$



**Figura 53: Curva de ADT de la bomba de riego**

Se aplicó el mismo proceso para ajustar la ecuación de la eficiencia. El principal problema de ajustar los datos a una curva polinómica de segundo grado ( $R^2 = 0.9828$ ) fue producido por la carencia de datos con eficiencias en caudales menor a 40 l/s, ocasionado por que el fabricante no lo brinda en su catálogo. Por motivos prácticos, se decidió ajustar la curva al grado que mejor valor de  $R^2$ , determinando una ecuación de cuarto grado ( $R^2 = 0.998$ ) encontrando valores mejor representativos.

$$nb = -2E - 07(Q^4) + 2E - 05(Q^3) - 0.0055(Q^2) + 1.0673(Q) + 25.926$$



**Figura 54: Curva de eficiencia de la bomba de riego**

Para el caso de la potencia, fue necesario extraer mayores puntos de la gráfica del fabricante a fin de optimizar el coeficiente de determinación de la ecuación, con estos datos se presentó un mejor ajuste a una ecuación polinómica de segundo grado ( $R^2 = 0.9977$ ). Se presenta la ecuación:

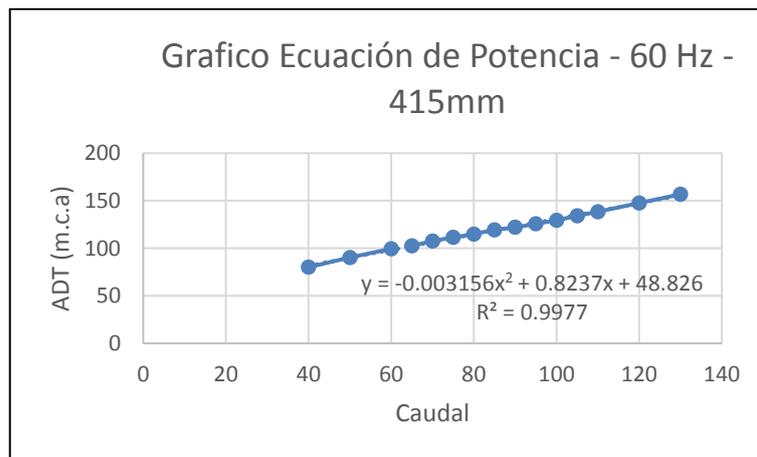
$$Pot = -0.003156(Q^2) + 0.8237(Q) + 48.826$$

**Tabla 22: Puntos de caudal y potencia extraídos del catálogo del fabricante**

Caudal (l/s)	Potencia Absorbida (HP)
40	80.05
50	90.25
60	99.35
65	102.52
70	107.5
75	111.4
80	114.96

«Continuación»

85	119.3
90	122.01
95	125.75
100	129.51
105	134.09
110	138.47
120	147.55
130	156.81



**Figura 55: Curva de potencia hidráulica de la bomba de riego**

No se realizó la curva de NPSHr, ya que previamente se ha garantizado la correcta operación del punto de máxima demanda, no se evidencia presencia de cavitación para la selección realizada.

Para el siguiente paso se utilizaron los coeficientes K, identificado por el fabricante, se aplicó el concepto de los puntos de isoeficiencia a fin de utilizar únicamente los puntos de operación que se encuentren por encima del 95% de la eficiencia en el mejor punto definido en la operación de máxima velocidad (79.1%). Se introduce el valor de caudal en la ecuación descrita de isoeficiencia para estimar el ADT en este punto, luego obtenemos por leyes de afinidad del caudal la velocidad para ese punto.

**Tabla 23: Estimación del comportamiento de ADT y Frecuencia para los puntos de isoeficiencia conocidos - Etapa inicial**

Turno	Caudal+5% Retrolavado (l/s)	ADT (m.c.a.)	Valores de ADT por Isoeficiencia (m.c.a)					Valores de Frecuencia por Isoeficiencia (Hz)				
			T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	67.51	46.80	81.52	60.33	45.49	34.70	26.42	57.87	50.63	45.01	40.51	36.82
2	73.81	51.30	97.44	72.12	54.37	41.48	31.59	63.27	55.36	49.21	44.29	40.26
3	76.51	65.80	104.70	77.49	58.42	44.57	33.94	65.58	57.38	51.01	45.91	41.73
4	59.91	72.10	64.20	47.51	35.82	27.33	20.81	51.35	44.93	39.94	35.95	32.68

**Tabla 24: Estimación del comportamiento de ADT y Frecuencia para los puntos de isoeficiencia conocidos - Etapa final**

Turno	Caudal +5% Retrolavado (l/s)	ADT (m)	Valores de ADT por Isoeficiencia (m.c.a)					Valores de Frecuencia por Isoeficiencia (Hz)				
			T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	98.11	63.10	172.16	127.42	96.07	73.28	55.81	84.10	73.58	65.41	58.87	53.52
2	107.31	69.00	205.97	152.44	114.93	87.67	66.76	91.98	80.48	71.54	64.39	58.53
3	75.71	61.20	102.52	75.88	57.21	43.64	33.23	64.90	56.78	50.47	45.43	41.30
4	74.01	74.80	97.97	72.51	54.67	41.70	31.76	63.44	55.51	49.34	44.41	40.37
5	54.61	72.30	53.34	39.48	29.76	22.70	17.29	46.81	40.96	36.41	32.77	29.79

Nota:

T1: Puntos de Isoeficiencia para Q: 70 l/s, ADT=87.64, K=0.01789, Eficiencia = 0.95(Eficiencia Máxima) – 60 Hz

T2: Puntos de Isoeficiencia para Q: 80 l/s, ADT=84.72, K=0.01324, Eficiencia = 0.99(Eficiencia Máxima) – 60 Hz

T3: Puntos de Isoeficiencia para Q: 90 l/s, ADT=80.84, K=0.00998, Eficiencia = 1.0(Eficiencia Máxima) – 60 Hz

T4: Puntos de Isoeficiencia para Q: 100 l/s, ADT=76.13, K=0.00761, Eficiencia = 0.99(Eficiencia Máxima) – 60 Hz

T5: Puntos de Isoeficiencia para Q: 110 l/s, ADT=70.5, K=0.00580, Eficiencia = 0.95(Eficiencia Máxima) – 60 Hz

En el cuadro anterior se presentaron valores por encima de 60 Hz, esto quiere decir que el sistema no tiene la capacidad de trasladarse para cubrir ese punto de operación, producto de su propio funcionamiento y del impulsor máximo seleccionado, solo se debe considerar valores por debajo de la frecuencia nominal de trabajo del equipo. Esta información permitió conocer un aproximado del ADT a obtener en función a la reducción de frecuencia en la operación de la bomba, específicamente en relación con el caudal de cada turno, para la selección final se programó una hoja de cálculo en Excel con las fórmulas de leyes de afinidad y se realizaron iteraciones a fin de estimar el mejor escenario, los rangos de frecuencia a introducir fueron definidos por el cuadro anterior. Como ejemplo en el turno 5 de la etapa final se observó que no se dispone de la oferta mínima de ADT que demanda la operación, también que la frecuencia mínima de operación para un rendimiento de del 95% de la eficiencia máxima de la bomba con diámetro de impulsor en 415 mm, fue de 46.81 Hz, sobre esto se entiende que la bomba no tiene la capacidad de entregar el ADT requerido para el caudal específico con rendimientos altos, por ende, se realizaron las iteraciones buscando un menor rendimiento de operación en la bomba y elevando la frecuencia. Como resultado las velocidades de operación calculadas se muestran a continuación:

**Tabla 25: Velocidades de operación para la etapa inicial del sistema**

Caudal de Retrolavado = 6.1 l/s.							
Turno	Caudal (m3/hr)	Caudal +5% (m3/hr)	Caudal +5% (l/s)	Caudal +5% Retrolavado (l/s)	ADT Demanda (m.c.a.)	Velocidad de Operación RPM	Frecuencia Estimada Hz
1	210.5	221.03	61.4	67.5	46.8	1338	45.35
2	232.1	243.71	67.7	73.8	51.3	1431	48.50
3	241.5	253.58	70.4	76.5	65.8	1578	53.50
4	184.5	193.73	53.8	59.9	72.1	1587	53.80

**Tabla 26: Velocidades de operación para la etapa final del sistema**

Caudal de Retrolavado = 6.1 l/s.							
Turno	Caudal (m3/hr)	Caudal +5% (m3/hr)	Caudal +5% (l/s)	Caudal +5% Retrolavado (l/s)	ADT Demanda (m.c.a.)	Velocidad de Operación RPM	Frecuencia Estimada Hz
1	315.4	331.17	92	98.1	63.1	1667	56.50
2	346.8	364.14	101.2	107.3	69	1733	58.75
3	238.7	250.64	69.6	75.7	61.2	1527	51.75
4	232.8	244.44	67.9	74.0	74.8	1656	56.15
5	166.4	174.72	48.5	54.6	72.3	1596	54.10

Conocidas las velocidades de operación por cada turno y etapa del sistema, se procede con la simulación independiente de los escenarios de operación estándar y con retrolavado. Para ello se estimó la ecuación matemática del ADT en función del caudal, para cada velocidad seleccionada, a fin de simular los dos caudales de operación por velocidad.

**Tabla 27: Ecuación de ADT para las distintas velocidades de la etapa inicial del sistema**

Turno	Velocidad de Operación	Frecuencia Estimada	Coeficiente de la Ecuación ADT			Coeficiente de Determinación
	RPM	Hz	A	B	C	$R^2$
1	1338	45.35	-0.00528045	0.36235818	45.9681179	99.83
2	1431	48.5	-0.00528295	0.38787548	52.5643339	
3	1578	53.5	-0.0052806	0.42747527	63.9745684	
4	1587	53.8	-0.00528217	0.43009286	64.6896703	

**Tabla 28: Ecuación de ADT para las distintas velocidades de la etapa final del sistema**

Turno	Velocidad de Operación	Frecuencia Estimada	Coeficiente de la Ecuación ADT			Coeficiente de Determinación
	RPM	Hz	A	B	C	$R^2$
1	1667	56.5	-0.00528185	0.45084228	71.0924227	99.83
2	1733	58.75	-0.00528415	0.47005591	77.1233167	
3	1527	51.75	-0.00528083	0.41352959	59.8590923	
4	1656	56.15	-0.00528181	0.44885863	70.4624575	
5	1596	54.1	-0.00528059	0.43236707	65.4095658	

Se evidenció que, para los modelamientos o ajustes de la ecuación de segundo grado, los coeficientes de determinación son semejantes al de la curva para 60 Hz, esto se debe a que los puntos a diferente velocidad se obtienen aplicando relaciones aritméticas y geométricas a estos valores, por consecuencia presentan el mismo coeficiente y se distribuyen de la misma forma, únicamente variando en los coeficientes. Con esta información se procedió a realizar el análisis de ADT en oferta y demanda para los escenarios descritos.

**Tabla 29: Evaluación de presiones ofertadas para la etapa inicial**

Turno	ADT Demanda (m.c.a.)	Caudal Estándar (l/s)	ADT Ofertado (m.c.a.)	Diferencial (m.c.a.)	Caudal Retrolavado (l/s)	ADT Ofertado (m.c.a.)	Diferencial (m.c.a.)
1	46.8	61.4	47.7	0.9	67.5	46.8	0.02
2	51.3	67.7	52.3	1.0	73.8	51.0	-0.28
3	65.8	70.4	67.9	2.1	76.5	65.7	-0.03
4	72.1	53.8	72.5	0.4	59.9	71.6	-0.40

**Tabla 30: Evaluación de presiones ofertadas para la etapa final.**

Turno	ADT Demanda (m.c.a.)	Caudal Estándar (l/s)	ADT Ofertado (m.c.a.)	Diferencial (m.c.a.)	Caudal Retrolavado (l/s)	ADT Ofertado (m.c.a.)	Diferencial (m.c.a.)
1	63.1	92	67.9	4.8	98.1	64.5	1.39
2	69	101.2	70.6	1.6	107.3	67.7	-1.28
3	61.2	69.6	63.1	1.9	75.7	60.9	-0.30
4	74.8	67.9	76.6	1.8	74.0	74.8	-0.05
5	72.3	48.5	74.0	1.7	54.6	73.3	0.97

Los resultados indican que para las condiciones de operación estándar el diferencial entre la presión ofertada y la demandada es un valor positivo, indicando disponibilidad de este ante eventualidades. Sobre la condición de retrolavado se presentan diferenciales negativos como margen de -1.28 m.c.a, se decidió que estos valores pueden ser absorbidos por todas las seguridades consideradas previamente en el diseño del sistema.

Para proseguir con el análisis de consumo energético, se decidió evaluar únicamente la condición estándar ya que es la se presentará mayormente durante la operación, se estima que los retrolavados duren aproximadamente 3 minutos por ciclo efectuado, teniendo al día un aproximado de 4 ciclos, del total de 18.5 horas de operación.

Se realizó el cálculo de la eficiencia de los puntos a velocidad reducida, para ello es necesario conocer la eficiencia de los puntos homólogos a 60 Hz ya que, por lo expresado en la metodología, si los puntos de velocidad reducida operan en valores superiores a 40 Hz, se cumple la condición de semejanzas de eficiencia. Por otro lado, conociendo la potencia de los puntos a 60 Hz podemos aplicar las leyes de afinidad para conocer la nueva potencia a velocidad reducida. Se empleó la ecuación de eficiencia y potencia de la bomba a 60 Hz para los cálculos del cuadro siguiente.

**Tabla 31: Cálculos de eficiencia y potencia absorbida para las velocidades reducidas de operación – etapa inicial**

Turno	Puntos de Operación con Velocidad reducida					Puntos de Isoeficiencia a Velocidad Total				
	Velocidad de Operación	Caudal Estándar	ADT Ofertado	Potencia Absorbida	Eficiencia Bomba	Velocidad de Operación	Caudal Estándar	ADT Ofertado	Potencia Absorbida	Eficiencia Bomba
	RPM	(l/s)	(m.c.a.)	(HP)	(%)	RPM	(l/s)	(m.c.a.)	(HP)	(%)
1	1338	61.4	47.7	49.44	78.41	1770	81.7	84.4	116.42	78.41
2	1431	67.7	52.3	62.29	78.64	1770	83.8	83.6	117.93	78.64
3	1578	70.4	67.9	81.09	77.98	1770	79.0	85.4	114.38	77.98
4	1587	53.8	72.5	71.35	71.89	1770	60.0	90.2	98.97	71.89

**Tabla 32: Cálculos de eficiencia y potencia absorbida para las velocidades reducidas de operación – etapa final**

Turno	Puntos de Operación con Velocidad reducida					Puntos de Isoeficiencia a Velocidad Total				
	Velocidad de Operación	Caudal Estándar	ADT Ofertado	Potencia Absorbida	Eficiencia Bomba	Velocidad de Operación	Caudal Estándar	ADT Ofertado	Potencia Absorbida	Eficiencia Bomba
	RPM	(l/s)	(m.c.a.)	(HP)	(%)	RPM	(l/s)	(m.c.a.)	(HP)	(%)
1	1667	92	67.9	105.91	78.10	1770	97.9	76.8	127.51	78.10
2	1733	101.2	70.6	122.88	76.74	1770	103.4	73.6	130.89	76.74
3	1527	69.6	63.1	74.23	78.27	1770	80.7	84.8	115.69	78.27
4	1656	67.9	76.6	89.69	76.51	1770	72.6	87.5	109.43	76.51
5	1596	48.5	74.0	68.48	68.86	1770	53.8	91.0	93.42	68.86

Según la información procesada, para la etapa inicial del sistema, se obtuvo como eficiencia mínima 71.89 y máxima de 77.9 %, las potencias absorbidas por la bomba oscilan desde los 49.44 hasta los 81.09 HP. A diferencia de la etapa final del sistema donde se obtuvieron valores de 68.86 como mínima eficiencia y 78.27 % como máxima, las potencias varían de entre 68.48 hasta los 122.88 HP. Aplicando rápidamente la eficiencia de la bomba sobre el punto de máxima potencia absorbida ( $122.88/0.7674$ ), se obtiene el valor de 168 HP como potencia máxima absorbida en el eje del motor, con esto valores se procedió con la selección de un motor de 175 HP para la operación propuesta del sistema de riego.

### 4.3.7.3. Selección del motor eléctrico y variador de frecuencia

De definió utilizar un motor IE3, esto quiere decir que cumple con eficiencias muy altas en un gran rango de diferentes cargas, enfocado en los puntos de operación diferentes a cumplir, la selección se tiene como propósito la mejorar el rendimiento de la bomba seleccionada ya que es usual encontrar mejores rendimientos en bombas horizontales de eje libre (superiores al 80%). Para fines prácticos se estableció el valor de 95% para la eficiencia de motor.

Carcasa	315S/M	Momento de inercia (J)	3.00 kgm <sup>2</sup>		
Potencia	132 kW (175 HP)	Categoría	N		
Numero de polos	4	Clase de aislamiento	F		
Frecuencia	60 Hz	Factor de servicio	1.25		
Rotación nominal	1791 rpm	Elevación de temperatura	80 K		
Resbalamiento	0.50 %	Ciclo de servicio	S1		
Tensión nominal	460 V	Método de partida	Partida directa		
Corriente nominal	200 A	Temperatura ambiente	-20°C hasta +40°C		
Corriente de arranque	1479 A	Altitud	1000 m		
Ip/In	7.4	Grado de protección	IP55		
Corriente en vacío	72.7 A	Refrigeración	IC411 - TEFC		
Torque nominal	71.8 kgfm	Forma constructiva	B3T		
Torque de arranque	260 %	Dirección de rotación <sup>1</sup>	Ambos		
Torque máximo	260 %	Nivel de ruido <sup>2</sup>	75.0 dB(A)		
Tiempo de rotor bloqueado	43s (frío) 24s (caliente)	Masa aproximada <sup>3</sup>	974 kg		
Eficiencia		Factor de potencia			
50%	75%	100%	50%	75%	100%
94.5	95.5	96.2	0.74	0.82	0.86

**Figura 56: Características Motor IE3**

Por otro lado, se eligió el VDF modelo CFW11, el cual ofrece eficiencias mayores a 97% y también permite aplicar la opción de “multispeed” (varios puntos de operación) a través de señales digitales. Tanto el VDF como el motor eléctrico son de la marca WEG.

Alimentación y rango de potencia		
Tensión y rango de potencia	Monofásica	220-240 V ca (+10%, -15%) (2 a 3 HP) 1,5 a 2,2 kW
	Trifásica	220-240 V ca (+10%, -15%) (2 a 75 HP) 1,5 a 55 kW
		380-480 V ca (+10%, -15%) (2 a 850 HP) 1,5 a 630 kW
		500-600 V ca (+10%, -15%) (2 a 850 HP) 1,5 a 630 kW
		660-690 V ca (+10%, -15%) (3 a 850 HP) 2,2 a 630 kW
Frecuencia	50/60 Hz (+/-2%: 48 a 63 Hz)	
Factor de potencia típico de entrada		0,94 para modelos con entrada trifásica en la condición nominal 0,70 para modelos con entrada monofásica en la condición nominal
Cos φ (factor de desplazamiento)		Mayor que 0,98
Eficiencia		Mayor que 0,97

**Figura 57: Características del Variador CFW11**

#### 4.3.7.4. Comparativa de costo energético para el escenario sin VDF contra el escenario utilizando VDF

Para calcular el escenario sin VDF, se utilizó las ecuaciones de ADT, Potencia y Eficiencia de la bomba, calculadas para la velocidad total de operación, referido al caudal de operación para ambas etapas del sistema, adicional se contempló el factor de eficiencia del motor en 95% y se estimó trabajar con un tipo de arranque “soft-start” o partidor suave, con factor de eficiencia 100%.

**Tabla 33: Consumo energéticos sin VDF para la etapa inicial del sistema**

Turno	Caudal	ADT	Potencia	Eficiencia	Eficiencia	Consumo del Sistema	
	Estándar (l/s)	Ofertado (m.c.a.)	Absorbida (HP)	Bomba (%)	Motor (%)	(HP)	(Kw)
1	61.4	90.0	100.18	72.51		145.43	109.08
2	67.7	88.7	105.50	74.98	95.00	148.12	111.09
3	70.4	88.0	107.71	75.87		149.43	112.07
4	53.8	91.0	93.43	68.87		142.81	107.11

**Tabla 34: Consumo energéticos sin VDF para la etapa final del sistema**

Turno	Caudal	ADT	Potencia	Eficiencia	Eficiencia	Consumo del Sistema	
	Estándar (l/s)	Ofertado (m.c.a.)	Absorbida (HP)	Bomba (%)	Motor (%)	(HP)	(Kw)
1	92	79.9	123.68	78.81		165.19	123.89
2	101.2	74.9	129.59	77.36	95.00	176.33	132.25
3	69.6	88.3	107.06	75.62		149.03	111.77
4	67.9	88.7	105.67	75.05		148.21	111.16
5	48.5	91.3	88.51	65.93		141.31	105.98

Respecto al escenario utilizando VDF, a los valores calculados en el capítulo anterior se le añadieron el factor de eficiencia del motor en 95% y el factor de eficiencia del variador de frecuencia en 97%.

**Tabla 35: Consumos energéticos de la red con VDF para la etapa inicial del sistema**

Turno	Velocidad (RPM)	Caudal	ADT	Potencia	Eficiencia	Eficiencia	Eficiencia	Consumo del Sistema	
		Estándar (l/s)	Ofertado (m.c.a.)	Absorbida (HP)	Bomba (%)	Motor (%)	VDF (%)	(HP)	(Kw)
1	1338	61.4	47.7	49.44	78.41			68.43	51.32
2	1431	67.7	52.3	62.29	78.64	95.00	97.00	85.95	64.46
3	1578	70.4	67.9	81.09	77.98			112.85	84.64
4	1587	53.8	72.5	71.35	71.89			107.70	80.77

**Tabla 36: Consumos energéticos de la red con VDF para la etapa inicial del sistema**

Turno	Velocidad (RPM)	Caudal Estándar (l/s)	ADT Ofertado (m.c.a.)	Potencia Absorbida (HP)	Eficiencia Bomba (%)	Eficiencia Motor (%)	Eficiencia VDF (%)	Consumo del Sistema (HP) (Kw)	
1	1667	92	67.9	105.91	78.10			147.16	110.37
2	1733	101.2	70.6	122.88	76.74			173.76	130.32
3	1527	69.6	63.1	74.23	78.27	95.00	97.00	102.92	77.19
4	1656	67.9	76.6	89.69	76.51			127.22	95.41
5	1596	48.5	74.0	68.48	68.86			107.92	80.94

**Tabla 37: Comparativa de escenarios para el consumo de la red – etapa inicial**

Turno	Caudal (m3/hr)	Consumo sin VDF		Consumo con VDF		Ahorro Representativo
		(Kwh)	(m3/kw)	(Kwh)	(m3/kw)	(%)
1	221.03	109.08	2.03	51.32	4.31	52.95
2	243.71	111.09	2.19	64.46	3.78	41.97
3	253.58	112.07	2.26	84.64	3.00	24.48
4	193.73	107.11	1.81	80.77	2.40	24.59

**Tabla 38: Comparativa de escenarios para el consumo de la red – etapa final**

Turno	Caudal (m3/hr)	Consumo sin VDF		Consumo con VDF		Ahorro Representativo
		(Kwh)	(m3/kw)	(Kwh)	(m3/kw)	(%)
1	331.17	123.89	2.67	110.37	3.00	10.91
2	364.14	132.25	2.75	130.32	2.79	1.46
3	250.64	111.77	2.24	77.19	3.25	30.94
4	244.44	111.16	2.20	95.41	2.56	14.16
5	174.72	105.98	1.65	80.94	2.16	23.63

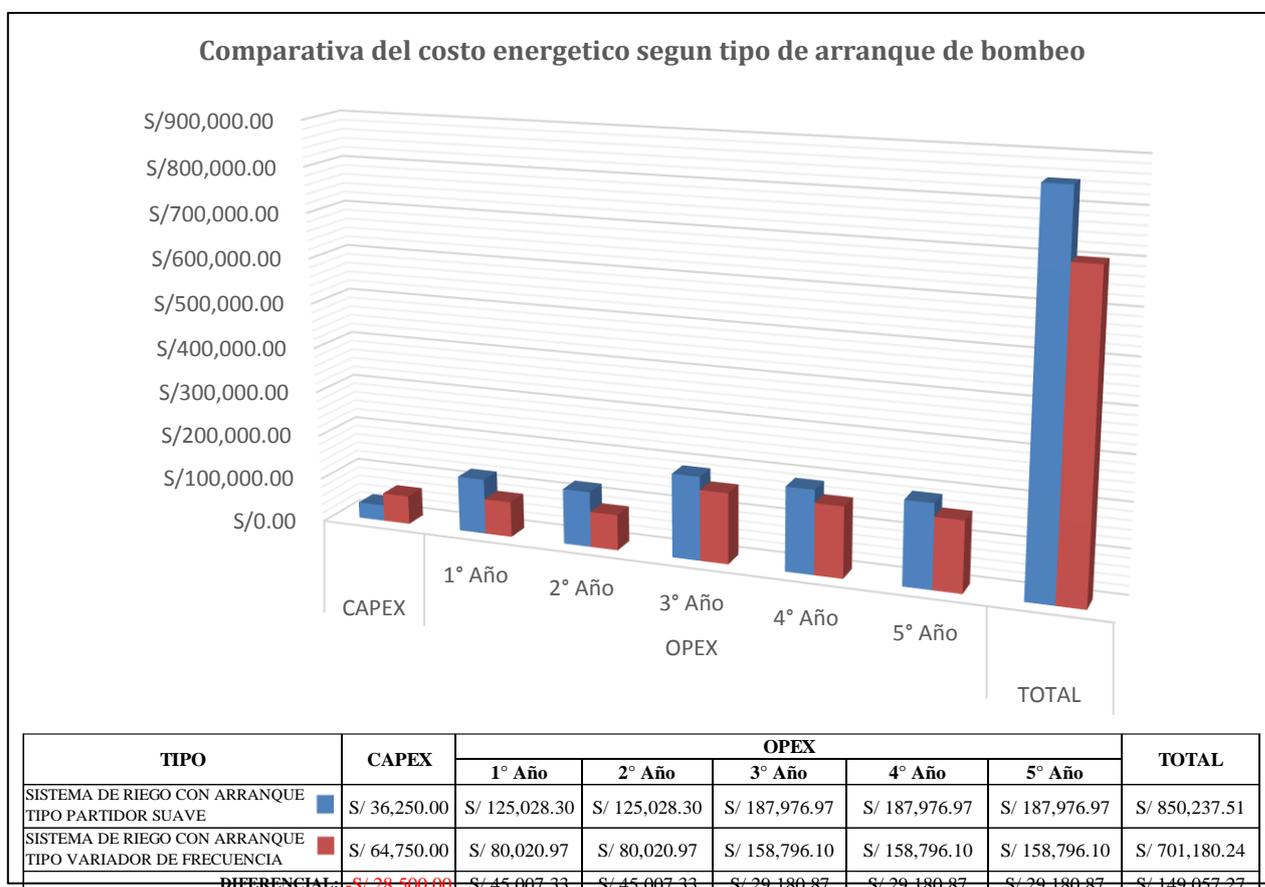
Como resultado, en la primera etapa del sistema se encuentra un ahorro energético máximo en el turno #1 con un valor del 52.95%, optimiza el gasto de cada kilowatt empleado en el sistema para trasladar 4.31 m<sup>3</sup> al cultivo correspondiente al área específica irrigada. Por otro lado, en la etapa final del sistema, el turno #2 seleccionado como el crítico para toda la operación de riego, trabaja al límite de capacidad representado únicamente un ahorro equivalente al 1.46%.

**Tabla 39: Comparativa de escenarios para el consumo de la red – etapa final**

Escenario	Etapa del Sistema	Turno	Consumo (Kwh)	Costo de Operación de la Red de Energía del Sistema					Total
				1° Año	2° Año	3° Año	4° Año	5° Año	
SISTEMA DE RIEGO CON ARRANQUE TIPO PARTIDOR SUAVE	I	1	109.08	S/ 31,040.66	S/ 31,040.66				S/ 62,081.32
		2	111.09	S/ 31,613.13	S/ 31,613.13				S/ 63,226.26
		3	112.07	S/ 31,893.97	S/ 31,893.97				S/ 63,787.93
		4	107.11	S/ 30,480.55	S/ 30,480.55				S/ 60,961.10
	II	1	123.89			S/ 39,806.26	S/ 39,806.26	S/ 39,806.26	S/ 119,418.78
		2	132.25			S/ 42,490.49	S/ 42,490.49	S/ 42,490.49	S/ 127,471.48
		3	111.77			S/ 35,912.63	S/ 35,912.63	S/ 35,912.63	S/ 107,737.90
		4	111.16			S/ 35,714.85	S/ 35,714.85	S/ 35,714.85	S/ 107,144.55
		5	105.98			S/ 34,052.73	S/ 34,052.73	S/ 34,052.73	S/ 102,158.19
					<b>S/ 125,028.30</b>	<b>S/ 125,028.30</b>	<b>S/ 187,976.97</b>	<b>S/ 187,976.97</b>	<b>S/ 187,976.97</b>
SISTEMA DE RIEGO CON ARRANQUE TIPO VARIADOR DE FRECUENCIA	I	1	51.32	S/ 14,605.45	S/ 14,605.45				S/ 29,210.89
		2	64.46	S/ 18,343.72	S/ 18,343.72				S/ 36,687.43
		3	84.64	S/ 24,085.62	S/ 24,085.62				S/ 48,171.24
		4	80.77	S/ 22,986.18	S/ 22,986.18				S/ 45,972.37
	II	1	110.37			S/ 35,461.70	S/ 35,461.70	S/ 35,461.70	S/ 106,385.11
		2	130.32			S/ 41,871.25	S/ 41,871.25	S/ 41,871.25	S/ 125,613.74
		3	77.19			S/ 24,800.52	S/ 24,800.52	S/ 24,800.52	S/ 74,401.56
		4	95.41			S/ 30,655.92	S/ 30,655.92	S/ 30,655.92	S/ 91,967.77
		5	80.94			S/ 26,006.71	S/ 26,006.71	S/ 26,006.71	S/ 78,020.14
					<b>S/ 80,020.97</b>	<b>S/ 80,020.97</b>	<b>S/ 158,796.10</b>	<b>S/ 158,796.10</b>	<b>S/ 158,796.10</b>
<b>Ahorro Monetario</b>				<b>S/ 45,007.34</b>	<b>S/ 45,007.34</b>	<b>S/ 29,180.86</b>	<b>S/ 29,180.86</b>	<b>S/ 29,180.86</b>	<b>S/ 177,557.26</b>

Nota: Para el los valores calculados se utilizó un valor referencial de S/ 0.225, la etapa I opera con 3.1 h al día por turno y la etapa II con 3.5 h

Continuando, se evidenciaron los costos asociados a la implementación del capital del sistema de bombeo (CAPEX) y los costos asociados a la operación (OPEX) para cada escenario en comparativa.



**Figura 58: Comparativa de CAPEX y OPEX según tipo de arranque de bombeo**

Finalizado el análisis se obtuvo un ahorro total referido a los costos energéticos asociados a la operación del sistema de riego en S/ 177,557.26, dentro de los 5 primeros años efectivos de funcionamiento con VDF, por otro lado, el monto de la inversión del proyecto, sin contar los gastos por impuestos, tiene como valor S/ 821,250.00. Se determinó que el 21.62% de la inversión total del proyecto se logra recuperar al quinto año de operación del sistema. En adición, la comparativa de escenarios indica que el costo adicional de implementación del VDF sobre un partidador suave es de S/ 28,500, sin embargo, el principio de operación a diferentes velocidades de giro establecido por turno, genera un ahorro energético durante el primer año de operación, resultando un diferencial monetario de S/ 45,000 ahorrados, recuperando la inversión extra realizada; y para todo el intervalo de tiempo de análisis, un valor efectivo de S/ 149 000 ahorrados.

#### 4.3.8. Dimensionamiento del sistema de fertilización

Para el sistema de fertilización, el usuario final solicitó una misma tasa de aplicación diaria para 03 soluciones, las cuales se van componiendo por diversos elementos según la fenología del cultivo. Se procedió a realizar los cálculos para determinar si los tanques existentes cumplen con el almacenaje mínimo para un día de operación.

**Tabla 40: Aplicaciones de Fertilización del proyecto**

Producto o Solución	Volumen fertilizante diario	Superficie a Fertilizar	Volumen Requerido	Capacidad del Tanque
	(l/ha)			
A	54.0	73.93	3992.22	5000
B	54.0		3992.22	5000
C	54.0		3992.22	5000

Se consideró que el sistema puede reutilizar los tanques de almacenamiento existente, de la misma forma puede aprovechar la bomba de mezcla para la preparación de las soluciones en el tanque de 2500 para luego realizar el trasvase al tanque correspondiente.

El enfoque se centra en el dimensionamiento de las bombas de inyección. Para ello el usuario final indica que la inyección en etapa crítica debe realizarse únicamente en 2.5 horas del tiempo de riego total del turno, los productos pueden inyectarse en simultáneo.

Se determinó que las áreas críticas para evaluación son: el turno#3 de la etapa inicial con el hectareaje a fertilizar, y el turno#5 de la etapa final, el cual requiere el mínimo volumen, pero posee el mayor recorrido de matriz y el caudal inferior del sistema.

**Tabla 41: Calculo de tiempos para la inyección**

Escenario	Tiempo de Llegada de Fertilizante			Tiempo ultimo gotero (min)	Tiempo para la operación (min)	Tiempo para Inyección (min)
	Matriz (min)	Portalinea (min)	Línea (min)			
T2 - EI	21.84	7.96	5	34.8	150	115.2
T5- EII	35.5	9.2	5	49.7	150	100.3

Calculados los tiempos para la inyección se define el volumen a aplicar para los escenarios de máximo y mínimo volumen.

**Tabla 42: Calculo del caudal objetivo de inyección**

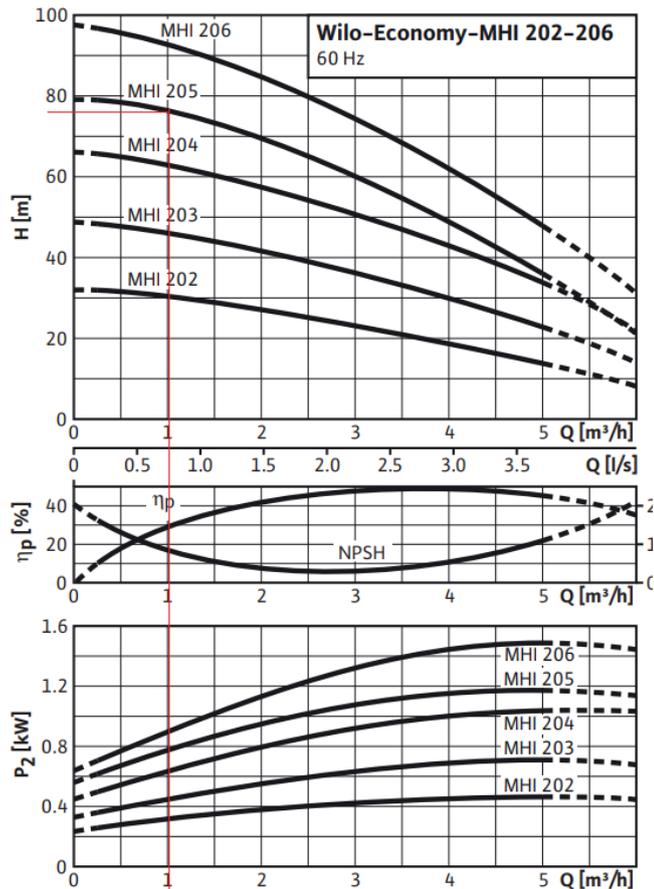
Escenario	Superficie	Máxima Aplicación			Mínima Aplicación		
		Volumen (l)	Tiempo Disponible (min)	Caudal Objetivo (l/h)	Volumen (min)	Tiempo Disponible (min)	Caudal Objetivo (l/h)
T2 - EI	20.57	1110.78	115.2	578.53			
T5- EII	9.45				510.3	100.3	305.3

En base a los resultados, se optó por considerar una tasa de aplicación de 1000 l/h, a fin de tomar las seguridades correspondientes al caso y por solicitud del usuario final.

#### **4.3.8.1. Selección de la bomba de inyección de fertilizante**

La bomba debe inyectar en la matriz, por tal motivo debe vencer la presión máxima que pueda encontrarse en el punto de inyección. Se identifico como máxima presión en este punto el valor de 62 m.c.a., para garantizar una correcta inyección la presión ofertada por la bomba en este punto debe ser mayor por 5 m.c.a, para fines prácticos se consideró un ADT para la bomba de inyección en 70 m.c.a. para 1000 l/h de flujo. Además, se consideró que esta deba ser de operación con motor horizontal y el cuerpo en contacto con el fluido en acero inoxidable 316.

Se seleccionó el modelo Wilo-MHI-205 con ADT de 76 m.c.a. con 1000 l/h, el motor con el que trabaja la bomba es de 1.5 HP, en total son 03 bombas, una por cada canal de inyección.



**Figura 59: Curva característica de la bomba de inyección de fertilizante**

Para la correcta operación del sistema, el cual será automatizado, se incluyó en la selección un medidor de caudal de fertilizante con salida de pulsos (tasa=1 l/pulso), y una válvula hidráulica de 3/4" comanda por solenoide, que controla el paso de fertilizante en cada canal de inyección. Adicionalmente, se consideró filtros en la succión de los tanques de almacenamiento para prevenir problemas con la bomba.

#### 4.3.9. Diseño de la automatización

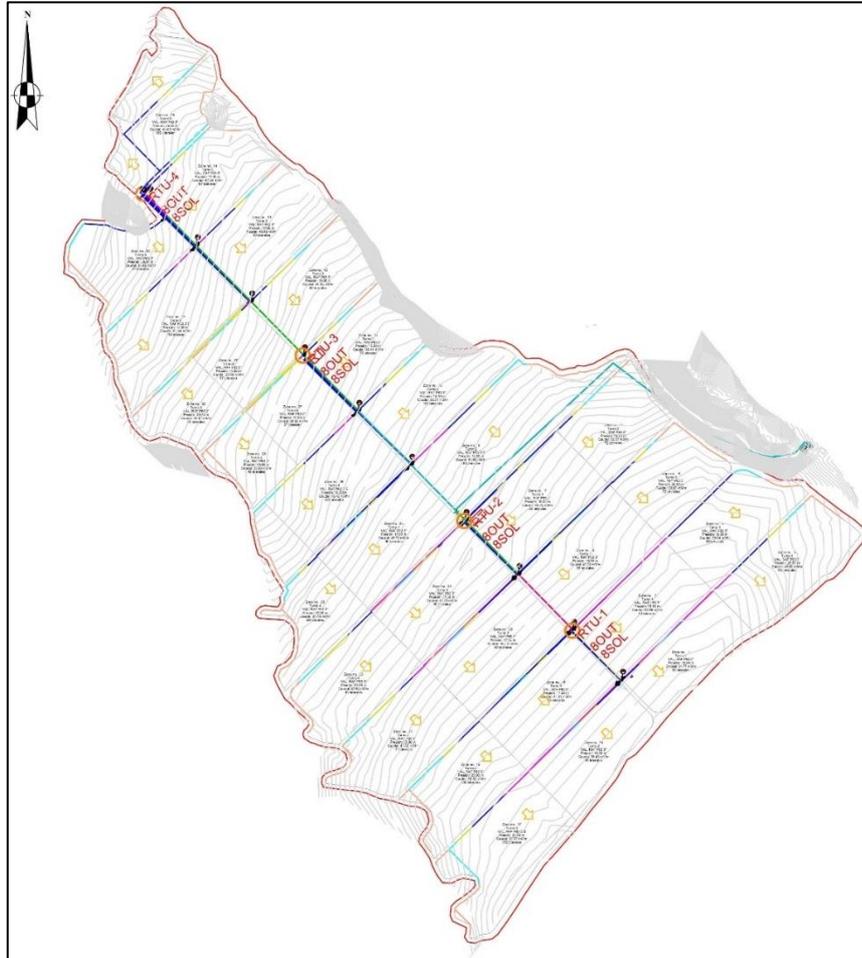
Se realizó el diseño en base a las consideraciones establecidas en la metodología, como resultado se obtuvo 04 unidades de RTU en campo, con todas las salidas en funcionamiento. La siguiente tabla muestra la agrupación de válvulas en función a la RTU que las gobiernan y el análisis de cotas topográficas a fin de evaluar la estática residual en las válvulas luego de un cierre del comando hidráulico.

**Tabla 43: Hardware de la automatización de campo**

Controlador de Riego DREAM 2 - La Mora					
interfaz: RF G5					
N° de RTU	Cota de RTU (msnm)	N° Salida	N° Válvula	Cota de Válvula (msnm)	Carga Estática (m)
1	439.25	1	3	439.25	0
		2	4		0
		3	18		0
		4	19		0
		5	1	436	3.25
		6	2		3.25
		7	16		3.25
		8	17		3.25
2	446.5	1	Válvula Seccionadora	446.5	0
		2	7		0
		3	8		0
		4	22		0
		5	23	0	
		6	5	443.25	3.25
		7	6		3.25
		8	20		3.25
3	457.5	1	11	457.5	0
		2	27		0
		3	27.2		0
		4	10	454	3.5
		5	26		3.5
		6	9	450.5	7
		7	24		7
		8	25		7
4	470.5	1	15	470.5	0
		2	14		0
		3	30	469.5	1
		4	13	466	1.5
		5	29		1.5
		6	12	462	7.5
		7	28		7.5
		8	28.2		7.5

Según los datos obtenidos y en base a la experiencia con la operación de este tipo de sistemas, se estableció el uso de relé hidráulico estándar (galit) para cargas estáticas menores a 4 m.c.a., relé hidráulico reforzado (galit inbar) para estáticas entre 4 y 7 m.c.a., y para estáticas

mayores a 7 m.c.a. un piloto sostenedor aplicado como relé hidráulico.



**Figura 60: Ubicación de las RTU en el sistema de riego**

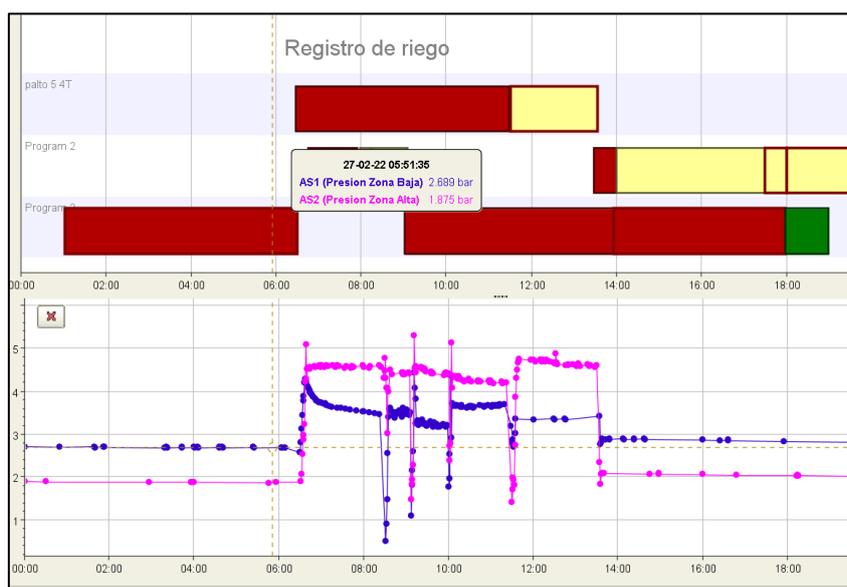
La antena maestra se ubicó cerca al controlador, principalmente en un sitio elevado que permita la correcta línea vista con los equipos. Durante la implementación se realizó la verificación de posibles controladores cercanos o señales que causen interferencia, la correcta comunicación de las RTU con la MASTER depende principalmente de que se establezca una frecuencia y canal libre. Como ventaja la RF G5 seleccionada presenta comunicación asíncrona, buscando constantemente una señal de respuesta entre los involucrados. Con relación al diseño de la automatización del cabezal, se eligió establecer en esta posición el controlador general, el cual será energizado con tensión monofásica de 220-230 V a través de un estabilizador de voltaje o un sistema de energía ininterrumpida (UPS por sus siglas en inglés); en relación, se verificó que exista señal telefónica con acceso a datos, y por último se identificó cada uno de los dispositivos a automatizar y las Interfaces

a emplearse.

**Tabla 44: Hardware de la automatización de cabezal**

Controlador de Riego DREAM 2 - La Mora	
interfaz: I/O - 16/8- AC	
Salidas Digitales 24VAC	
Relé - Bomba de Riego	1
Relé - Bomba de Fertilización	3
Sole - Apertura de Inyección	3
Relé- Satélite	3
Total 10	
Entradas Digitales - 12VDC	
Hidrómetro (MC)	1
Fertimetro (MF)	3
Boya eléctrica	1
Total 5	

Refiriendo a la selección de sensores para la automatización del proyecto, en la zona de campo, se consideró sensores de presión en puntos clave que nos evidencien en tiempo real el estatus de las presiones de operación, principalmente se decidió controlar la presión de ingreso a la zona alta, ubicando el primer sensor aguas arriba de la válvula seccionadora, y la presión en la matriz de la zona baja a través la RTU ubicada en la cota mínima. El sensor seleccionado para esta aplicación es un transmisor de presión marca Keller con rango de presión de 0 a 10 bar protocolo 4-20 mA.



**Figura 61: Grafico de presiones del sistema a través del Console Dream**

De la misma forma en el cabezal, se incluyó un sensor de presión, con las mismas características que los de campo, ubicado en la salida de la bomba, a fin de registrar el ADT ofertado. Adicional en esta zona, se integró un Analizador de Redes suministrado por el usuario final, el cual permite extraer información de voltaje, amperaje y potencia aguas arriba del tablero con arranque por VDF, para generar registro en el controlador cada variable a analizar fue interpretada como una entrada analógica 4-20 mA al controlador, para considerarse dentro del hardware. La implementación tiene como finalidad realizar un mejor análisis del consumo eléctrico dentro del sistema de riego.

**Tabla 45: Hardware de la automatización de sensores**

<b>Controlador de Riego DREAM 2 - La Mora</b>	
<b>interfaz: ANA</b>	
Campo: Tarjeta 4IN&1ANA (2 und)	
Tr. Presión - Zona Baja - RTU 4	1
Tr. Presión - Zona alta - RTU 2	1
Cabezal: interfaz 4ANA	
Tr. Presión - ADT Bomba	1
A.R. - Voltaje	1
A.R. - Amperaje	1
A.R. - Potencia	1

Nota: T.R = transmisor; A.R=Analizador de Red

- **Sobre las condiciones de operación lógica permitidas por el controlador:**

La primera condición establecida para la automatización fue el accionar del “multispeed” o multi-revoluciones del VDF, las salidas del controlador se conectaron a las entradas del VDF, en 03 casillas o slots diferentes. Las salidas del controlador son nombradas satélites, y aplica a la siguiente lógica:

- Cuando ningún satélite esta activado, se activa la primera velocidad para el turno#1,
- Se asoció el primer satélite a una válvula del turno#2 ambas trabajan juntas, cuando este se activa este satélite, el VDF opera con la segunda velocidad.
- Una válvula del turno#3 se relacionó con el tercer satélite, cuando este se activa opera la tercera velocidad en el VDF.
- Para el turno#4 se asoció una válvula al primer y segundo satélite, esto quiere decir que se activaran los 3 (1 válvula y 2 satélites) en simultaneo, con la cuarta velocidad.

- Se enlazó el tercer satélite con una válvula del turno #5, lo que indica que el VDF activará la quinta velocidad programada.
- Las velocidades pueden tomar cualquier valor y pueden ser modificable, siempre que respete una correcta operación dentro de los límites.

La segunda condición que se estableció fue la detención del riego cuando la boya eléctrica se active, para lograr esto se configuran los programas de riego y se asocian con la condición de detención cuando el contacto de la boya apertura. Se realizó la calibración de la altura de agua mínima sobre la succión tomando como base 0.5 m sobre la sumergencia mínima calculada (0.31 m), la boya se calibró a 0.85 m sobre el eje de succión antes de apagar el sistema.

## V. CONCLUSIONES

1. El nuevo sistema de riego constituido de 73.93 Ha para cultivo de palta Hass, con un marco de siembra de 7 metros entre hileras y 7 metros entre plantas, equipado con un emisor D5000 con caudal de 1.5 l/h espaciado en 0.5 metros, presentó para el diseño y planificación agronómica, dos etapas diferenciadas de funcionamiento en base al manejo de los requerimientos hídricos del cultivo. La etapa inicial cumple con la condición de 2 laterales por hilera y 4 turnos de riego. La precipitación del sistema es de 1.14 mm/hr y en 3.10 horas recupera una lámina de riego de 3.5 mm/día, esta etapa tiene un periodo de duración de 2 años. En contraste, la etapa final cumple con la condición de 3 laterales por hilera y 5 turnos de riego. La precipitación del sistema es de 1.71 mm/hr y en 3.5 horas de riego recupera una lámina de riego con valor objetivo de 6 mm/día, el cual coincide con la demanda máxima requerida según las condiciones del cultivo. Adicionalmente, existe disponibilidad de tiempo para una mayor aplicación de recurso hídrico o por factores de seguridad.
2. Se realizó el análisis del sistema existente para caña, con el fin de seleccionar los componentes a reutilizar y descartar, previo al diseño hidráulico. Luego, se procedió con el diseño presentando un nuevo emisor de riego, con longitud máxima de 124 m. Por otro lado, se diseñaron las portalíneas con diámetros máximos de 110 mm y mínimos de 1.1/2". Para la selección de las nuevas válvulas, se identificaron diámetros de 2", 3" y 3" L. Referente a la tubería matriz, esta fue reutilizada en su totalidad, únicamente se añadió un tramo con nueva tubería, verificando la nueva velocidad de operación. Adicionalmente, se consideró una válvula de seccionamiento que cumple con identificar y controlar las zonas topográficas altas y bajas del sistema de riego. Asimismo, se identificaron las zonas críticas que puedan ocasionar problemas de operación y uniformidad del riego, para incluir los factores de seguridad. El cabezal fue rediseñado en su totalidad, incluyendo una batería de filtrado por anillos, manifold de 10" y 8", y la valvulería mínima. Posteriormente se calcularon los requerimientos de

operación del turno crítico (ADT=69 m.c.a.; Q=107.3 l/s). El sistema de fertilización reutilizó sus componentes operativos y se rediseñó para la aplicación de 3 canales de inyección a través de nuevas bombas de 1.5 HP, cumpliendo con las tasas solicitadas y garantizando la aplicación en el gotero más crítico durante el tiempo de riego.

3. Dentro del sistema de bombeo se analizaron las alternativas con el requerimiento de operación crítico, por ello se seleccionó la bomba horizontal de eje libre 125-400 Hidrostral con rodete de 415 mm, y con motor de 175 HP IE3, con máxima potencia absorbida en el eje de 168 HP; debido a que los parámetros de operación son diferentes para cada turno, se consideró un arranque de motor a través de un variador de frecuencia CFW-11. Se realizó el cálculo de las velocidades objetivo de operación, considerando las curvas de isoeficiencia de la bomba, a fin de aproximar un escenario que cumpla el mínimo requerimiento por cada turno y etapa del sistema de riego, manteniendo un rango lo más próximo al de máxima eficiencia según el fabricante. En adición, se realizó el análisis energético del sistema a fin de evidenciar los beneficios de la aplicación del riego con VDF, resultando la comparativa de dos escenarios en función al tipo de arranque, entre un partidador suave y un VDF. El turno con ahorro más representativo (52.95%), por otro lado, el turno crítico trabaja al límite de capacidad representando únicamente un ahorro equivalente al 1.46%. Asimismo, el análisis energético determinó que, para un escenario de 5 años efectivos de operación del sistema, se puede lograr un ahorro energético (bajo una tarifa de 0.225 \$/Kwh) de \$/ 177,557.26, traducido económicamente en aprox. el 21% de la inversión de todo el sistema de riego; el costo adicional de implementación del VDF (\$/ 28,500) se recupera a través del ahorro energético durante el primer año de operación (\$/ 45,000 ahorrados), recuperando la inversión extra realizada, y para todo el intervalo de tiempo de análisis, un valor efectivo de \$/ 149 000 ahorrados.
4. El diseño de la automatización tiene como actor principal al controlador DREAM 2, el cual equipó para estas condiciones tres tipos de Interfaces distintas. La interfaz RF G5 fue diseñada para comandar 4 RTUs, las cuales deben tener línea de visión hacia su antena maestra y todas las salidas utilizadas, aplicado en distancias menores a 400 metros y cubriendo posibles problemas de estática en el comando de las válvulas. En sinergia, el control del cabezal de riego fue comandado por una interfaz AC de entradas y salidas locales, cubriendo todos los equipos necesarios para una correcta operación

del riego. Para el control de los sensores, se utilizó una interfaz ANA, la cual recibe información en tiempo real de las presiones a través de transmisores y parámetros eléctricos como voltaje, intensidad y potencia enviadas por un analizador de redes hacia el controlador. Este controlador también permitió establecer las condiciones lógicas que gobiernan la operación del sistema de bombeo con VDF y la protección de nivel de agua en la cámara de bombeo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Continuar el enfoque de ahorro energético en el sistema, mediante la implementación de estaciones totales o meteorológicas, específicas del campo en acción, capaces de establecer comunicación con el controlador de riego, de la misma forma realizar una correcta sectorización de los supuestos tipos de suelo que pueden encontrarse en el área de impacto del sistema de riego y proceder con la implementación de sensores de humedad. Esta aplicación permitirá decidir mejor la aplicación del riego, sin necesidad de seguir un programa convencional, aplicando únicamente lo que las condiciones de monitoreo requieran, garantizando una eficiencia hídrica traducidas en beneficios para el usuario y medioambiente.
2. Realizar la calibración correcta de la operación de la bomba con variador de frecuencia una vez instalada, es usual que los cálculos de dimensionamiento y selección cuenten con factores de seguridad para condiciones críticas, se pueden recalcular las velocidades por debajo de lo establecido en la condición estándar para cada turno y etapa, buscando un mayor ahorro energético.
3. Evaluar con mayor profundidad sobre puntos efectivos de operación de sistemas de bombeo, a través de modelos matemáticos que definida las ecuaciones de demanda del sistema de riego para cada turno y/o escenario de riego a considerarse, con ello evaluar las regiones permitidas de operación del equipo de bombeo.
4. Se tome en consideración lo expuesto en el trabajo, a fin de que la agroindustria peruana apueste por la implementación de sistemas de riego más sofisticados, que tiene una mayor inversión, pero resultan rentables durante la operación en el tiempo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ascencios Templo, D.R. (2021). *Eficiencia hídrica, energética y emisiones CO2 utilizando sistemas de riego presurizado en las áreas verdes de la UNALM* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- BERMAD. (2020). *Guía de productos del sector Irrigación (IR)*. Israel: Bermad wáter solutions. Recuperado de [https://www.bermad.com/app/uploads/IR\\_Product-Guide\\_Spanish\\_1-2020.pdf](https://www.bermad.com/app/uploads/IR_Product-Guide_Spanish_1-2020.pdf)
- Del Pozo, A., Pizarro, R. y Varela, F. (2019). *Tecnologías para el riego eficiente en América Latina*. Santiago, Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Díez, P.F. (2007). *Bombas centrífugas y volumétricas*. Universidad de Cantabria. 158 p.
- Dorado Guerra, D., Grajales Guzmán, L.C. y Rebolledo Roa, A. (2017). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (Persea americana) variedad Hass en zonas productoras de Colombia*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)
- Fernández Gómez, R., Ávila Alabarces, R, López Rodríguez, M., Gavilán Zafra, P., Oyonarte Gutiérrez, N. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego: manual y ejercicios*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Grundfos. (2015). *Guía de gestión energética en zonas verdes y campos de golf*. Madrid, España.
- Guo, W., Perera, J.C., Cox, D., Nimbalkar, S., Wenning, T., Thirumaran, K. & Levine, E. (2020). *Variable speed pump efficiency calculation for fluid flow systems with and without static head*. Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Washington.
- Hydraulic Institute. (1998). *ANSI/HI 1998 – American National Standard for Pump Intake Design*. New Jersey: Hydraulic Institute
- Lincoln Agritech Ltd. (2019). *Guía de usuario (User Guide) IRRICAD AEI Software*. Nueva Zelanda: Lincoln Agritech Ltd. Recuperado de <https://IRRICAD.com/IRRICAD/download/help/IRRICADHelp.pdf>

- Madrigal Millian, O., Brown Manrique, O., Luis Pelier, D., Gallardo Ballat, Y. y Castellanos, L. (2019). *Análisis del consumo de agua y energía en el riego por surcos*. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, Cuba.
- Moya Talens, J.A. (1998). *Riego Localizado y fertirrigación*. Madrid, España: Ediciones MundiPrensa.
- Peralta, J.M. y Simpfendorfer, C. (Marzo de 2001). *Riego por aspersión*. Temuco: INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/40180>
- Pérez Franco, D. (2012). *Estaciones de Bombeo*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela. ISBN 978-959-07-1379-8.
- Pérez, J. (2022). Avances en el riego por goteo: Eficiencia y aplicaciones. *Agricultura Sostenible*, 10, 45-58.
- Red Agrícola. (2021, 01 de marzo). *Recomendaciones para un óptimo programa de riego en palto*. Recuperado de <https://redagricola.com/recomendaciones-para-un-optimo-programa-de-riego-en-palto/>
- Santos-Azevedo, M.S., de León-Benítez, C.A., Cabral-Leite, J. y Pérez-Abril, I. (2016). *Procedimiento para el análisis energético de sistemas de bombeo centrífugos*. Instituto de Tecnología Galileo del Amazonas, Manaus, Brasil. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba
- Stewart, M. (2019). *Centrifugal pumps*. In *Centrifugal Pumps* (Vol. 9783642401). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40114-5>
- TALGIL. (2007). *Guía de instalación Dream*. ISRAEL: Israel: Talgil computación y control ltd.
- TALGIL. (2014). *Guía de sistema Dream RF RTU*. Israel: Talgil computación y control ltd. Yamit.
- TALGIL. (2018). *DREAM2*. Recuperado de <https://talgil.com/ESP/DREAM2> 93
- Tuñoque Flores, A.J. (2018). *Plan de aprovechamiento hídrico para el uso multisectorial del agua - Valle del Río Nepeña* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). Lambayeque, Perú.

## **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 01: REPORTES DE OPERACIÓN  
EN PORTALÍNEAS, VALVULAS Y  
MATRICES DE LA ETAPA INICIAL**



**Company :** AGRICOLA **Designer :** WILLIAM JIMENEZ  
**Client :** FUNDO LA MORA **Design Date :** 22/08/2021  
**Site :** NEPEÑA **Report Date :** 31/08/2023 15:20:55  
**Notes :** PALTA HASS

**File :** PRY-LAMORA-ETAPA1-2UND-Lx

**Zone Name :** Zone no. 1 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 16.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 16.52 (m)  
**Total Zone Flow :** 21.43 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.52 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.51
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.63
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	36.78

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806386.2 , 8989232.0 Maximum : 806264.6 , 8989055.0

**Zone Name :** Zone no. 2 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 23.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 23.90 (m)  
**Total Zone Flow :** 29.01 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.90 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	9.16
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	20.02
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	54.26

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806594.1 , 8989340.0 Maximum : 806427.7 , 8989199.0



**Zone Name :** Zone no. 3 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 17.37 (m)

**Total Zone Flow :** 28.46 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.87 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.84
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.50
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	34.29

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806322.8 , 8989297.0 Maximum : 806127.7 , 8989196.0

**Zone Name :** Zone no. 4 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 18.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 18.72 (m)

**Total Zone Flow :** 25.76 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.72 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.36
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.53
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	33.26

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806480.5 , 8989386.0 Maximum : 806282.4 , 8989348.0

**Zone Name :** Zone no. 5 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 17.54 (m)

**Total Zone Flow :** 31.38 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.04 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	11.65
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.86
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	34.76

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806221.8 , 8989401.0 Maximum : 806123.5 , 8989200.0



**Zone Name :** Zone no. 6 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 18.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 19.06 (m)  
**Total Zone Flow :** 22.41 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.56 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.87
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.79
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	31.13

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806351.1 , 8989479.0 Maximum : 806278.2 , 8989352.0

**Zone Name :** Zone no. 7 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 16.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 16.99 (m)  
**Total Zone Flow :** 30.48 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.99 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	11.74
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.83
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	30.27

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806127.8 , 8989498.0 Maximum : 806032.9 , 8989293.0

**Zone Name :** Zone no. 8 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 13.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 13.52 (m)  
**Total Zone Flow :** 21.58 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.52 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.10
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	12.18
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	41.75



Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806218.9 , 8989645.0 Maximum : 806139.1 , 8989566.0

**Zone Name :** Zone no. 9 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"L  
**Zone Head (D/S) :** 15.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 15.96 (m)  
**Total Zone Flow :** 43.08 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.46 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.29
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.90
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	35.31

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806047.6 , 8989610.0 Maximum : 805945.0 , 8989384.0

**Zone Name :** Zone no. 10 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 14.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 14.89 (m)  
**Total Zone Flow :** 28.81 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.89 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.54
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.49
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	27.25

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805918.4 , 8989632.0 Maximum : 805854.4 , 8989477.0

**Zone Name :** Zone no. 11 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 13.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 14.15 (m)  
**Total Zone Flow :** 24.28 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.65 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis



	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.42
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.09
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	26.03
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805838.2 , 8989705.0		Maximum : 805766.5 , 8989567.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 12	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	14.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	14.82 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	27.57 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	0.82 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.30
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.90
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	30.89
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805732.1 , 8989844.0		Maximum : 805675.9 , 8989661.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 13	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	13.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	13.98 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	30.28 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	0.98 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.01
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.63
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	26.55
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805672.4 , 8989935.0		Maximum : 805588.1 , 8989751.0	



**Zone Name :** Zone no. 14      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 12.00 (m)      **Zone Head (U/S) :** 12.78 (m)

**Total Zone Flow :** 26.90 (m3/h)      **Valve Headloss :** 0.78 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.30
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.77
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	25.22

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805568.8 , 8989992.0      Maximum : 805637.4 , 8989982.0

**Zone Name :** Zone no. 15      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m)      **Zone Head (U/S) :** 17.49 (m)

**Total Zone Flow :** 30.55 (m3/h)      **Valve Headloss :** 0.99 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	9.92
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.53
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	40.00

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805431.7 , 8990194.0      Maximum : 805414.8 , 8989940.0

**Zone Name :** Zone no. 16      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 15.50 (m)      **Zone Head (U/S) :** 16.15 (m)

**Total Zone Flow :** 24.28 (m3/h)      **Valve Headloss :** 0.65 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.24
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.07
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	36.25

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806093.6 , 8988922.0      Maximum : 806258.9 , 8989044.0



**Zone Name :** Zone no. 17                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 20.30 (m)

**Total Zone Flow :** 35.30 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 1.30 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.06
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.68
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	35.84

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805966.9 , 8988781.0                      Maximum : 806051.8 , 8988956.0

**Zone Name :** Zone no. 18                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.00 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 16.82 (m)

**Total Zone Flow :** 27.54 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 0.82 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.15
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.00
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	36.54

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806000.2 , 8989018.0                      Maximum : 806119.2 , 8989188.0

**Zone Name :** Zone no. 19                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 19.66 (m)

**Total Zone Flow :** 24.55 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 0.66 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.20
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.17
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	27.98



Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805886.3 , 8988894.0 Maximum : 806047.6 , 8988960.0

**Zone Name :** Zone no. 20 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 16.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 16.99 (m)  
**Total Zone Flow :** 30.48 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.99 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.14
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.15
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	40.88

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805920.2 , 8989101.0 Maximum : 806115.1 , 8989192.0

**Zone Name :** Zone no. 21 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 20.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 21.04 (m)  
**Total Zone Flow :** 31.34 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.04 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.43
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.31
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	39.74

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805766.8 , 8988978.0 Maximum : 805965.4 , 8989045.0

**Zone Name :** Zone no. 22 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 17.43 (m)  
**Total Zone Flow :** 29.50 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.93 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis



	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.56
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.39
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	39.30
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805824.5 , 8989199.0		Maximum : 806024.4 , 8989285.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 23	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	19.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	19.90 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	29.09 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	0.90 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	9.96
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.70
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	40.35
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805702.4 , 8989054.0		Maximum : 805874.8 , 8989138.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 24	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	17.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	17.99 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	30.48 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	0.99 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.30
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.44
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	40.91
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805730.1 , 8989296.0		Maximum : 805936.7 , 8989376.0	



**Zone Name :** Zone no. 25 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 17.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 17.94 (m)

**Total Zone Flow :** 19.42 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.44 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.69
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.32
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	25.34

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805606.3 , 8989223.0 Maximum : 805787.0 , 8989228.0

**Zone Name :** Zone no. 26 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"L

**Zone Head (D/S) :** 18.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 18.35 (m)

**Total Zone Flow :** 37.61 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.35 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.38
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	18.51
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	43.92

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805619.9 , 8989370.0 Maximum : 805846.1 , 8989469.0

**Zone Name :** Zone no. 27 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 15.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 15.43 (m)

**Total Zone Flow :** 19.30 (m3/h) **Valve Headloss :** 0.43 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	9.97
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.57
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	35.96

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805621.0 , 8989519.0 Maximum : 805758.3 , 8989559.0



**Zone Name :** Zone no. 27.2      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 2"

**Zone Head (D/S) :** 18.00 (m)      **Zone Head (U/S) :** 18.79 (m)

**Total Zone Flow :** 14.04 (m3/h)      **Valve Headloss :** 0.79 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.20
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.16
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	32.69

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805560.0 , 8989451.0      Maximum : 805598.7 , 8989402.0

**Zone Name :** Zone no. 28      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 14.50 (m)      **Zone Head (U/S) :** 14.91 (m)

**Total Zone Flow :** 18.68 (m3/h)      **Valve Headloss :** 0.41 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.36
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.41
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	32.79

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805527.3 , 8989616.0      Maximum : 805667.8 , 8989653.0

**Zone Name :** Zone no. 28.2      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 2"

**Zone Head (D/S) :** 18.50 (m)      **Zone Head (U/S) :** 19.64 (m)

**Total Zone Flow :** 16.88 (m3/h)      **Valve Headloss :** 1.14 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.56
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.10
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	30.08



Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805394.3 , 8989552.0 Maximum : 805572.9 , 8989559.0

**Zone Name :** Zone no. 29

**Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 17.00 (m)

**Zone Head (U/S) :** 18.25 (m)

**Total Zone Flow :** 34.56 (m3/h)

**Valve Headloss :** 1.25 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	10.06
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.67
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	43.03

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805357.9 , 8989680.0 Maximum : 805580.0 , 8989743.0

**Zone Name :** Zone no. 30

**Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m)

**Zone Head (U/S) :** 19.61 (m)

**Total Zone Flow :** 23.57 (m3/h)

**Valve Headloss :** 0.61 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	9.52
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	20.73
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	54.06

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805296.1 , 8989834.0 Maximum : 805489.4 , 8989836.0



Company : AGRICOLA

Designer : WILLIAM JIMENEZ

Client : FUNDO LA MORA

Design Date : 22/08/2021

Site : NEPEÑA

Report Date : 31/08/2023 15:19:39

Notes : PALTA HASS

File : PRY-LAMORA-ETAPA1-2UND-LxH.dez

**System Flow - 1**

Zone Name	<u>Zones Operating</u>		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
	(X,Y) (m)				
Zone no. 1	806209.7	8989111.7	25.6	16.5	21.4
Zone no. 2	806209.4	8989112.2	25.6	23.9	29.0
Zone no. 3	806127.5	8989196.2	24.3	17.4	28.5
Zone no. 4	806127.4	8989196.4	24.3	18.7	25.8
Zone no. 5	806036.8	8989289.5	20.4	17.5	31.4
Zone no. 6	806036.4	8989290.3	20.4	19.1	22.4
Zone no. 7	805949.0	8989379.8	17.0	17.0	30.5
Zone no. 8	805948.7	8989380.5	17.0	13.5	21.6

Water Supplies

Water Supply	(X,Y) (m)		Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4	8989500.4	28.1	-210.5

**System Flow - 2**

Zone Name	<u>Zones Operating</u>		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
	(X,Y) (m)				
Zone no. 16	806200.9	8989103.6	28.0	16.1	24.3
Zone no. 17	806200.2	8989104.3	28.0	20.3	35.3
Zone no. 18	806118.9	8989188.1	26.8	16.8	27.5
Zone no. 19	806118.3	8989188.5	26.7	19.7	24.5
Zone no. 20	806028.5	8989281.1	23.2	17.0	30.5
Zone no. 21	806027.9	8989281.7	23.2	21.0	31.3
Zone no. 22	805940.5	8989371.8	19.8	17.4	29.5
Zone no. 23	805940.0	8989372.2	19.9	19.9	29.1

**Water Supplies**

Water Supply	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4 8989500.4	32.5	-232.1

**System Flow - 3****Zones Operating**

Zone Name	(X,Y) (m)	Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)	
Zone no. 9	805858.2	8989473.1	30.8	16.0	43.1
Zone no. 10	805770.4	8989563.4	26.5	14.9	28.8
Zone no. 11	805679.8	8989656.5	22.2	14.1	24.3
Zone no. 12	805592.0	8989746.9	18.0	14.8	27.6
Zone no. 13	805501.2	8989840.4	14.0	14.0	30.3
Zone no. 24	805849.9	8989464.9	30.7	18.0	30.5
Zone no. 25	805849.2	8989465.5	30.7	17.9	19.4
Zone no. 26	805762.1	8989555.4	26.3	18.4	37.6

**Water Supplies**

Water Supply	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4 8989500.4	48.8	-241.5

**System Flow - 4****Zones Operating**

Zone Name	(X,Y) (m)	Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)	
Zone no. 14	805413.5	8989930.3	17.9	12.8	26.9
Zone no. 15	805409.8	8989934.1	17.9	17.5	30.6
Zone no. 27	805671.5	8989648.8	31.4	15.4	19.3
Zone no. 27.2	805670.1	8989649.7	31.3	18.8	14.0
Zone no. 28	805583.7	8989739.1	26.7	14.9	18.7
Zone no. 28.2	805582.4	8989740.8	26.6	19.6	16.9
Zone no. 29	805493.1	8989832.4	22.1	18.3	34.6
Zone no. 30	805444.6	8989882.6	19.6	19.6	23.6

**Water Supplies**

Water Supply	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4 8989500.4	55.0	-184.5

**ANEXO 02: REPORTES DE OPERACIÓN  
EN PORTALÍNEAS, VALVULAS Y  
MATRICES DE LA ETAPA FINAL**



**Company :** AGRICOLA **Designer :** WILLIAM JIMENEZ  
**Client :** FUNDO LA MORA **Design Date :** 22/08/2021  
**Site :** NEPEÑA **Report Date :** 31/08/2023 14:48:08  
**Notes :** PALTA HASS

**File :** PRY-LAMORA-ETAPA2-3UND-Lx

**Zone Name :** Zone no. 1 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 16.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 17.07 (m)  
**Total Zone Flow :** 31.77 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.07 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)	
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	6.98	***
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.62	
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	57.99	

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806386.2 , 8989232.0 Maximum : 806264.6 , 8989055.0

**Zone Name :** Zone no. 2 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 25.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 27.45 (m)  
**Total Zone Flow :** 43.52 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.95 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)	
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.11	
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	20.30	
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	64.96	

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806594.1 , 8989340.0 Maximum : 806427.7 , 8989199.0



**Zone Name :** Zone no. 3                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 18.38 (m)

**Total Zone Flow :** 42.69 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 1.88 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	6.96 ***
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.49
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	57.79

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806322.8 , 8989297.0                      Maximum : 806127.7 , 8989196.0

**Zone Name :** Zone no. 4                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 18.00 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 19.55 (m)

**Total Zone Flow :** 38.64 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 1.55 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.10
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.75
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	48.37

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806480.5 , 8989386.0                      Maximum : 806282.4 , 8989348.0

**Zone Name :** Zone no. 5                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 18.77 (m)

**Total Zone Flow :** 47.08 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 2.27 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.16
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.85
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	59.88

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806221.8 , 8989401.0                      Maximum : 806123.5 , 8989200.0



**Zone Name :** Zone no. 6 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 20.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 21.69 (m)  
**Total Zone Flow :** 33.62 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.19 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.06
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.14
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	50.06

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806351.1 , 8989479.0 Maximum : 806278.2 , 8989352.0

**Zone Name :** Zone no. 7 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 16.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 18.15 (m)  
**Total Zone Flow :** 45.72 (m3/h) **Valve Headloss :** 2.15 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.47
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.82
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	55.57

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806127.8 , 8989498.0 Maximum : 806032.9 , 8989293.0

**Zone Name :** Zone no. 8 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 20.11 (m)  
**Total Zone Flow :** 32.37 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.11 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.34
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.24
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	48.44



Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806218.9 , 8989645.0 Maximum : 806124.1 , 8989552.0

**Zone Name :** Zone no. 9 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"L  
**Zone Head (D/S) :** 18.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 19.54 (m)  
**Total Zone Flow :** 64.62 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.04 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.23
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	18.87
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	61.66

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806210.1 , 8989654.0 Maximum : 805945.0 , 8989384.0

**Zone Name :** Zone no. 10 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 14.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 15.93 (m)  
**Total Zone Flow :** 43.21 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.93 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.18
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.47
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	50.40

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805918.4 , 8989632.0 Maximum : 805854.4 , 8989477.0

**Zone Name :** Zone no. 11 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 13.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 14.88 (m)  
**Total Zone Flow :** 36.41 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.38 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis



	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.20
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.08
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	48.88
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805838.2 , 8989705.0		Maximum : 805766.5 , 8989567.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 12	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	15.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	16.77 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	41.34 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	1.77 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.06
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.89
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	55.56
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805737.4 , 8989848.0		Maximum : 805675.9 , 8989661.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 13	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	14.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	16.12 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	45.42 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	2.12 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.19
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.62
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	50.80
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805678.8 , 8989939.0		Maximum : 805588.1 , 8989751.0	



**Zone Name :** Zone no. 14      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 12.00 (m)      **Zone Head (U/S) :** 13.69 (m)

**Total Zone Flow :** 40.34 (m3/h)      **Valve Headloss :** 1.69 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.26
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.00
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	44.15

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805568.8 , 8989992.0      Maximum : 805497.4 , 8989844.0

**Zone Name :** Zone no. 15      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m)      **Zone Head (U/S) :** 18.66 (m)

**Total Zone Flow :** 45.83 (m3/h)      **Valve Headloss :** 2.16 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.15
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.47
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	56.61

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805518.7 , 8990154.0      Maximum : 805409.6 , 8989934.0

**Zone Name :** Zone no. 16      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"

**Zone Head (D/S) :** 16.50 (m)      **Zone Head (U/S) :** 17.89 (m)

**Total Zone Flow :** 36.43 (m3/h)      **Valve Headloss :** 1.39 (m)

**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.19
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.05
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	57.83

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806093.6 , 8988922.0      Maximum : 806258.9 , 8989044.0



**Zone Name :** Zone no. 17                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 22.50 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 25.22 (m)  
**Total Zone Flow :** 51.57 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 2.72 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.37
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	16.36
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	54.96

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805935.8 , 8988733.0                      Maximum : 806051.8 , 8988956.0

**Zone Name :** Zone no. 18                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 17.50 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 19.27 (m)  
**Total Zone Flow :** 41.31 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 1.77 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.27
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.48
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	58.43

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 806000.2 , 8989018.0                      Maximum : 806119.2 , 8989188.0

**Zone Name :** Zone no. 19                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 23.00 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 24.41 (m)  
**Total Zone Flow :** 36.82 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 1.41 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.40
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.98
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	47.08



Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805886.3 , 8988894.0 Maximum : 806047.6 , 8988960.0

**Zone Name :** Zone no. 20 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 17.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 19.15 (m)  
**Total Zone Flow :** 45.72 (m3/h) **Valve Headloss :** 2.15 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.36
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	18.14
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	59.40

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805920.2 , 8989101.0 Maximum : 806115.1 , 8989192.0

**Zone Name :** Zone no. 21 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 23.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 25.27 (m)  
**Total Zone Flow :** 47.02 (m3/h) **Valve Headloss :** 2.27 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.37
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.83
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	58.64

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805766.4 , 8988978.0 Maximum : 805965.4 , 8989045.0

**Zone Name :** Zone no. 22 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 17.50 (m) **Zone Head (U/S) :** 19.52 (m)  
**Total Zone Flow :** 44.25 (m3/h) **Valve Headloss :** 2.02 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis



	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.09
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	18.38
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	61.42
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805824.5 , 8989199.0		Maximum : 806024.4 , 8989285.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 23	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	22.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	23.96 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	43.64 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	1.96 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.11
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	17.53
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	59.45
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805699.4 , 8989047.0		Maximum : 805874.8 , 8989138.0	

<b>Zone Name :</b>	Zone no. 24	<b>Valve Description :</b>	VAL. BERMAD S100 3"
<b>Zone Head (D/S) :</b>	18.00 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b>	20.15 (m)
<b>Total Zone Flow :</b>	45.72 (m3/h)	<b>Valve Headloss :</b>	2.15 (m)
<b>Run Type :</b>	Normal Analysis		

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	6.91 ***
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	18.42
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	62.46
Outlet Locations (X,Y)	Minimum : 805730.1 , 8989296.0		Maximum : 805936.7 , 8989376.0	



**Zone Name :** Zone no. 25                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 18.50 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 19.38 (m)  
**Total Zone Flow :** 28.75 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 0.88 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.12
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	12.73
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	44.07

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805606.3 , 8989223.0                      Maximum : 805787.0 , 8989228.0

**Zone Name :** Zone no. 26                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 22.24 (m)  
**Total Zone Flow :** 56.42 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 3.24 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	6.94 ***
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	19.50
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	64.44

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805615.6 , 8989364.0                      Maximum : 805846.1 , 8989469.0

**Zone Name :** Zone no. 27                      **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 14.50 (m)                      **Zone Head (U/S) :** 15.40 (m)  
**Total Zone Flow :** 28.95 (m3/h)                      **Valve Headloss :** 0.90 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.11
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	15.05
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	52.73

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805621.0 , 8989519.0                      Maximum : 805758.3 , 8989559.0

**Zone Name :** Zone no. 27.2**Valve Description :** VAL. BERMAD S100 2"**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m)**Zone Head (U/S) :** 20.76 (m)**Total Zone Flow :** 20.95 (m3/h)**Valve Headloss :** 1.76 (m)**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.27
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.31
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	45.34

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805560.0 , 8989451.0 Maximum : 805663.5 , 8989466.0

**Zone Name :** Zone no. 28**Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"**Zone Head (D/S) :** 14.00 (m)**Zone Head (U/S) :** 14.84 (m)**Total Zone Flow :** 28.02 (m3/h)**Valve Headloss :** 0.84 (m)**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.46
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	14.90
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	49.95

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805527.3 , 8989616.0 Maximum : 805667.8 , 8989653.0

**Zone Name :** Zone no. 28.2**Valve Description :** VAL. BERMAD S100 2"**Zone Head (D/S) :** 20.50 (m)**Zone Head (U/S) :** 23.07 (m)**Total Zone Flow :** 25.32 (m3/h)**Valve Headloss :** 2.57 (m)**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.34
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	13.76
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	46.64



Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805394.5 , 8989552.0 Maximum : 805572.9 , 8989559.0

**Zone Name :** Zone no. 29 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 18.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 20.75 (m)  
**Total Zone Flow :** 51.84 (m3/h) **Valve Headloss :** 2.75 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	6.95 ***
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	18.66
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	62.73

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805357.8 , 8989680.0 Maximum : 805580.0 , 8989743.0

**Zone Name :** Zone no. 30 **Valve Description :** VAL. BERMAD S100 3"  
**Zone Head (D/S) :** 19.00 (m) **Zone Head (U/S) :** 20.27 (m)  
**Total Zone Flow :** 34.82 (m3/h) **Valve Headloss :** 1.27 (m)  
**Run Type :** Normal Analysis

	<u>Allowable Flow</u> (lph)	<u>Actual Flow</u> (lph)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	2.04	2.04	7.00	7.02
Maximum Outlet	2.04	2.04	22.00	20.71
Outlet Variation (%)	0.00	0.00	68.18	66.11

Outlet Locations (X,Y) Minimum : 805296.1 , 8989834.0 Maximum : 805489.4 , 8989836.0



Company : AGRICOLA

Designer : WILLIAM JIMENEZ

Client : FUNDO LA MORA

Design Date : 22/08/2021

Site : NEPEÑA

Report Date : 31/08/2023 14:48:54

Notes : PALTA HASS

File : PRY-LAMORA-ETAPA2-3UND-LxH.dez

**System Flow - 1**

<u>Zones Operating</u>					
Zone Name	(X,Y) (m)		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 1	806209.7	8989111.7	27.4	17.1	31.8
Zone no. 2	806209.4	8989112.2	27.5	27.5	43.5
Zone no. 3	806127.5	8989196.2	26.6	18.4	42.7
Zone no. 4	806127.4	8989196.4	26.7	19.6	38.6
Zone no. 5	806036.8	8989289.5	23.7	18.8	47.1
Zone no. 6	806036.4	8989290.3	23.7	21.7	33.6
Zone no. 7	805949.0	8989379.8	21.1	18.1	45.7
Zone no. 8	805948.7	8989380.5	21.2	20.1	32.4
<u>Water Supplies</u>					
Water Supply	(X,Y) (m)		Pressure (m)		Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4	8989500.4		40.2	-315.4

**System Flow - 2**

<u>Zones Operating</u>					
Zone Name	(X,Y) (m)		Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
Zone no. 16	806200.9	8989103.6	29.2	17.9	36.4
Zone no. 17	806200.2	8989104.3	29.3	25.2	51.6
Zone no. 18	806118.9	8989188.1	28.8	19.3	41.3
Zone no. 19	806118.3	8989188.5	28.7	24.4	36.8
Zone no. 20	806028.5	8989281.1	26.3	19.1	45.7
Zone no. 21	806027.9	8989281.7	26.3	25.3	47.0
Zone no. 22	805940.5	8989371.8	23.8	19.5	44.2
Zone no. 23	805940.0	8989372.2	24.0	24.0	43.6

**Water Supplies**

Water Supply	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4 8989500.4	46.0	-346.8

**System Flow - 3****Zones Operating**

Zone Name	(X,Y) (m)	Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)	
Zone no. 9	805858.2	8989473.1	26.5	19.5	64.6
Zone no. 10	805770.4	8989563.4	22.6	15.9	43.2
Zone no. 24	805849.9	8989464.9	26.4	20.1	45.7
Zone no. 25	805849.2	8989465.5	26.3	19.4	28.7
Zone no. 26	805762.1	8989555.4	22.2	22.2	56.4

**Water Supplies**

Water Supply	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4 8989500.4	44.3	-238.7

**System Flow - 4****Zones Operating**

Zone Name	(X,Y) (m)	Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)	
Zone no. 11	805679.8	8989656.5	29.8	14.9	36.4
Zone no. 12	805592.0	8989746.9	25.1	16.8	41.3
Zone no. 27	805671.5	8989648.8	29.8	15.4	29.0
Zone no. 27.2	805670.1	8989649.7	29.7	20.8	21.0
Zone no. 28	805583.7	8989739.1	25.2	14.8	28.0
Zone no. 28.2	805582.4	8989740.8	25.1	23.1	25.3
Zone no. 29	805493.1	8989832.4	20.7	20.7	51.8

**Water Supplies**

Water Supply	(X,Y) (m)	Pressure (m)	Flow (m3/h)
Supply no. 1	806522.4 8989500.4	57.7	-232.8

**System Flow - 5****Zones Operating**

Zone Name	(X,Y) (m)	Valve Pressure (m)	Required Pressure (m)	Flow (m3/h)
-----------	--------------	-----------------------	--------------------------	----------------



Zone no. 13	805501.2	8989840.4	23.4	16.1	45.4
Zone no. 14	805413.5	8989930.3	18.6	13.7	40.3
Zone no. 15	805409.8	8989934.1	18.7	18.7	45.8
Zone no. 30	805444.6	8989882.6	20.4	20.3	34.8

**Water Supplies**

<b>Water Supply</b>	<b>(X,Y) (m)</b>		<b>Pressure (m)</b>	<b>Flow (m3/h)</b>
Supply no. 1	806522.4	8989500.4	55.2	-166.4

**ANEXO 03: REPORTES DE OPERACIÓN  
DE LA BOMBA Y CABEZAL PARA  
AMBAS ETAPAS**

## PROYECTO: FUNDO LA MORA

**UBICACIÓN:** NEPEÑA  
**CULTIVO:** PALTA  
**MODELO DE BOMBA:** HIDROSTAL 125-400 // 415MM // 175 HP IE3  
**OPERACIÓN:** VARIADOR DE FRECUENCIA  
**FILTROS:** RIVULIS F7250 7X3" DOBLE - 6.1 L/H // MAX DP: 8 m.c.a.

ETAPA N°1					
OPERACION		BOMBA 5%Q		REQUERIMIENTO	
Turno	Velocidad	Caudal Estandar	ADT Ofertado	Presion de Salida a Campo	Tolerancia de Perdidas en Cabezal
	(RPM)	(l/s)	(m.c.a.)	(m.c.a.)	(m.c.a.)
1	1338	61.4	47.7	33.6	14.1
2	1431	67.7	52.3	38	14.3
3	1578	70.4	67.9	52.3	15.6
4	1587	53.8	72.5	58.5	14.0

OPERACION BOMBA REQUERIMIENTO					
Turno	Velocidad	Caudal Turno	ADT Ofertado	Presion de Salida a Campo	Tolerancia de Perdidas en Cabezal
	(RPM)	(l/s)	(m.c.a.)	(m.c.a.)	(m.c.a.)
1	1338	58.5	48.5	33.6	14.9
2	1431	64.5	55.6	38.0	17.6
3	1578	67.1	68.9	52.3	16.6
4	1587	51.3	72.9	58.5	14.4

- 1- Realizar medición real de todos los turnos en operación (QvsH) y verificar la velocidad establecida
- 2- Realizar ajuste de la velocidad considerando el escenario de perdidas maximas hasta cumplir con la presion objetivo de cada turno durante retrolavado. No reducir por debajo de los 40Hz.
- 3- Verificar presion de valvulas criticas del turno y de emisores con menor presión según mapa

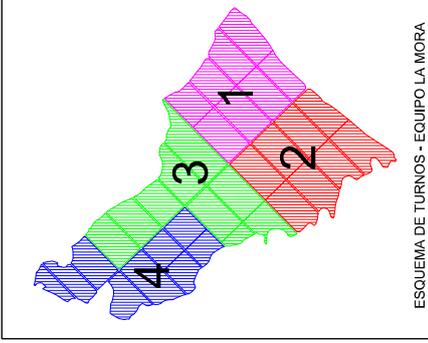
ETAPA N°2					
OPERACION		BOMBA 5%Q		REQUERIMIENTO	
Turno	Velocidad	Caudal Estandar	ADT Ofertado	Presion de Salida a Campo	Tolerancia de Perdidas en Cabezal
	(RPM)	(l/s)	(m.c.a.)	(m.c.a.)	(m.c.a.)
1	1667	92	67.9	49.7	18.2
2	1733	101.2	70.6	55.5	15.1
3	1527	69.6	63.1	47.8	15.3
4	1656	67.9	76.6	61.2	15.4
5	1596	48.5	74.0	58.7	15.3

OPERACION BOMBA REQUERIMIENTO					
Turno	Velocidad	Caudal Turno	ADT Ofertado	Presion de Salida a Campo	Tolerancia de Perdidas en Cabezal
	(RPM)	(l/s)	(m.c.a.)	(m.c.a.)	(m.c.a.)
1	1667	87.6	70.0	49.7	20.3
2	1733	96.3	73.4	55.5	17.9
3	1527	66.3	64.1	47.8	16.3
4	1656	64.7	77.4	61.2	16.2
5	1596	46.2	74.1	58.7	15.4

- 1- Realizar medición real de todos los turnos en operación (QvsH) y verificar la velocidad establecida
- 2- Realizar ajuste de la velocidad considerando el escenario de perdidas maximas hasta cumplir con la presion objetivo de cada turno. No reducir por debajo de los 60Hz.
- 3- Verificar presion de valvulas criticas del turno y de emisores con menor presión según mapa

## **ANEXO 04: PLANOS**



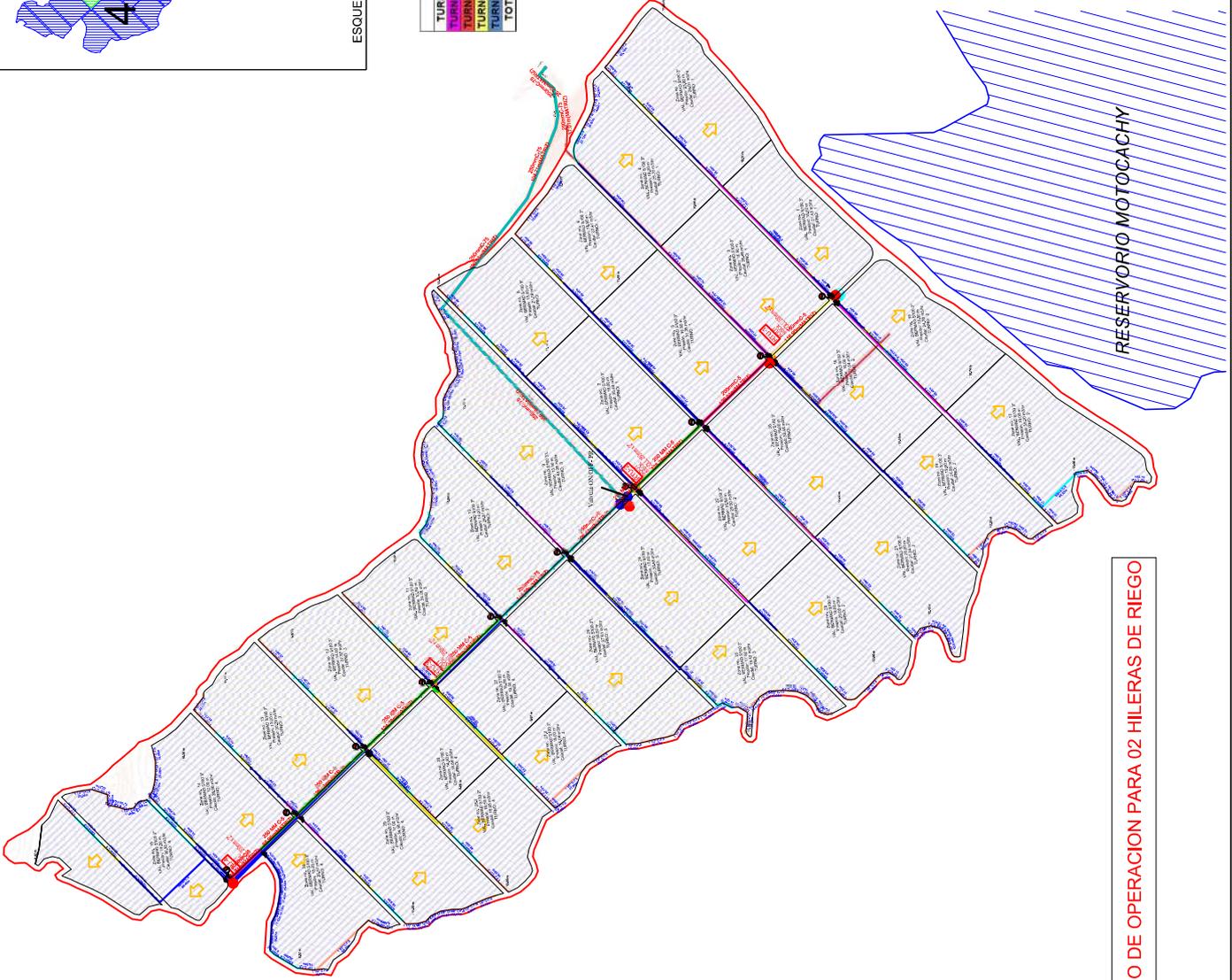
ESQUEMA DE TURNOS - EQUIPO LA MORA

TURNOS	AREA (ha)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /hr)	T (h)
TURNOS 1	17.97	210.50	3.10
TURNOS 2	19.72	232.10	3.10
TURNOS 3	20.57	241.50	3.10
TURNOS 4	15.67	184.50	3.10
<b>TOTAL</b>	<b>73.93</b>	<b>716.60</b>	<b>12.40</b>

DISEÑO AGRONÓMICO	
Cultivo	PALTO
D. Hileras (m)	7.00
Lateral	15 MIL/16.00
N° Mangueras	2
Caudal genérico (l/hr)	200
C (m/haba)	11.43
Horas riego	12.40
Turnos	4
Lamina riego (mm)	3.50

**LEYENDA**

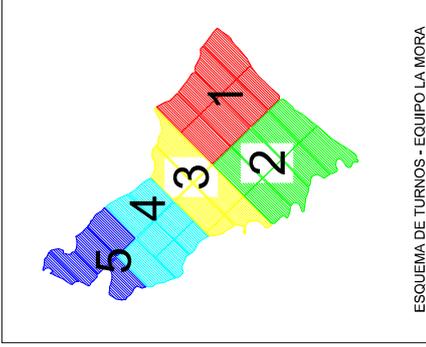
- TUBERÍA PVC 250 mm C7.5
- INSTALACIÓN PVC 250 mm C-5
- TUBERÍA PVC 150 mm C-5
- INSTALACIÓN PVC 150 mm C-5
- TUBERÍA PVC 100 mm C-5
- TUBERÍA PVC 75 mm C-5
- TUBERÍA PVC 50 mm C-5
- TUBERÍA PVC 25 mm C-5
- TUBERÍA PVC 1.12 C-7.5
- VALVULA DE AIRE DP 2"
- VALVULA DE ABRIR 3"
- INICIO DE RIG
- FIN DE RIG
- VALVULA HIDRAULICA 3"
- VALVULA HIDRAULICA 2"
- VALVULA HIDRAULICA 1.5"
- VALVULA REGULADORA 8"



RESERVORIO MOTOCACHY

PLANO DE OPERACION PARA 02 HILERAS DE RIEGO

PROYECTO	01
FECHA DE ELABORACION	
ELABORADO POR	PLANO DE INSTALACION - EQUIPO LA MORA
REVISADO POR	REVISADO
PROYECTADO POR	PROYECTADO
VERIFICADO POR	VERIFICADO
FECHA	7.00
PROYECTO	RESERVORIO

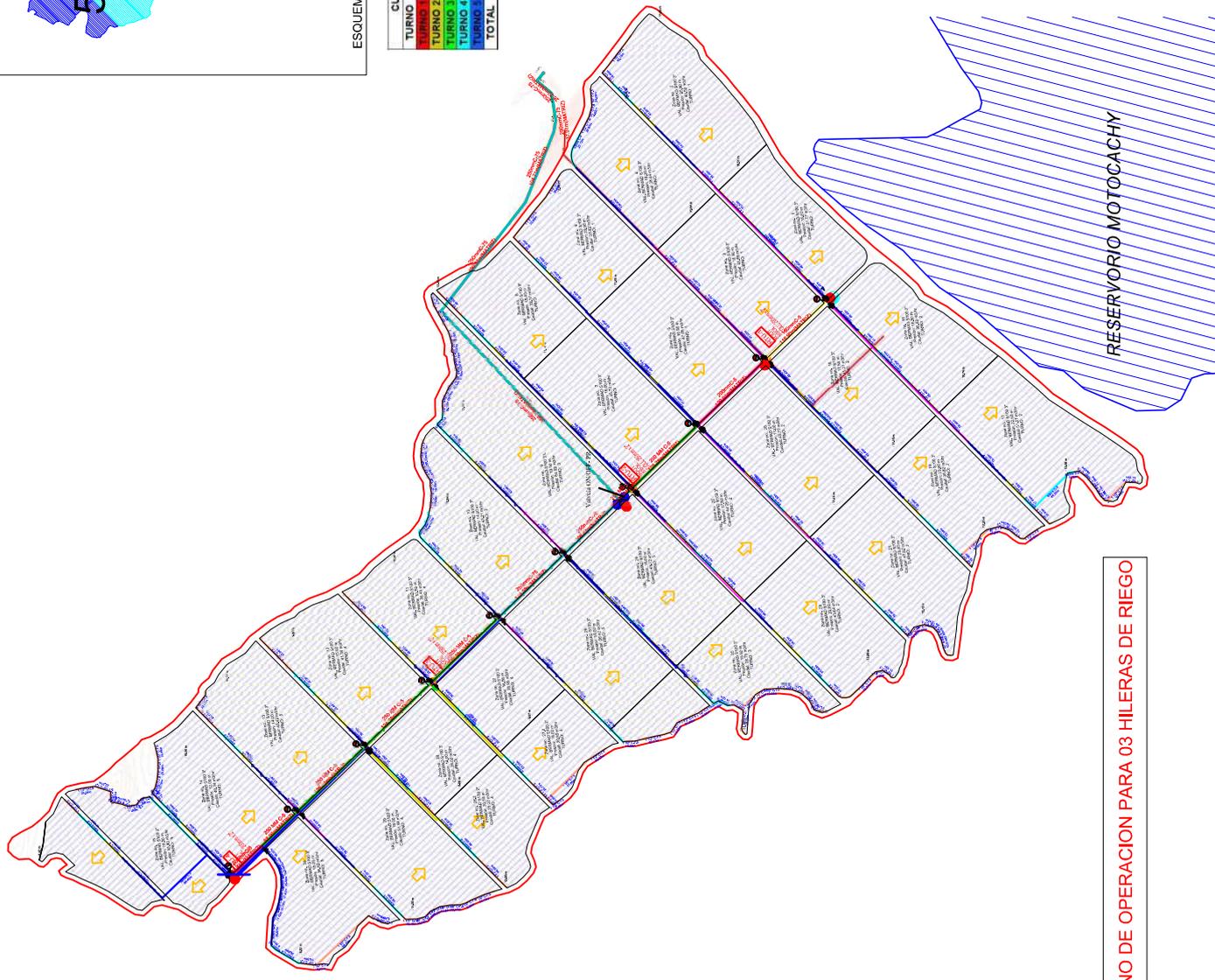


ESQUEMA DE TURNOS - EQUIPO LA MORA

TURNOS	AREA (Ha)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /min)	T.R. (h)
TURNOS 1	17.97	315.40	3.50
TURNOS 2	19.72	346.80	3.50
TURNOS 3	13.56	238.70	3.50
TURNOS 4	13.22	232.80	3.50
TURNOS 5	9.45	166.40	3.50
<b>TOTAL</b>	<b>73.93</b>		<b>17.50</b>

DISEÑO AGRONÓMICO	
Cultivo	PALTO
D. Hileras (m)	7.00
Laberal	15 Mts/16.00 MM
N° Mangueras	3
Caudal general (l/m <sup>2</sup> )	2.00
Caudal (m <sup>3</sup> /min)	17.44
Horas riego	17.50
Turnos	5
Lamina riego (mm)	6.00

LEYENDA	
TUBERIA PVC 250 mm C7.5	(Green line)
INSTALADO PVC 250 mm C5	(Red line)
INSTALADO PVC 200 mm C5	(Yellow line)
TUBERIA PVC 180 mm C5	(Cyan line)
TUBERIA PVC 140 mm C5	(Blue line)
TUBERIA PVC 90 mm C5	(Purple line)
TUBERIA PVC 75 mm C5	(Light blue line)
TUBERIA PVC 63 mm C5	(Light green line)
TUBERIA PVC 1.12 C7.5	(Light yellow line)
VALVULA DE AIRE DP 2"	(Red circle)
VALVULA DE AIRE 3"	(Blue circle)
INICIO DE RIG	(Red dot)
FIN DE RIG	(Blue dot)
VALVULA HIDRAULICA 3"	(Green circle)
VALVULA HIDRAULICA 2"	(Yellow circle)
VALVULA HIDRAULICA 1"	(Cyan circle)
VALVULA REGULADORA 8"	(Purple circle)

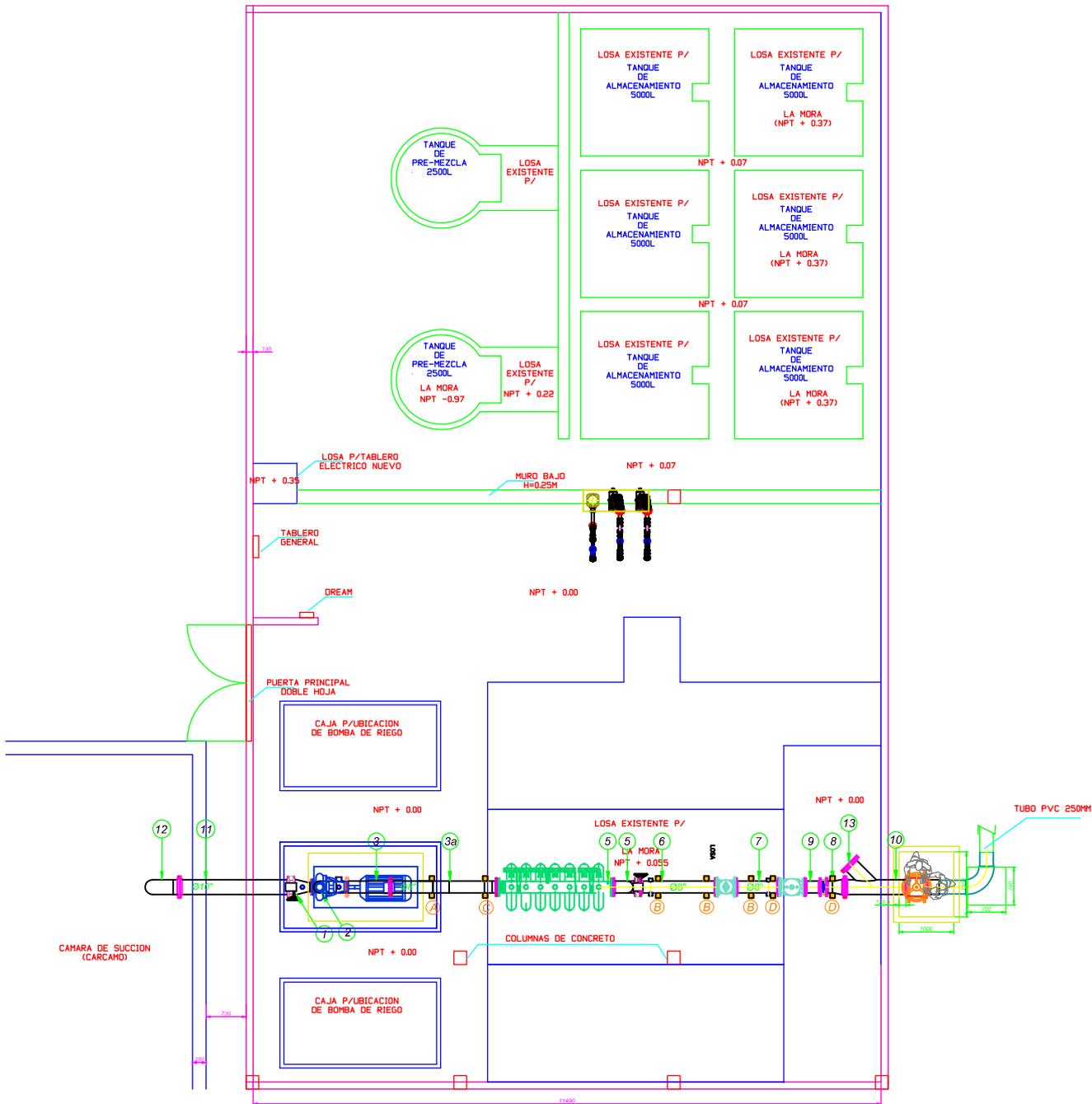


RESERVIORIO MOTOCACHY

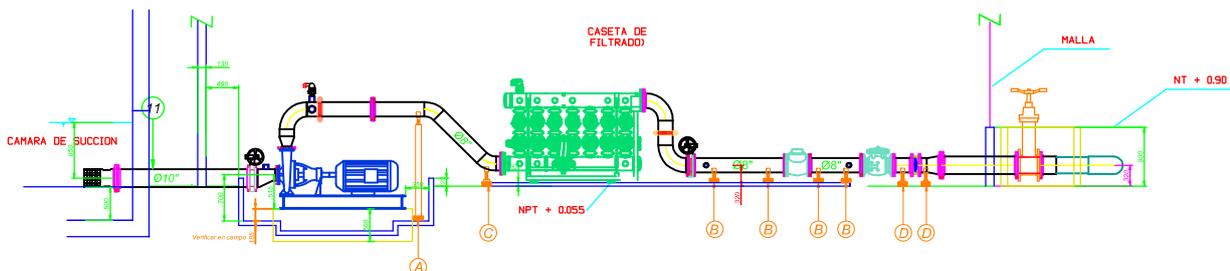
PLANO DE OPERACION PARA 03 HILERAS DE RIEGO

PROYECTO	02
FECHA DE ELABORACION	
ELABORADO POR	
REVISADO POR	
APROBADO POR	
FECHA DE APROBACION	
ESCALA	1:100
PROYECTO	RESERVIORIO

# VISTA EN PLANTA



# VISTA DE PLANTA



# VISTA DE PERFIL

PLANO N°	03	
FECHA	AGOSTO 2023	CLIENTE
ESCALA	S/ESCALA	PROYECTO LA MORA
DISEÑO	W.J.	PLANO
DIBUJO	W.J.	CABEZAL DE FILTRADO
APROBO	-	UBICACION
	-	CULTIVO
	-	ESPACIAMIENTO CULTIVO
	-	FUENTE DE AGUA

**ANEXO 05: DATOS TECNICOS BOMBA, MOTOR  
Y VARIADOR**



# CFW11

Convertidor de Frecuencia  
para Sistemas Industriales

## ALTA PRODUCTIVIDAD Y DESEMPEÑO PARA SU NEGOCIO

El CFW11 es un convertidor de frecuencia de **alta tecnología** para el accionamiento y control de motores trifásicos de inducción, así como de motores de imanes permanentes WMagnet WEG. Presenta excelente performance estática y dinámica, alta precisión en el control de torque, velocidad y posicionamiento. Puede ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones, debido a su alta capacidad de sobrecarga.

Desarrollado para uso exclusivo en aplicaciones industriales o profesionales, el convertidor CFW11 proporciona ahorro de energía y aumento de productividad y calidad en los procesos donde es utilizado.

### Rangos de Potencias<sup>1)</sup>

- 1,5 a 2,2 kW - 2 a 3 HP / 200-240 V ca - Monofásico
- 1,1 a 110 kW - 2 a 75 HP / 200-240 V ca - Trifásico
- 1,5 a 630 kW - 2 a 970 HP / 380-480 V ca - Trifásico
- 1,5 a 560 kW - 2 a 850 HP / 500-600 V ca - Trifásico
- 2,2 a 630 kW - 3 a 850 HP / 600-690 V ca - Trifásico

### Régimen de Sobrecarga Normal (ND)

- 110% durante 60 segundos cada 10 minutos
- 150% durante 3 segundos cada 10 minutos

### Régimen de Sobrecarga Pesada (HD)

- 150% durante 60 segundos cada 10 minutos
- 200% durante 3 segundos cada 10 minutos

### Certificaciones



*Nota: para mayores potencias, consulte a WEG Automatización o vea el catálogo del AFW11M (Accionamiento con Convertidor de Frecuencia Modular).*



#### Flujo Óptimo®

- Tecnología para motores accionados por convertidores de frecuencia en aplicaciones con característica de torque constante
- Torque nominal en bajas velocidades, eliminando la necesidad de ventilación forzada o sobredimensionamiento del motor
- Reducción de espacio y costos para la aplicación
- Mejor desempeño del conjunto motor y convertidor (una solución exclusiva WEG)
- La función Flujo Óptimo actúa cuando es utilizada la configuración motor WEG de alta eficiencia + CFW11

#### WMagnet Drive System®

##### Convertidor de Frecuencia CFW11 en Conjunto con el Motor de Imanes Permanentes WMagnet WEG

El sistema WMagnet (motor WMagnet + CFW11) tiene el más elevado nivel de eficiencia del mercado. Es la combinación perfecta para aplicaciones que exigen variación de velocidad, bajo nivel de ruido y tamaño reducido. En el modo *Sensorless*, el sistema WMagnet es capaz de ejecutar el control de torque en velocidad cero sin necesidad de ventilación forzada.

- Métodos de control: control vectorial *sensorless* y en malla cerrada (vectorial con *encoder*)



## Codificación<sup>1)</sup>

<b>1</b> CFW11	<b>2</b> 0016	<b>3</b> T	<b>4</b> 4	<b>5</b> S	<b>6</b> ---	<b>7</b> ---
----------------	---------------	------------	------------	------------	--------------	--------------

### 1 - Convertidor de frecuencia WEG CFW11

### 2 - Corriente nominal de salida para régimen de sobrecarga normal

Alimentación	Monofásico (S)	Monofásico o trifásico (B)	Trifásico (T)						
			Tensión	200-240 V ca	200-240 V ca	200-240 V ca	380-480 V ca	500-600 V ca	660-690 V ca
Corriente	0006 = 6 A 0007 = 7 A 0010 = 10 A	0006 = 6 A 0007 = 7 A	0007 = 7 A	0003 = 3 A	0180 = 180 A	0002 = 2,9 A	0107 = 107 A	0002 = 2,9 A	0107 = 100 A
			0010 = 10 A	0005 = 5 A	0211 = 211 A	0004 = 4,2 A	0125 = 125 A	0004 = 4,2 A	0125 = 108 A
			0013 = 13 A	0007 = 7 A	0242 = 242 A	0007 = 7 A	0150 = 150 A	0007 = 7 A	0150 = 130 A
			0016 = 16 A	0010 = 10 A	0312 = 312 A	0010 = 10 A	0170 = 170 A	0010 = 8,5 A	0170 = 147 A
			0024 = 24 A	0013 = 13 A	0370 = 370 A	0012 = 12 A	0216 = 216 A	0012 = 11 A	0216 = 195 A
			0028 = 28 A	0017 = 17 A	0477 = 477 A	0017 = 17 A	0289 = 289 A	0017 = 15 A	0289 = 259 A
			0033 = 33 A	0024 = 24 A	0515 = 515 A	0022 = 22 A	0315 = 315 A	0022 = 20 A	0315 = 259 A
			0045 = 45 A	0031 = 31 A	0601 = 601 A	0027 = 27 A	0365 = 365 A	0027 = 24 A	0365 = 312 A
			0054 = 54 A	0038 = 38 A	0720 = 720 A	0032 = 32 A	0435 = 435 A	0032 = 30 A	0435 = 365 A
			0070 = 70 A	0045 = 45 A	0760 = 760 A	0044 = 44 A	0472 = 472 A	0044 = 35 A	0472 = 427 A
			0086 = 86 A	0058 = 58 A	0795 = 795 A	0053 = 53 A	0584 = 584 A	0053 = 46 A	0584 = 478 A
			0105 = 105 A	0070 = 70 A	0877 = 877 A	0063 = 63 A	0625 = 625 A	0063 = 54 A	0625 = 518 A
			0142 = 142 A	0088 = 88 A	1062 = 1062 A	0080 = 80 A	0758 = 758 A	0080 = 73 A	0758 = 628 A
			0180 = 180 A	0105 = 105 A	1141 = 1141 A		0804 = 804 A		0804 = 703 A
			0211 = 211 A	0142 = 142 A					

### 3 - Número de fases

S	Monofásico
B	Monofásico o trifásico
T	Trifásico

### 4 - Tensión

2	200-240 V: para tamaños A, B, C y D 220-230 V: para tamaño E
4	380-480 V
5	500-600 V
6	660-690 V

### 5 - Accesorios Opcionales

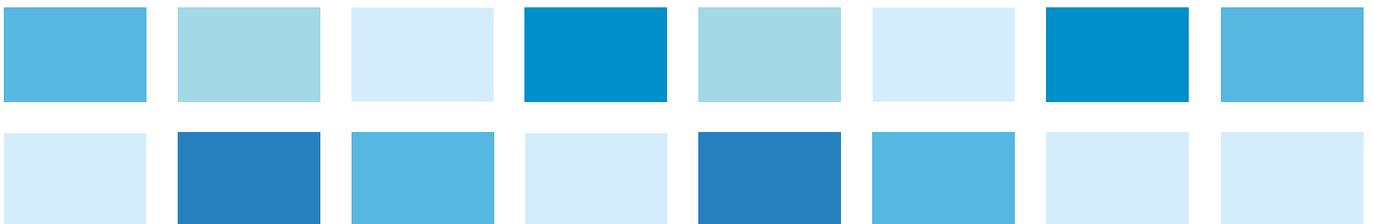
S	Modelo estándar de fábrica
0	Producto con opcionales

### 6 - Grado de protección

En blanco	Estándar (conforme la tabla de abajo)
21	IP21
N1	NEMA1
55	IP55

Tamaño	Grado de protección	Hardware especial CC
A	IP21	No
B	IP21	No
C	IP21	No
D	NEMA1 / IP20	No
E	IP20	No
F	IP20	No
	IP00	Sí
G	IP20	No
	IP00	Sí
H	IP20	No

Nota: 1) Otras configuraciones disponibles bajo consulta.



## Datos Técnicos

Alimentación y rango de potencia		
Tensión y rango de potencia	Monofásica	220-240 V ca (+10%, -15%) (2 a 3 HP) 1,5 a 2,2 kW
	Trifásica	220-240 V ca (+10%, -15%) (2 a 75 HP) 1,5 a 55 kW
		380-480 V ca (+10%, -15%) (2 a 850 HP) 1,5 a 630 kW
		500-600 V ca (+10%, -15%) (2 a 850 HP) 1,5 a 630 kW
		660-690 V ca (+10%, -15%) (3 a 850 HP) 2,2 a 630 kW
Frecuencia	50/60 Hz (+/-2%: 48 a 63 Hz)	
Factor de potencia típico de entrada	0,94 para modelos con entrada trifásica en la condición nominal	
	0,70 para modelos con entrada monofásica en la condición nominal	
Cos $\phi$ (factor de desplazamiento)	Mayor que 0,98	
Eficiencia	Mayor que 0,97	

Salida del convertidor		
Rango de tensión	Trifásica, 0 V hasta la tensión de alimentación	
Rango de frecuencia	0 a 3,4x frecuencia nominal del motor <sup>1)</sup>	
Frecuencia de conmutación	Estándar: 5 kHz (tamaños A, B, C, D); 2,5 kHz (tamaño E); 2 kHz (tamaños F, G y H) Opciones disponibles 2,5 / 5 / 10 kHz	
Sobrecarga	Régimen de sobrecarga normal (ND):	110% durante 1min cada 10min
		150% durante 3s cada 10min
	Régimen de sobrecarga pesada (HD):	150% durante 1min cada 10min
		200% durante 3s cada 10min
Tiempo (rampas)	Aceleración	0 a 999s
	Desaceleración	0 a 999s

Ambiente		
Temperatura de operación	Tam. A...D IP20, IP21 y UL type 1 (NEMA1)	-10...60 °C (por encima de 50 °C es necesario aplicar derating de corriente)
	Tam E IP20, IP21 y UL type 1 (NEMA1)	-10...55 °C (por encima de 45 °C es necesario aplicar derating de corriente)
	Todos modelos de la Tam. F y G IP20 excepto 720T4 y 760T4	
	Modelos 720T4 y 760T4 (Tam. G) y todos del tamaño H	-10...55 °C (por encima de 40 °C es necesario aplicar derating de corriente)
	Tam B...E IP55/UL type 12 (NEMA12)	-10...50 °C (por encima de 40 °C es necesario aplicar derating de corriente)
Humedad	5 a 95%, sin condensación	
Altitud	Hasta 1.000 m - condiciones nominales De 1.000 m a 4.000 m con reducción de corriente (1% para cada 100 m por encima de 1.000 m) De 2.000 m a 4.000 m con reducción de tensión de 1,1% para cada 100 m por encima de 2.000 m	

Nota: 1) Este valor máximo puede alterarse de acuerdo con el modo de control y la frecuencia de conmutación. La velocidad máxima permitida es 18.000 rpm.

Grado de protección	
IP21	Estándar para tamaños A, B, C. Para el tamaño D, debe ser adicionado el kit de la tapa superior. Opción no disponible para los tamaños E, F, G y H.
IP20	Estándar para tamaños D, E, F, G y H. En los tamaños A, B y C, la tapa superior debe ser removida.
NEMA1	Estándar para el tamaño D. Opcional para tamaños A, B, C, E, F y G.
IP55/NEMA12	Opcional para tamaños B, C, D y E.

Métodos de frenado	
Frenado reostático	Disponible con IGBT de frenado incorporado o con módulo externo (DBW03 o DBW04)
	Resistor de frenado externo (no suministrado)
Frenado óptimo	No necesita resistor de frenado
Frenado CC	Corriente directa aplicada al motor

Desempeño		
Control de velocidad	V/F	Regulación: 1% de la velocidad nominal
		Rango de variación de velocidad: 1:20
	Vectorial de tensión (VWV)	Regulación: 1% de la velocidad nominal
		Rango de variación de velocidad: 1:30
	Vectorial sensorless	Regulación: 0,5% de la velocidad nominal
		Rango de variación de velocidad: 1:100
Vectorial con encoder (motor asíncrono o de imán permanente)	Regulación: +0,01% de la velocidad nominal con entrada analógica de 14 bits (IOA)	
	Regulación: $\pm 0,01\%$ de la velocidad nominal con referencia digital (teclado, serial fieldbus, potenciómetro electrónico, multivelocidad)	
	Regulación: $\pm 0,05\%$ de la velocidad nominal con entrada analógica de 12 bits	
Control de torque	Vectorial con encoder (motor asíncrono y motor de imán permanente) o sensorless (motor de imán permanente)	Rango: 10 a 180%
		Regulación: $\pm 5\%$ del torque nominal
	Vectorial sensorless (motor asíncrono)	Rango: 20 a 180%
		Regulación: $\pm 10\%$ del torque nominal (por encima de 3 Hz)

Entradas y salidas (I/Os) en el producto estándar		
Entradas	Digitales	6 entradas aisladas, 24 V cc, funciones programables
	Analógicas	2 entradas diferenciales aisladas por el amplificador diferencial, funciones programables
		Resolución AI1: 12 bits AI2: 11 bits + señal
		Señales: 0 a 10 V cc, 0 a 20 mA o 4 a 20 mA
Salidas	Relé	3 salidas a relé con contactos en NA/NC, 240 V ca / 2 A, funciones programables
		2 salidas aisladas, funciones programables
	Analógicas	Resolución: 11 bits
		Carga: 0 a 10 V: RL $\geq$ 10 k $\Omega$ 0 a 20 mA o 4 a 20 mA: RL < 500 $\Omega$
Fuente disponible para el usuario	24 V cc + -20%, 500 mA	



100-200

## BOMBA CENTRIFUGA ISO 2858

### DESCRIPCION GENERAL

La bomba centrífuga ISO 2858 es una bomba fabricada según los estándares de la ISO. Esto garantiza intercambiabilidad de piezas, facilidad de reparación y mantenimiento y una sustitución perfecta con las bombas de otros fabricantes sin necesidad de cambios en la instalación. Un mínimo de componentes, y una construcción simple y robusta garantizan un servicio eficiente y libre de mantenimiento.

### DETALLES CONSTRUCTIVOS

**Caja:** Fabricada en hierro fundido gris o nodular con recubrimiento cerámico. Diseñada con sistema "back pull out" que permite un rápido desmontaje para una eventual reparación o inspección. Alternativamente se suministra en bronce o acero inoxidable sin recubrimiento cerámico.

**Impulsor:** Del tipo centrífugo cerrado. Fabricado en hierro fundido gris o nodular, alternativamente se suministra en bronce y en acero inoxidable. Está diseñado para una máxima eficiencia de bombeo. Balanceado electrónicamente para evitar vibraciones.

**Prensaestopa:** Como ejecución estándar se suministra el equipo con prensaestopas de fibra acrílica trenzada. Alternativamente se suministra con sello mecánico.

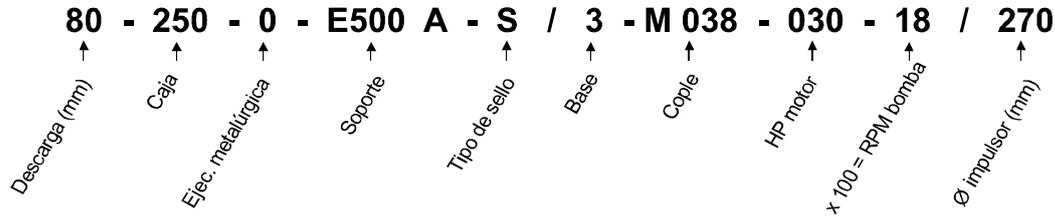
**Soporte:** Construido en hierro fundido gris con rodamientos lubricados por grasa, especialmente seleccionados para severas condiciones de operación. Eje de acero al carbono dimensionado con amplio factor de seguridad.

**Contrabridas:** Para permitir una fácil instalación. Opcionalmente se puede suministrar a pedido contrabridas para los modelos de hasta 80 mm de diámetro de succión, para conexión a tuberías con rosca estándar americana.

### APLICACIONES

Agricultura, suministro de agua potable, alimentación de calderos, riego en general, sistemas de calefacción y aire acondicionado, bombeo de líquidos viscosos, compuestos químicos, construcción, minería, industria en general.

## DESIGNACION DE LA BOMBA



## DATOS TECNICOS

MODELO	EJECUCION METALURGICA		SOPORTE				DIAMETRO DEL EJE				PRESION DE PRUEBA HIDROSTATICA (m)	ESPESOR DE CAJA (mm)	N° DE ALABES	T MAX (°C)	
	STD	ALTER-NATIVA	TRANS. DIRECTA	TRANS. FAJAS	PRENSA ESTOPA	SELLO MECANICO	RPM MAX	IMPULSOR	PRENSA ESTOPA	SELLO					COPELE
32-125	0		B385-A	B385-B								60	5,5	7	
32-160	0	1,5,6,7,9	C385-C	C385-D				NF 3/4"	1 1/8"	1 1/8"	24	100	7	6	
32-160L												70	5,5		
40-125	0		B385-A	B385-B								100	6		
40-160	0*	1*,5,6,7*,9	C385-C	C385-D								100	6		
40-200	1*	5,9	D385-E	D385-F								160	7	7	
40-250	9**	5,6	E500-A	E500-B								250	9		
50-125	0	1,5,6,7,9	C385-E	C385-F								70	7	6	
50-160	1*	5,6,7,9										100	6,5		
50-200	1	5,9	D385-E	D385-F								160	7		
50-250	9	5	E500-A	E500-B								250	9	7	
65-160	1	5,6,7,9	D500-A	D500-B								100	7		
65-200	9	5	(D500-A)	(D500-B)								160	7,5	6	
65-250			E500-A	E500-B								250			
65-315		5,6,7	(F530-A)	(F530-B)								100	11	7	
			F530-0	F530-1											
80-200	0	1,5,6,7,9	D500-A	D500-B								40	7	6	
80-250			1,5,9	(E500-A)								(E500-B)	E500-0		E500-1
80-315	1	5,9	(F530-A)	(F530-B)								100	11		
			F530-0	F530-1											
100-200	0	1,5,6,7,9	(D500-A)	(D500-B)								40	9	7	
												D500-0	D500-1		
125-250		1,5,9	(E530-A)	(E530-B)								65			
			E530-0	E530-1											
125-315	9	5	(F530-A)	(F530-B)								100	11	6	
												F530-0	F530-1		
125-400			(H530-C)	(H530-D)								160		7	
			H670-A	H670-B											
150-315			F670-A	F670-B								70	12		
150-400			H750-A	H750-B***								165		6	
200-400			H750-A	H750-B****								159	13	7	

\* : CAJA EN FIERRO FUNDIDO NODULAR

\*\* : IMPULSOR EN BRONCE AL SILICIO

( ) : SOPORTE ANTIGUO

\*\*\* : CON FAJAS Y POLEAS SOLO @ 1200 RPM.

\*\*\*\* : CON FAJAS Y POLEAS USAR CONTRAEJE

## EJECUCIONES METALURGICAS

NOMINACION COMPONENTE	EJECUCION METALURGICA					
	0	1	5	6	7	9
CAJA	A48CL30B	A48CL30B	AISI-316	B584-872	A48CL30B	A536-8060
IMPULSOR	A48CL30B	A536-8060	AISI-316	B584-872	B584-872	A536-8060
PERNO CENTRAL	AISI-316	AISI-316	AISI-316	AISI-316	AISI-316	AISI-316
ANILLO DESGASTE	A48CL30B	A48CL30B	AISI-316	B584-872	B584-872	A48CL30B
GUIADOR	A48CL30B	A48CL30B	AISI-316	B584-872	B584-872	A536-8060
PIEZA INTERMEDIA	A48CL30B	A48CL30B	AISI-316	B584-872	A48CL30B	A536-8060
CAJA PRENSAESTOPA	A48CL30B	A48CL30B	AISI-316	B584-872	A48CL30B	A48CL30B
BOCINA PRENSAESTOPA	B584-836	B584-836	AISI-316	B584-836	B584-836	B584-836
LUNETAS	A536-8060	A536-8060	AISI-316	B584-872	A536-8060	A536-8060
BOCINA EJE	AISI-420	AISI-420	AISI-316	AISI-420	AISI-420	AISI-420
EJE	AISI-1045	AISI-1045	AISI-316	AISI-416	AISI-416	AISI-1045
CASCO RODAMIENTO	A48CL30B	A48CL30B	A48CL30B	A48CL30B	A48CL30B	A48CL30B
TAPA RODAMIENTO DELANTERO	A48CL30B	A48CL30B	AISI-316	A48CL30B	A48CL30B	A48CL30B

### MATERIALES

- A48CL30B : FIERRO FUNDIDO GRIS
- A536-8060 : FIERRO FUNDIDO NODULAR
- B584-872 : BRONCE AL SILICIO
- B584-836 : BRONCE EMPLOMADO
- AISI-1045 : ACERO AL CARBONO
- AISI-420 : ACERO AL CARBONO ANTICORROSIVO
- AISI-416 : ACERO INOXIDABLE
- AISI-316 : ACERO INOXIDABLE

**NOTA:**  
LAS EJECUCIONES 0, 1, 7 Y 9 TIENEN SOLO LA CAJA CON RECUBRIMIENTO CERAMICO. LAS EJECUCIONES 5 Y 6 TIENEN CAJA SIN RECUBRIMIENTO CERAMICO.

**NOTA:** PARA UNA SELECCION CORRECTA DE MATERIALES CONSULTE CON EL DEPARTAMENTO DE VENTAS

BOMBA CENTRIFUGA ISO 2858

CATALOGO I VERSIÓN: F REV.15 02/2016 **2**

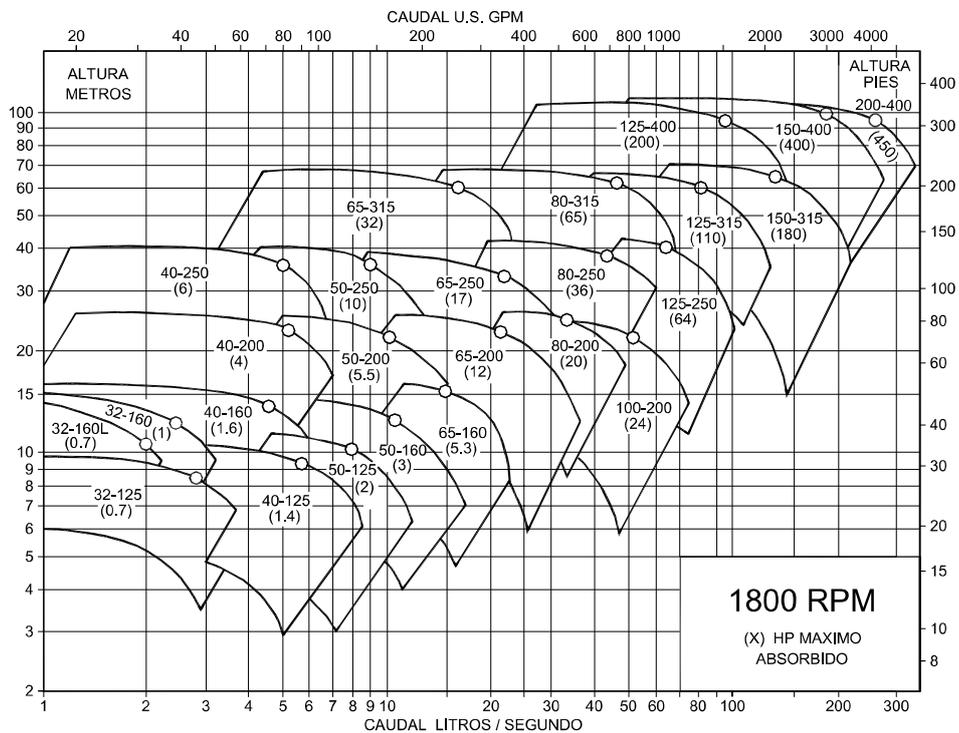
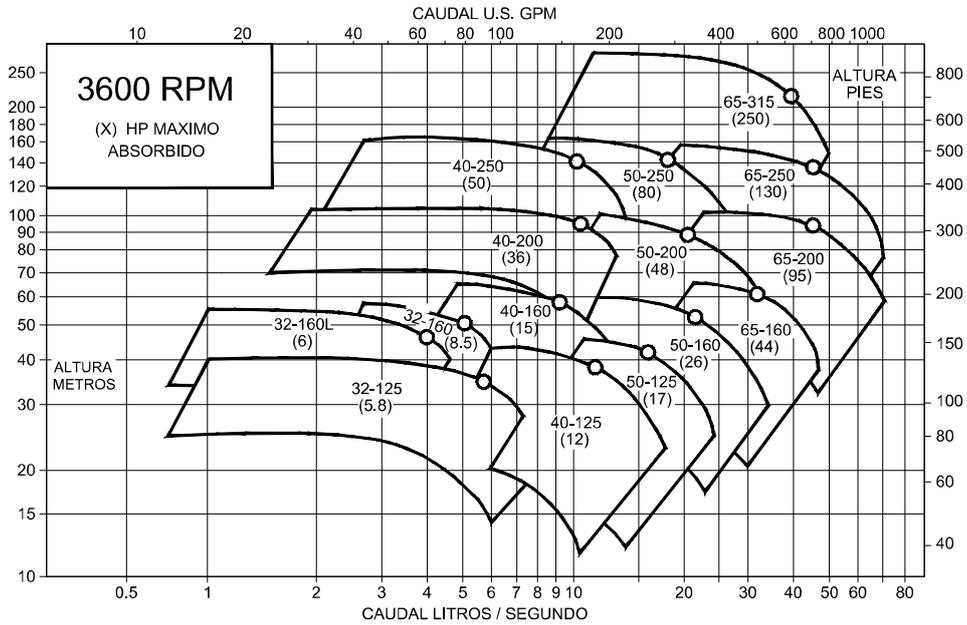


BUSINESS ALLIANCE FOR SECURE COMMERCE  
PERFORMANCE



TUV Rheinland®  
**CERT**  
ISO 9001  
ISO 14001

## RANGOS DE OPERACION A 60 Hz



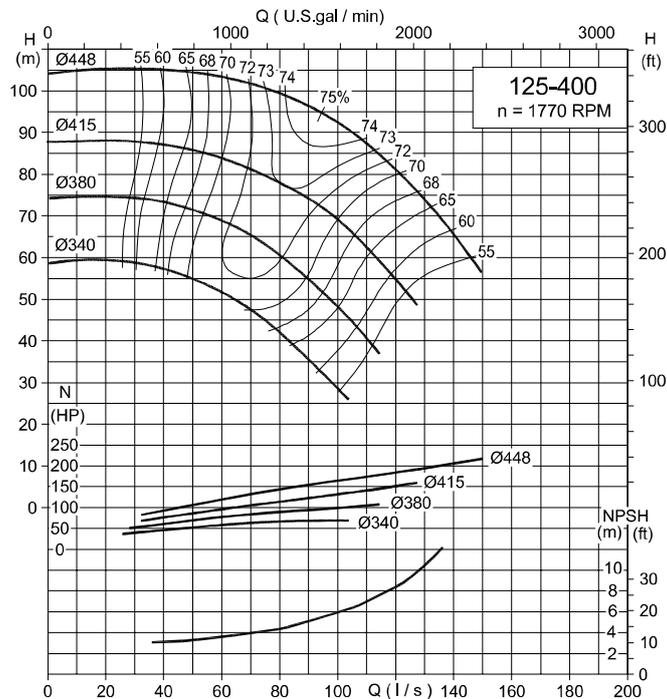
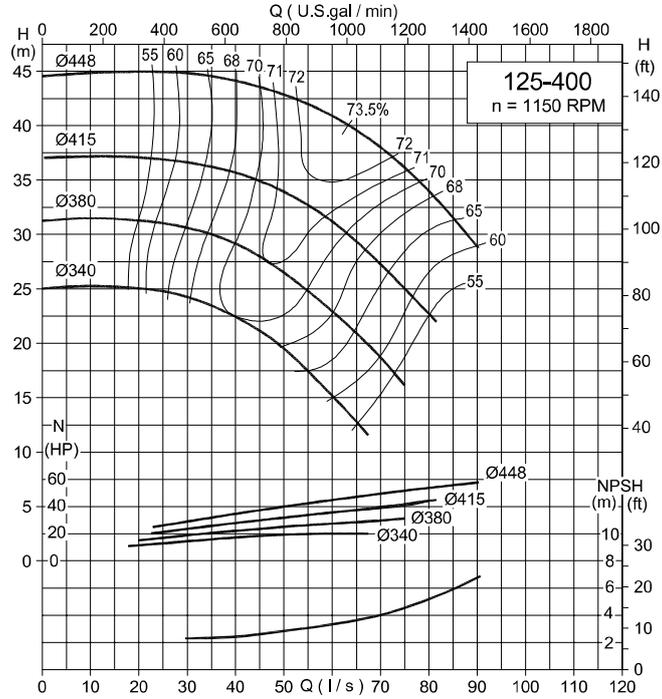
NOTA: PARA UNA CORRECTA SELECCION DIRIJASE A LAS CURVAS INDIVIDUALES DE LAS BOMBAS DE ACUERDO A SU EJECUCION METALURGICA:

**SECCION 10 A: BOMBAS CON CAJA EN FIERRO FUNDIDO GRIS O NODULAR CON RECUBRIMIENTO CERAMICO**

**SECCION 10 B: BOMBAS CON CAJA EN ACERO INOXIDABLE O EN BRONCE SIN RECUBRIMIENTO CERAMICO**

**CURVAS DE OPERACION A 60 Hz**

**125 - 400**



CURVAS MOSTRADAS PARA BOMBAS CON CAJA EN **ACERO INOXIDABLE O EN BRONCE SIN RECUBRIMIENTO CERAMICO.**  
 CURVAS EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION (AGUA LIMPIA A 20°C) DE ACUERDO A NORMA ISO 9906:2012 GRADO 2B.

## W22 IE3 132 kW 4P 315S/M 3F 460 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3T

Producto: 13260619

Visión general



GENERAR DOCUMENTOS



Imagen meramente ilustrativa

Los motores W22 son la pieza clave cuando se trata de ahorro. Con niveles de rendimiento superiores promueven reducción del consumo de energía, ofrecen una excelente relación costo-beneficio y consecuentemente una mayor productividad, con gastos reducidos para la industria.

Los motores poseen alto rendimiento y cumplen el nivel de eficiencia conforme IEC 60034-30-1.

### Resumen de las características técnicas

Norma	IEC 60034-1
Frecuencia	60 Hz
Tensión	460 V
Numero de polos	4
Grado de protección	IP55
Rotación sincrona	1800 rpm
Potencia	132 kW
Fijación	Con pies
Brida	Sin
Forma constructiva	B3T
Caja de conexión <sup>1</sup>	Superior
Refrigeración	IC411 - TEFC

### DETALLES DEL PRODUCTO

Datos Técnicos

### Motores Eléctricos

Carcasa	315S/M
Potencia	132 kW (175 HP)
Numero de polos	4
Frecuencia	60 Hz

Rotación nominal	1791 rpm
Resbalamiento	0.50 %
Tensión nominal	460 V
Corriente nominal	200 A
Corriente de arranque	1479 A
Ip/In	7.4
Corriente en vacío	72.7 A
Torque nominal	71.8 kgfm
Torque de arranque	260 %
Torque máximo	260 %
Tiempo de rotor bloqueado	43s (frío) 24s (caliente)
Momento de inercia (J)	3.00 kgm <sup>2</sup>
Categoría	N
Clase de aislamiento	F
Factor de servicio	1.25
Elevación de temperatura	80 K
Ciclo de servicio	S1
Método de partida	Partida directa
Temperatura ambiente	-20°C hasta +40°C
Altitud	1000 m
Grado de protección	IP55
Refrigeración	IC411 - TEFC
Forma constructiva	B3T
Dirección de rotación <sup>1</sup>	Ambos
Nivel de ruido <sup>2</sup>	75.0 dB(A)
Masa aproximada <sup>3</sup>	974 kg

(1) Mirando la punta delantera del eje del motor.; (2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A); (3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación.; (4) Al 100% de la carga completa.

## Eficiencia

50%	75%	100%
<b>94.5</b>	<b>95.5</b>	<b>96.2</b>

## Factor de potencia

50%	75%	100%
<b>0.74</b>	<b>0.82</b>	<b>0.86</b>

## Otras características

Material de la carcasa	Hierro fundido
Método de Impregnación	Flujo de resina constante
Sistema de reengrase	Delantera y trasera
Rosca de la caja principal	2xM63x1,5
Placa bornera	Placa bornera BMC - 6 pines
Dispositivo de bloqueo del eje	Sin

Material Eje	Acero carbono SAE 1040/45
Pintura	RAL 5009 203A (ISO 12944 - C2)
Tipo de puesta a tierra	Doble
Material de la tapa deflectora	Hierro fundido
Pintura tropicalizada	Sin
Fijación del rodamiento	Anillo de fijación
Protección térmica del devanado	Termistor - 2 alambres 1 por fase 155°C
Tipo de balanceo	1/2 llaveta
Sombrero	Sin
Protector fenólico de sobrecarga	Sin protector
Cantidad de Cables de Conexion	6
Material del ventilador	Plastico

## SOBRE EL PRODUCTO



### Sistema de Ventilación

El proyecto del sistema de ventilación de la línea W22 proporciona menores niveles de ruido y permite una mejor distribución del flujo de aire sobre el motor, minimizando los puntos calientes en la superficie y aumentando su confiabilidad y longevidad.

- Caja de conexión y ojales de suspensión posicionados de forma de contribuir a la reducción de la dispersión del flujo de aire
- Temperatura de operación reducida, en los cojinetes, resultando en mayores intervalos de relubricación
- Bajos niveles de ruido

### Carcasa

El proyecto de la carcasa reduce la dispersión del flujo de aire y contribuye al aumento del intercambio térmico entre el motor y el ambiente, resultando en reducción de puntos calientes en la superficie de la carcasa, así como en el aumento del intervalo de relubricación de los rodamientos.



## Tapas

Diseño desarrollado para mejorar la disipación térmica y permitir temperaturas más bajas de operación en el cojinete, así como prolongar los intervalos de lubricación.

### Tapa Delantera

- Cubo del rodamiento desplazado en la dirección externa de la tapa
- Temperatura de operación reducida
- Estructura reforzada para minimizar la vibración y aumentar la disipación de calor

### Tapa Trasera

- Flujo de aire optimizado
- Reducción de los niveles de ruido
- Estructura robusta para minimizar la vibración

## Caja de Conexión

El aumento del volumen interno de la caja de conexión facilita el acceso a los terminales de conexión, garantizando mayor facilidad y seguridad en las conexiones eléctricas durante la instalación y el mantenimiento del motor.

- El sistema de conexión de la caja de conexión permite una fácil alteración de la forma constructiva del motor (a partir de la carcasa IEC 225 / NEMA 447), reduciendo el tiempo de alteración y la cantidad de motores en stock.



## WEG AFRICA

6 Laneshaw Street, Longlake Extention 4, Johannesburg, Gauteng, 1619 - Private Bag X10011 - Gauteng / Sudáfrica

Teléfono: +27 11 723 6000

Correo electrónico: [info\\_africa@weg.net](mailto:info_africa@weg.net)



[Preferencias de Cookies](#)

[Aviso de Privacidad](#) | [Declaración de Uso de Cookies](#) | [Términos y Condiciones de Uso](#) | [RSS](#) | © 2023 WEG. Todos los derechos reservados.