

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO
CON ESTACIÓN DE BOMBEO FUNCIONANDO A TURNOS, USANDO
MÉTODO HÍBRIDO. CASO ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL
1° DE ABRIL, TACNA

TESIS

Presentada por:

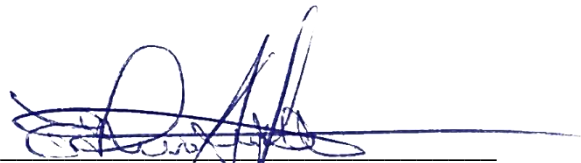
Bach. ALFREDO GERÓNIMO PANTI HUACCA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ
2021


MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR Y ASESOR DE TESIS



MSc. Edgar Chura Arocutipa
Presidente



Mgr. Ana Gabriela Cruz Baltuano
Secretaria



Mtro. Cesar José Avendaño Jihuallanga
Vocal



Ph.D. Edwin Martín Pino Vargas
Asesor de tesis

DEDICATORIA

A Dios, quien me guía en cada paso de mi vida y me provee de salud, inteligencia, discernimiento y fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, mis hermanos y a todos quienes han revelado en mí una gran persona.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi mayor inspiración, por darme vida y permitirme alcanzar mis sueños.

A todos los docentes que han sido parte de mi formación profesional, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y sus conocimientos compartidos.

A mis padres, mis hermanos, y amistades, quienes siempre han estado a mi lado para ayudarme y me han motivado a superarme día a día.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvii

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3.1 Interrogante general.....	7
1.3.2 Interrogantes específicas.....	7
1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	7
1.4.1 Hipótesis general	7
1.4.2 Hipótesis específicas.....	8
1.5 JUSTIFICACIÓN	8

1.6	DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	10
1.6.1	Objetivo general	10
1.6.2	Objetivos específicos	10
1.7	DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	10
1.7.1	Identificación de variables	10
1.7.2	Caracterización de las variables	10
1.7.3	Medición operacional de las variables.....	11
1.8	ALCANCES Y LIMITACIONES	11
1.8.1	Alcances.....	11
1.8.2	Limitaciones	12
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1	CONCEPTOS GENERALES.....	13
2.1.1	El fluido y flujo.....	13
2.1.2	Ecuación de continuidad.....	14
2.1.3	Ecuación general de la energía	15
2.1.4	Primera ley de Kirchhoff	18
2.1.5	Ecuaciones para el cálculo de pérdidas de carga.....	19
2.2	REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA (RDA) A PRESIÓN	23
2.2.1	Clasificación de redes según el sistema de alimentación	24
2.2.2	Clasificación de redes según la topología.....	25
2.3	REDES DE RIEGO A PRESIÓN	27

2.3.1	Clasificación del riego tecnificado a presión.....	28
2.3.2	Modalidades de organización de la distribución de aguas en redes colectivas de riego	29
2.3.3	Métodos de riego	31
2.3.4	Componentes de redes colectivas de riego a presión	32
2.3.5	Obras de captación.....	34
2.3.6	Sistema de almacenamiento.....	35
2.3.7	Sistema de bombeo.....	35
2.4	PRINCIPALES CRITERIOS PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO	39
2.5	FASES DEL DISEÑO DE REDES DE RIEGO A PRESIÓN.....	41
2.6	ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO PREZURIZADO	45
2.6.1	Diseño agronómico.....	45
2.6.2	Diseño hidráulico.....	53
2.7	MÉTODOS DE DISEÑO ÓPTIMO.....	58
2.7.1	Clasificación de las técnicas de optimización	58
2.7.2	Método de programación lineal (PL).....	58
2.7.3	Método de programación no lineal (PNL).....	59
2.7.4	Método de algoritmo genético (AG)	60
2.7.5	Método híbrido (MH)	64
2.8	IMPLICACIONES ECONÓMICAS EN EL DISEÑO DE RDA	66

2.8.1	Variables económicas que intervienen en el diseño de RDA.....	66
2.8.2	Balance entre los costos implicados en el diseño de RDA.....	67
2.8.3	Diámetro económico en impulsiones	70
2.9	DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	72
2.9.1	Métodos de dimensionado de RDA.....	73
2.9.2	Modelo de programación lineal para el dimensionado de una conducción por bombeo.....	74
2.9.3	Aspectos particulares del problema.....	77
2.9.4	Método de resolución con programación lineal	79
2.10	MODELO DE DISEÑO ÓPTIMO PARA UNA RDA FUNCIONANDO A TURNOS	80
2.10.1	Modelo de optimización considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga.....	80
2.10.2	Modelo de optimización considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga.....	82
2.11	HERRAMIENTAS INFORMATICAS MODERNAS.....	83
2.11.1	Microsoft Excel Solver.....	83
2.11.2	Evolver.....	84
2.11.3	Cropwat 8.0	84
2.11.4	Epanet 2.0.....	85
	CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	86
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	86

3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	86
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	87
3.4	PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO	87
3.5	RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO	89
3.5.1	Ubicación del sistema de riego	89
3.5.2	Descripción del sistema de riego	89
3.5.3	Topografía del terreno	90
3.5.4	Topología de la red	91
3.6	DISEÑO AGRONÓMICO	93
3.6.1	Elección del método de riego	93
3.6.2	Recopilación de datos para el diseño agronómico.....	95
3.6.3	Procesamiento de datos con Software Cropwat 8.0	96
3.7	DISEÑO HIDRÁULICO	102
3.7.1	Caudal ficticio continuo por parcelas	102
3.7.2	Sectores por parcela.....	104
3.7.3	Dotaciones normalizadas y número de turnos	105
3.7.4	Parámetros hidráulicos	107
3.8	IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS HÍBRIDOS	108
3.8.1	Parámetros generales de los modelos híbridos	108
3.8.2	Metodología del primer modelo híbrido considerando única altura de bombeo (HB) para múltiples estados de carga	109

3.8.3 Metodología del segundo modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo (HB) para múltiples estados de carga	124
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	133
4.1 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS HIDRÁULICOS.....	133
4.1.1 Verificación de resultados del modelo de única HB	133
4.1.2 Verificación de resultados del modelo de diferentes HB	135
4.2 RESULTADOS DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	137
4.2.1 Resultados del modelo de única HB.....	137
4.2.2 Resultados del modelo de diferentes HB.....	140
4.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS RESULTADOS	144
4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS	147
4.5 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE CÁLCULO DE LOS MODELOS	152
4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	153
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
5.1 CONCLUSIONES.....	155
5.2 RECOMENDACIONES	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
ANEXOS	165

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coeficiente de rugosidad absoluta según material de tubería	22
Tabla 2. Valores del coeficiente k para los elementos singulares	23
Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de redes ramificadas y malladas.....	27
Tabla 4. Valores orientativos de la eficiencia de aplicación en riegos	48
Tabla 5. Clasificación de costos de una red de distribución de agua.....	66
Tabla 6. Características de operación y largos máximos de tuberías.....	94
Tabla 7. Datos meteorológicos de la estación Sama Grande	95
Tabla 8. Distribución de superficie del sector de riego	102
Tabla 9. Demandas críticas diarias de los cultivos en l/s.ha	103
Tabla 10. Caudal ficticio continuo crítico por parcela en l/s.ha	103
Tabla 11. Cálculo de N° de sectores en parcela por tipo de gotero	104
Tabla 12. Cálculo de dotación teórica - 1° iteración	105
Tabla 13. Determinación del N° de turnos - 2° iteración	106
Tabla 14. Parámetros generales de los modelos híbridos	108
Tabla 15. Dotaciones y celdas variables de turno	110
Tabla 16. Caudales de consumo por turno	110
Tabla 17. Topología de la red hasta el nudo 4, turno 1	111

Tabla 18. Velocidades de la red inicial hasta el nudo 9, turno 1.....	111
Tabla 19. Pendiente hidráulica de la red inicial hasta el nudo 9, turno 1	112
Tabla 20. Definición de celdas Ajustables de Li y HB	112
Tabla 21. Valores de Li y HB luego del proceso de optimización	113
Tabla 22. Perdidas de carga de la solución óptima del turno 1	113
Tabla 23. Verificación de presiones de solución óptima del turno 1	114
Tabla 24. Costos de operación del diseño óptimo.....	114
Tabla 25. Costos de instalación del diseño óptimo	115
Tabla 26. Costo unitario de tuberías Nicoll	116
Tabla 27. Definición de la función objetivo	116
Tabla 28. Definición de celdas ajustables de Li y HBt en modelo 2	125
Tabla 29. Valores de Li y HBt luego del proceso de optimización en modelo 2	125
Tabla 30. Costos de la solución optima obtenido por modelo 2	129
Tabla 31. Mejor combinación de turnos en hidrantes, modelo 1	137
Tabla 32. Caudales totales por turno, modelo 1	138
Tabla 33. Costos de la iteración inicial y final del modelo 1	140
Tabla 34. Mejor combinación de turnos en hidrantes, modelo 2	141
Tabla 35. Caudales totales por turno, modelo 2	142
Tabla 36. Costos de la solución inicial y solución final del modelo 2.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ilustración de la ecuación de la continuidad.....	14
Figura 2. Ilustración de la ecuación general de la energía	15
Figura 3. Esquema de una instalación con bomba de aspiración	17
Figura 4. Primera ley de Kirchhoff para un nudo	18
Figura 5. Primera ley de Kirchhoff para el sistema	19
Figura 6. El ábaco de Moody	20
Figura 7. Alimentación desde depósitos	24
Figura 8. Inyección directa a la red.....	25
Figura 9. Tipos de redes según su configuración topológica.....	26
Figura 10. Esquema de la infraestructura de un regadío moderno.....	34
Figura 11. Curva característica de una bomba centrífuga.....	37
Figura 12. Combinación de bomba y sistema	38
Figura 13. Principales etapas de un proyecto de riego.....	40
Figura 14. Proceso de desarrollo cronológico de un sistema de riego	40
Figura 15. Proceso de desarrollo solido de un sistema de riego	41
Figura 16: Entradas y salidas de agua en el suelo.....	46
Figura 17: Curva general de la variación de Kc a lo largo de las fases	47

Figura 18. Trayectoria de optimización por método Simplex y punto interior	59
Figura 19. Diagrama de flujo de un AG básico	62
Figura 20. Individuo genético binario.....	63
Figura 21. Variación de los costos anuales con el diámetro	70
Figura 22. Tubería de impulsión	71
Figura 23. Clasificación de los métodos de dimensionado de RDA.....	73
Figura 24. Red ramificada alimentada por estación de bombeo	74
Figura 25. Procedimiento para el dimensionado óptimo con PL.....	79
Figura 26. Procedimiento de diseño de un sistema de riego	87
Figura 27. Ubicación geográfica – Asoc. Agroindustrial 1° de Abril.....	89
Figura 28. Topografía de la zona de estudio	91
Figura 29. Topología de la red hidráulica	92
Figura 30. Gotero autocompensante PC.....	94
Figura 31. Flujograma de la metodología del software Cropwat.....	97
Figura 32. Información climática en Cropwat	97
Figura 33. Información de precipitación en Cropwat	98
Figura 34. Información de cultivos en Cropwat.....	98
Figura 35. Información del suelo en Cropwat.....	99
Figura 36. Requerimiento de riego en Cropwat.....	100
Figura 37. Parámetros de programación de riego en Cropwat.....	100
Figura 38. Patrón de cultivo en Cropwat	101
Figura 39. Requerimientos del sistema en Cropwat.....	101

Figura 40. Sistema hidráulico estudiado	107
Figura 41. Flujograma del modelo híbrido considerando única HB	109
Figura 42. Estimación del costo unitario de tuberías por coeficientes.....	116
Figura 43. Configuración de los parámetros de Solver.....	117
Figura 44. Definición de los parámetros de Evolver.....	118
Figura 45. Ajustes del tiempo de optimización en Evolver	119
Figura 46. Ajustes del motor de cálculo AG en Evolver	119
Figura 47. Ajustes para ejecutar macros de Excel en Evolver	120
Figura 48. Presiones y velocidades, turno 1 del modelo de única HB	121
Figura 49. Presiones y velocidades, turno 2 del modelo única HB.....	122
Figura 50. Presiones y velocidades, turno 3 del modelo única HB.....	123
Figura 51. Flujograma del modelo híbrido considerando diferentes HB.....	124
Figura 52. Configuración del método no lineal en Solver para modelo 2	127
Figura 53. Configuración del método lineal en Solver para modelo 2	127
Figura 54. Configuración de macros en Evolver para modelo 2.....	129
Figura 55. Presiones y velocidades, turno 1 del modelo de diferentes HB.....	130
Figura 56. Presiones y velocidades, turno 2 del modelo de diferentes HB.....	131
Figura 57. Presiones y velocidades, turno 3 del modelo de diferentes HB.....	132
Figura 58. Verificación de velocidades, modelo de única HB.....	133
Figura 59. Verificación de presiones, modelo de única HB	134
Figura 60. Verificación de velocidades, modelo de diferentes HB.....	135
Figura 61. Verificación de presiones, modelo de diferentes HB	136

Figura 62. Mapa de contorno de presiones para el modelo 1.....	139
Figura 63. Mapa de contorno de presiones para el modelo 2.....	143
Figura 64. Comparación de velocidades en turno 1	145
Figura 65. Comparación de velocidades en turno 2	145
Figura 66. Comparación de velocidades en turno 3	145
Figura 67. Comparación de presiones en turno 1	146
Figura 68. Comparación de presiones en turno 2.....	146
Figura 69. Comparación de presiones en turno 3.....	147
Figura 70. Distribución de diámetros nominales por modelo	148
Figura 71. Diámetros óptimos del modelo de única HB	149
Figura 72. Diámetros óptimos del modelo de diferentes HB.....	150
Figura 73. Comparación de costos por modelo.....	151

RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende contribuir en la optimización del diseño de sistemas de riego a presión con estación de bombeo funcionando a turnos, para ello se ha implementado dos modelos híbridos que combinan programación lineal, programación no lineal y algoritmos genéticos. Asimismo, los modelos híbridos se han aplicado al sistema de riego de la “Asociación Agroindustrial 1° de Abril”.

En la actualidad en la región de Tacna, aún se ejecutan redes de riego sin tomar en cuenta diseños óptimos que consideren aspectos hidráulicos y económicos. Esta situación provoca a menudo que la implantación de redes de riego sea poco eficiente, ya que tienen bajo costo de instalación, pero elevado costo de operación, que al ser valorados en un periodo de funcionamiento resultan ser antieconómicos.

La investigación realizada es de tipo aplicada. Así como su diseño de investigación es experimental basado en una serie de simulaciones para encontrar la solución óptima. Se empleó las aplicaciones de Solver y Evolver en la plataforma de Microsoft Excel.

Por consiguiente, se realizó un análisis comparativo con los resultados de los modelos híbridos propuestos, obteniéndose la solución más económica al

considerar en el modelo de optimización diferentes alturas de bombeo para cada turno de riego, no obstante, el porcentaje de reducción económica dependerá mucho de la configuración de la red analizada. En ese sentido se sugiere continuar con los estudios en este tema, para así tratar de la mejor manera posible este tipo de problema.

Palabras claves: redes de agua, optimización, método híbrido, riego por bombeo, riego por turnos.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la ingeniería viene enfrentando una serie de problemas, siendo uno de los problemas más importantes el diseño óptimo de redes hidráulicas, que todavía persiste debido a la multitud de variables y casos presentados. Particularmente, el caso de diseño óptimo de redes de riego a presión, tiene mayor atención en el ámbito internacional, en países como España, Holanda, México, EUA y Chile, los cuales disponen de regadíos modernos y estudios avanzados. Mientras que a nivel nacional aún no se logra aplicar con éxito los métodos de optimización, concretamente en la región de Tacna se ejecutan proyectos de redes de riego sin diseños óptimos, debido a los escasos antecedentes en el tema.

El tema de optimización de redes de riego a presión ha sido estudiado por diversos autores, siendo los aportes más valiosos de Pérez (1993), Lapo (2012), Sánchez (2013), Espinosa et al. (2016), Briceño (2016) y entre otros autores, cuyas contribuciones han sido fundamentales para culminar la presente investigación.

En la región de Tacna, todavía se construyen sistemas de riego sin considerar diseños óptimos, situación que a menudo produce elevados costos energéticos en perjuicio de los usuarios; por esta razón se realizó esta investigación, cuyos aportes permiten obtener el diseño óptimo de sistemas de riego a presión y aprovechar de

manera eficiente la limitada disponibilidad de recursos hídricos, energéticos y económicos.

El objetivo general de esta investigación es optimizar el diseño de sistemas de riego con estación de bombeo usando un método híbrido, mediante la aplicación al sistema de riego de la “Asociación Agroindustrial 1° de Abril”, cuyas parcelas han sido diseñadas bajo el método de riego por goteo. Consecuentemente se ha planteado como objetivos específicos implementar dos modelos híbridos, y comparar técnicamente y económicamente los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

Pérez (1993), sintetiza los fundamentos del diseño hidráulico y el modelo lineal para el dimensionado económico de redes ramificadas. Sin embargo, la aplicación del modelo lineal quedó limitada por el incipiente desarrollo tecnológico de la época, por el contrario, hoy en día con el avance notable de la tecnología, es posible la aplicación de los modelos propuestos. A pesar de ello por las singularidades del tema tratado y la complejidad de los sistemas de riego, sigue siendo necesario aportar modificaciones al método o al sistema informático, permitiendo mejorar estudios anteriores.

Posteriormente Lapo (2012) implementa la metodología de los modelos híbridos PLYAG y PNL YAG, para el diseño óptimo de redes de riego a presión funcionando a turnos, con los cuales se obtiene la mejor programación de turnos y los diámetros económicos. Sin embargo, la función objetivo del modelo de optimización solo consideraba el costo de inversión más no el costo de operación, ya que el sistema estudiado carecía de estación de bombeo.

Por otro lado, Sánchez (2013) plantea alternativas de técnicas para transformar el riego superficial a riego tecnificado considerando el riego individual y riego colectivo. Asimismo, se realiza la comparación de los costos y beneficios de los métodos implicados, concluyendo que el riego colectivo es más económico y genera mayores beneficios con respecto al riego individual.

Hace pocos años, Espinosa et al. (2016) realizaron el diseño de un sistema de riego por el método de turnos y el método de Clement, seguidamente efectuó un análisis económico y técnico de los casos bajo dos enfoques. Concluyendo que el diseño por turnos es más económico que el método por Clement, ya que este requiere una mayor inversión inicial.

Siguiendo la misma línea, Briceño (2016) realizó la comparación de metodologías de diseño óptimo como el método heurístico, modelo híbrido PNLAYAG y el software Gestar, mediante la aplicación a un sistema de riego sin estación de bombeo con el fin de verificar su efectividad. Llegando a la conclusión que el diseño óptimo por turnos permite conseguir un ahorro económico hasta 38,70% con respecto al modelo funcionando a la demanda y que el software Gestar 2016 presenta la mejor alternativa de optimización.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el problema de diseño óptimo de sistemas de distribución de agua, representa un reto en la ingeniería debido a la complejidad de casos presentados y

a la pluralidad de variables involucradas. Siendo uno de los casos más frecuentes el diseño de sistemas de riego que requieren equipos de bombeo, para asegurar los caudales de consumo y la presión mínima de servicio. Normalmente al diseñarse sistemas de riego con equipos de bombeo, las incógnitas son las longitudes parciales de los diámetros y las alturas de bombeo, pero cuando la red funciona a turnos, también se debe incluir como incógnita al turno de funcionamiento de cada hidrante; una de las formas de encontrar los valores de tales incógnitas es aplicando un método híbrido.

A nivel internacional, en los últimos años se ha realizado diversos estudios para la optimización de redes urbanas y riego en países como España, Holanda, México, EUA y últimamente en país vecino de Chile. Por otra parte, en el contexto nacional recientemente se está estudiando los métodos de diseño óptimo de redes de distribución de agua, pero todavía no se logra aplicar con éxito en el diseño de redes de riego, debido a los insuficientes antecedentes en el tema.

Especialmente en la región de Tacna, aun se ejecutan proyectos de redes de riego con estación de bombeo sin diseños óptimos que tomen en cuenta criterios funcionales y económicos, tampoco hay mejora en la gestión de las redes de riego colectivo, por causa de los insuficientes estudios, falta de metodología clara y desconocimiento de las mismas. Esta situación provoca a menudo que las redes de riego con estación de bombeo tengan bajo costo de instalación, pero elevado costo

de operación, que al ser valorados en un periodo de funcionamiento resultan ser antieconómicos.

Los métodos híbridos de optimización PLYAG y PNLAYAG fueron propuestos por Lapo (2012), las cuales minimizan el costo de las redes de riego colectivo funcionando a turnos. En su estudio se formula el modelo de optimización considerando una sola incógnita de altura de bombeo para múltiples estados de carga, mas no se implementa la metodología correspondiente considerando el costo de operación y la variable de altura de bombeo, ya que la red analizada carecía de equipos de bombeo.

En ese sentido, con el presente trabajo de investigación se busca mejorar el diseño óptimo de redes de riego con estación de bombeo. Antes que nada, se implementará el modelo híbrido formulado por Lapo (2012) y el modelo híbrido propuesto que considera diferentes incógnitas de altura de bombeo por cada turno, para ello se aplicaran al sistema de riego de la Asociación Agroindustrial 1° de Abril que se ubica en la región de Tacna. Por último, se realizará la comparación de los resultados obtenidos con los modelos propuestos, logrando establecer la mejor alternativa de optimización que conduzca a la solución óptima del problema planteado.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Interrogante general

¿Cómo optimizar el diseño de sistemas de riego presurizado con estación de bombeo funcionando a turnos, usando un método híbrido? Caso Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Tacna.

1.3.2 Interrogantes específicas

¿Cómo implementar un modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga?

¿Cómo implementar un modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga?

¿Cuál modelo híbrido propuesto obtiene la mejor solución en términos económicos y técnicos?

1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

La aplicación de un método híbrido optimiza el diseño de sistemas de riego presurizado con estación de bombeo funcionando a turnos. Caso Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Tacna.

1.4.2 Hipótesis específicas

La implementación de un modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga optimiza el diseño de un sistema de riego con estación de bombeo.

La implementación de un modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga optimiza el diseño de un sistema de riego con estación de bombeo.

El modelo híbrido que considera diferentes alturas de bombeo obtiene la mejor solución en términos económicos y técnicos, respecto al modelo híbrido que considera una única altura de bombeo.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Ante la construcción de diversos sistemas de riego sin diseños óptimos en la región de Tacna, resulta de especial interés conocer como optimizar el diseño de sistemas de riego, y a partir de ahí, proponer una metodología clara que proporcione el diseño óptimo, para luego construir sistemas de riego eficientes que funcionen correctamente desde su diseño y a su vez garanticen la sostenibilidad de los regadíos.

La presente investigación surge de la necesidad de obtener la solución óptima del problema de diseño de sistemas de riego, para ello se implementó dos modelos

híbridos, con el propósito de optimizar el diseño de sistemas de riego con estación de bombeo, minimizando el costo global y cumpliendo con las condiciones hidráulicas de funcionamiento.

La investigación beneficiará a los usuarios del sistema de riego estudiado y de otros regadíos cercanos a la zona, ya que la aplicación de los aportes de este estudio les permitirá ahorrar en los costos energéticos, por lo que este estudio se hace muy importante para el desarrollo del sector agrario de la región.

Esta investigación tiene aporte práctico, ya que sus contribuciones permiten encontrar el diseño más económico de un sistema de riego a presión. Además, proporciona información útil a la comunidad de ingeniería para mejorar el conocimiento sobre la optimización del diseño de redes de riego con estación de bombeo.

Por otra parte, esta investigación tiene un aporte metodológico, ya que los modelos híbridos implementados pueden ser tomados como referencia para futuras investigaciones o ser contrastados con resultados de metodologías similares.

Por último, esta investigación tiene utilidad ambiental, porque sus contribuciones permitirán ampliar las áreas verdes de la región de Tacna, mediante la construcción de sistemas de riego eficientes que reducirán el consumo energético, la erosión del suelo y desgaste innecesario del recurso hídrico.

1.6 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

- Optimizar el diseño de un sistema de riego presurizado con estación de bombeo funcionando a turnos, usando un método híbrido. Caso Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Tacna.

1.6.2 Objetivos específicos

- Implementar un primer modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga.
- Implementar un segundo modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga.
- Comparar económicamente y técnicamente los resultados de los modelos híbridos propuestos.

1.7 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.7.1 Identificación de variables

- Método híbrido
- Diseño óptimo

1.7.2 Caracterización de las variables

- a) Variables independientes

- Método híbrido: combina métodos diferentes como la programación lineal, programación no lineal y algoritmo genético para obtener el diseño óptimo del sistema de riego.

b) Variables dependientes

- Diseño óptimo: representa la solución más económica de una red cumpliendo las condiciones hidráulicas de funcionamiento.

1.7.3 Medición operacional de las variables

- Método híbrido: se determina en función de las incógnitas del modelo planteado.
- Diseño óptimo: se determina mediante simulaciones del modelo híbrido en la plataforma de Microsoft Excel.

1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.8.1 Alcances

- Mediante la elaboración del presente trabajo de investigación se obtendrá el diseño óptimo de la red de riego de la Asociación Agroindustrial 1° de Abril ubicado en el distrito Sama las Yaras de la región de Tacna. Para ello, se empleará un método híbrido considerando la función objetivo de costo global y las restricciones hidráulicas, las cuales garantizaran el buen funcionamiento del sistema hidráulico al mínimo costo.

- Los modelos híbridos propuestos integran algoritmos genéticos, programación lineal y programación no lineal, en conjunto permitirán obtener la mejor programación de turnos en hidrantes, las alturas de bombeo óptimas por turno y las longitudes parciales de los diámetros óptimos de cada línea.
- La presente investigación constituye un aporte valioso para el diseño óptimo de sistemas de riego con estación de bombeo funcionando a turnos.

1.8.2 Limitaciones

- El presente estudio se ha aplicado únicamente para el caso de la asociación Agroindustrial 1° de Abril del distrito Sama las Yaras-Tacna, debido a que existen numerosas asociaciones cada una con características particulares; sin embargo, de emplearse a otros casos este estudio solo constituye una referencia.
- Los datos agronómicos, edafológicos y meteorológicos se han asumido, debido a que no existe estudios locales al respecto, sin embargo, se han considerado con criterio valores referenciales de manuales y sitios web.
- Existe una limitada bibliografía en donde se utilicen las variables propuestas, siendo estas desarrolladas en escenarios internacionales, mas no en el contexto nacional.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS GENERALES

2.1.1 El fluido y flujo

Arviza et al. (2002) definen al fluido como una sustancia que se deforma continuamente cuando es afectado por un esfuerzo cortante, sin importar la pequeñez de su magnitud. A pesar de ello, los fluidos ofrecen diversos grados de resistencia a ser deformado por corte, propiedad denominada viscosidad, que depende de la cohesión molecular y de la rapidez de transferencia de la cantidad de movimiento molecular.

En ese sentido, los fluidos pueden clasificarse según la variación de su viscosidad en:

- Fluidos newtonianos: son aquellos cuya viscosidad en condiciones normales es constante respecto al tiempo y presenta una relación lineal entre esfuerzo y la rapidez de deformación; como son el agua, el aire, gasolina, vino, aceites, etc.

- Fluidos no newtonianos: son aquellos cuya viscosidad varía con las condiciones del fluido (presión, temperatura) y la tensión cortante aplicada; como son los geles, cremas, sustancias espesas o fluidos biológicos. Por otro lado, el flujo se define como el movimiento de los fluidos, que según sus características puede clasificarse en permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; laminar o turbulento; unidimensional, bidimensional o tridimensional, etc.

2.1.2 Ecuación de continuidad

Ranald et al. (2003), manifiestan que la ecuación de la continuidad se deriva del principio de conservación de masa, en donde la masa de fluido que cruza cualquier sección de un conducto se mantiene constante en el tiempo, siempre que se considere al flujo de la red en régimen permanente. Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante} \quad (1)$$

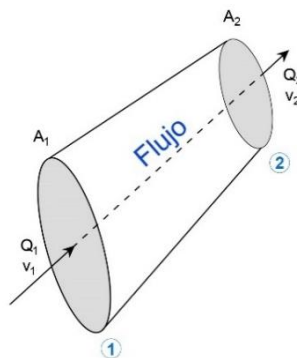


Figura 1. Ilustración de la ecuación de la continuidad.
Fuente. Ranald et al., 2003.

Para fluidos incomprensibles y para todos los casos prácticos en que $\rho_1 = \rho_2$ las ecuaciones se transforman en:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{constante} \quad (2)$$

Donde Q es el caudal expresado en m^3 , (A_1 , A_2) son áreas de las secciones en m^2 y (v_1 , v_2) representan las velocidades medias de la corriente en m/s en la sección 1 y 2 respectivamente.

2.1.3 Ecuación general de la energía

Mott (2006), considera a la ecuación de la energía como una extensión de ecuación de Bernoulli, el cual es obtenido aplicando el principio de conservación de la energía dentro de un sistema hidráulico. La ecuación de la energía permite resolver problemas en los que hay pérdidas y ganancias de energía.

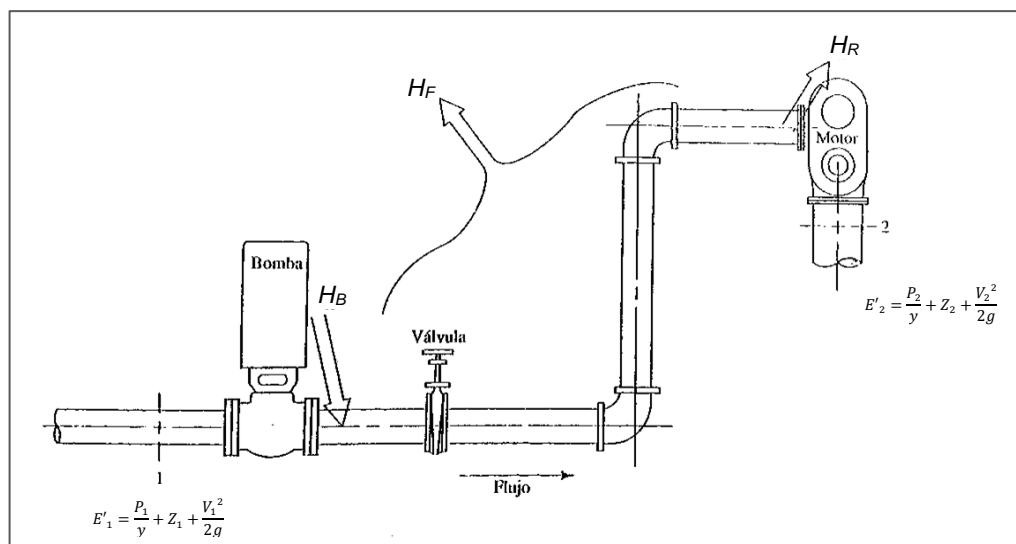


Figura 2. Ilustración de la ecuación general de la energía.
Fuente. Mott, 2006.

De acuerdo al sistema propuesto en la figura 2, la ecuación de la energía quedaría representada de la siguiente manera:

$$E'_1 + H_B - H_R - H_F = E'_2 \quad (3)$$

Siendo: E'_1 = Energía del fluido por unidad de peso en la sección 1.

E'_2 = Energía del fluido por unidad de peso en la sección 2.

H_B = Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba.

H_R = Energía que se remueve al fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

H_F = Pérdida de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

La energía que posee el fluido por unidad de peso es:

$$E'_{1;2} = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

En donde: P/γ es la carga de presión

Z es la carga de elevación

$V^2/2g$ es la carga de velocidad

$(Z + P/\gamma)$ es la altura o carga piezométrica

Entonces, ecuación 3 se convierte en:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) + H_B - H_R - H_F = \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right) \quad (5)$$

Cuando una instalación hidráulica incluye un equipo de bombeo que aporte energía exterior para completar el caudal y presión requeridos, la ecuación 5 se reduce a:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) + H_B = \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right) + H_F \quad (6)$$

Despejando la energía de bombeo (H_B) de la ecuación 6, queda:

$$H_B = \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) + H_F \quad (7)$$

Asumiendo un diámetro uniforme en la red, las energías de velocidades de la ecuación 7 se cancelan, por lo tanto, la energía de bombeo, será:

$$H_B = \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2\right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1\right) + H_F \quad (8)$$

Para el caso mostrado en la figura 3, despreciando la presión en P_1 y reemplazando H_F , la altura de bombeo (H_B) quedara definida como:

$$H_B = \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2\right) - Z_1 + (h_a + h_i) \quad (9)$$

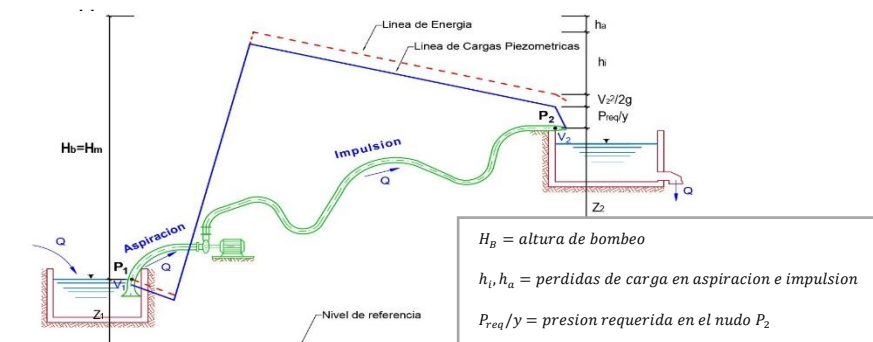


Figura 3. Esquema de una instalación con bomba de aspiración.
Fuente. Mott, 2006.

2.1.4 Primera ley de Kirchhoff

Normalmente las redes de riego colectivo son del tipo ramificadas abiertas, para lo cual será necesario aplicar solamente la primera ley de Kirchhoff.

Según Pérez (1993), la primera ley de Kirchhoff dispone que la suma neta de todos los caudales que confluyen en un nudo debe ser nula, es decir la suma de caudales que entran al nudo será igual a la suma de caudales que salen del nudo. La definición anterior se aplica a caudales internos q_i que circulan por las líneas, como también a los caudales externos Q_i , entonces la ecuación de continuidad para el nudo será:

$$\sum_{j \in A_i} q_{i,j} - Q_i = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (10)$$

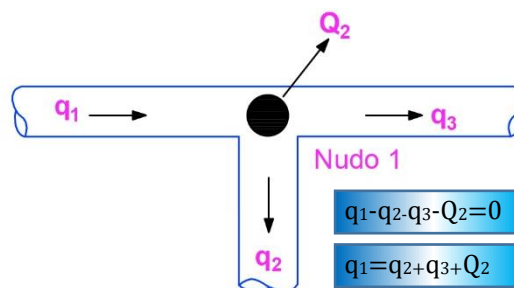


Figura 4. Primera ley de Kirchhoff para un nudo.
Fuente. Pérez, 1993.

Donde el subíndice j hace referencia a todos los nudos vinculados al nudo i (conjunto A_i) y N representa el número total de nudos de la red.

Para verificar el principio de continuidad en toda la red, la suma neta de aportes y consumos externos debe ser nula, expresado mediante la siguiente condición:

$$\sum_i^N Q_i = 0 \quad (11)$$

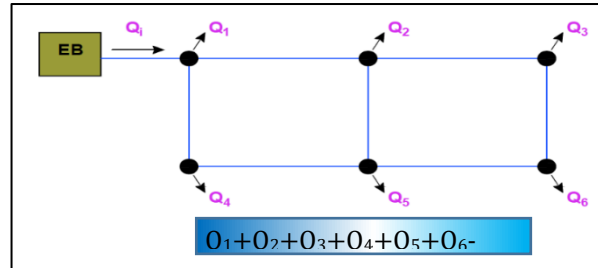


Figura 5. Primera ley de Kirchhoff para el sistema.
Fuente. Pérez, 1993.

2.1.5 Ecuaciones para el cálculo de pérdidas de carga

Formula de Darcy-Weisbach (DW)

López et al. (2003), manifiestan que la expresión inicial de la ecuación de Darcy-Weisbach fue propuesta por Weisbach en 1885 de la siguiente manera:

$$J = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} = f \frac{1}{2g} \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5} \quad (12)$$

Donde J es la gradiente hidráulica en función del factor de fricción (f), la velocidad (V), el diámetro de la tubería (D) y la aceleración de la gravedad (g).

Posteriormente la ecuación fue modificada por Darcy-Weisbach en 1875, expresada en términos de la pérdida de carga h_f , sería:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = f \left(\frac{8L}{\pi^2 g D^5} \right) Q^2 \quad (13)$$

De las ecuaciones 12 y 13, se deduce el gradiente hidráulico (J) como la siguiente expresión:

$$J = \frac{h_f}{L} \quad (14)$$

El cálculo del factor de fricción (f) ha sido estudiado por muchos autores, quienes han propuesto formulas y métodos para su determinación, de los cuales destacan:

Colebrook en 1938 presento una fórmula para el cálculo del factor de fricción en función al número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa (ϵ_r), expresado como:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (15)$$

Esta ecuación se puede considerar la más completa y exacta de todas las formuladas hasta el momento, no obstante, es necesario realizar un cálculo iterativo, que dificulta la determinación del factor de fricción.

El diagrama de Moody, representa una solución gráfica para determinar el factor de fricción a partir de parámetros adimensionales Re y ϵ_r , sin la necesidad de aplicar fórmulas que requieran un proceso iterativo.

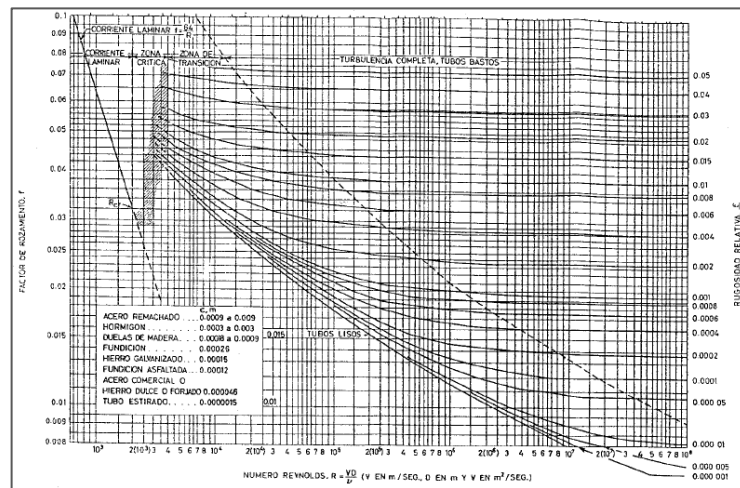


Figura 6. El ábaco de Moody.
Fuente. López et al., 2003.

Sin embargo, la puesta en práctica de los métodos descritos anteriormente resulta muy tedioso para el diseño de redes hidráulicas. Razón por la cual muchos investigadores han propuesto diversas expresiones aproximadas que simplifican el cálculo del factor de fricción, destacando:

Swamee y Jain en 1976 propone una ecuación aproximada, simplificando el cálculo iterativo del factor de fricción de la fórmula de Colebrook en la siguiente expresión:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \quad (16)$$

Donde $Re=vD/\nu$ es el número de Reynolds y $\epsilon_r=\epsilon/D$ denominada rugosidad relativa, ambos son valores adimensionales.

Cabe mencionar que en el mercado existe un abanico de tuberías de diferentes materiales y características. Para elegir el tipo de tubería ideal se debe considerar criterios no solo de aspectos económicos y de resistencia nominal, sino también la duración (vida útil), calidad de agua y la rugosidad de su interior, ya que estos influirán en las condiciones futuras de la red. A continuación de muestran valores orientativos de las rugosidades absolutas para distintos materiales de tuberías (Saldarriaga, 2007).

Tabla 1*Coeficiente de rugosidad absoluta según material de tubería*

Material	K_s (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18-0.9
Concreto	0.3-3.0
Acero bridado	0.9-9

Fuente. Saldarriaga, 2007.

Perdidas locales

López et al. (2003) manifiestan que todo sistema hidráulico requiere accesorios (codos, tees, reducciones, cruces, etc.) para un correcto trazado. También es necesario la implementación de dispositivos de control como válvulas de control, reductora de presión, sostenedora de presión, reguladora de caudal, retención, etc.

Estos accesorios y dispositivos generan pérdidas llamadas pérdidas locales, menores o singulares, normalmente se obtiene como el producto de la altura cinética por un coeficiente de pérdida k , de la siguiente manera:

$$h = k \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{8k}{\pi^2 g D^4} \right) Q^2 \quad (17)$$

Siendo: v : la velocidad del fluido

D : diámetro del accesorio

k: coeficiente adimensional, que está en función de Re y características propias.

Tabla 2
Valores del coeficiente k para los elementos singulares

Elementos o accesorios	K
Válvula de globo	10'0
Válvula de ángulo	5'0
Válvula de retención de clapeta	2'5
Válvula de compuerta	0'2
Codo de radio pequeño	0'9
Codo de radio medio	0'8
Codo de radio grande	0'6
Codo a 45°	0'4
Codo cerrado inversor de flujo	2'2
Te estándar – dirección de paso	0'6
Te estándar – dirección de desvío	1'8
Entrada recta	0'5
Salida brusca	1'0

Fuente. López et al., 2003.

En la práctica, para determinar las pérdidas totales se agrega a la longitud de tubería la longitud equivalente de los accesorios involucrados o simplemente mayorando la pérdida de carga de las tuberías en un porcentaje que varía del 5% a 10%, dependiendo del criterio del diseñador.

2.2 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA (RDA) A PRESIÓN

Según Pérez (1993) una red de distribución es un sistema encargado de conducir el agua desde los puntos de alimentación hasta los puntos de consumo cumpliendo con ciertas condiciones de servicio, por medio un conjunto de líneas interconectados entre sí mediante nudos.

En tal sentido, las redes de distribución están formado principalmente por un conjunto de líneas interconectados entre sí mediante nudos.; en donde los nudos pueden representar puntos de alimentación, puntos de consumo o simplemente puntos de conexión de tuberías; mientras que las líneas representan tramos de tuberías que vincula dos nudos o elementos complementarios como bombas o válvulas.

A continuación, se detallarán los principales criterios en la clasificación de las redes de distribución de agua.

2.2.1 Clasificación de redes según el sistema de alimentación

Según Fuertes et al. (2002) las redes en general pueden alimentarse por:

- Depósitos a presión atmosférica (elevados o enterrados)
- Inyección directa a red a través de grupos de bombeo (velocidad fija y/o velocidad variable)

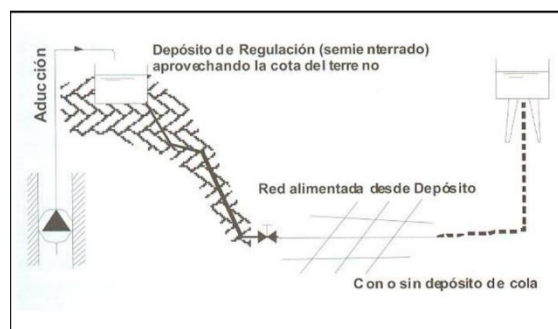


Figura 7. Alimentación desde depósitos.
Fuente. Fuertes et al., 2002.

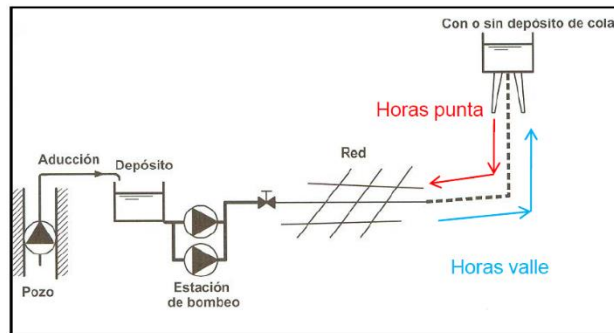


Figura 8. *Inyección directa a la red.*
Fuente. Fuertes et al., 2002.

En las redes de distribución, también es posible que se presente otro tipo de depósitos, estaciones de bombeo o rebombeo que regulan y establecen un determinado funcionamiento del sistema; de lo que podemos mencionar:

- Depósitos de compensación y cola
- Depósitos reguladores zonales

2.2.2 Clasificación de redes según la topología

Dependiendo de la distribución en planta, se distingue (Iglesias et al., 2003):

- Redes ramificadas: consiste en una estructura arbórea, donde los diámetros se van reduciendo progresivamente conforme se alejan de la línea principal. Cada punto de la red recibe el agua por un solo camino, por ende, el sentido del flujo es predecible y los caudales de circulación se determinan únicamente mediante la ecuación de la continuidad.
- Redes malladas: las líneas se unen formando mallas, el agua suministrada a un punto determinado puede llegar por varios caminos. En este tipo de red

el sentido del flujo tiene un carácter indeterminado, lo cual mejora la distribución de caudales y presiones de servicio. Sin embargo, para determinar los caudales de circulación además de la ecuación de continuidad es necesario la ecuación de la energía y ecuaciones de equilibrio de malla.

- Redes mixtas: están compuesto principalmente por redes malladas que pueden derivar subsistemas ramificados, adquiriendo ventajas e inconvenientes de ambos sistemas.

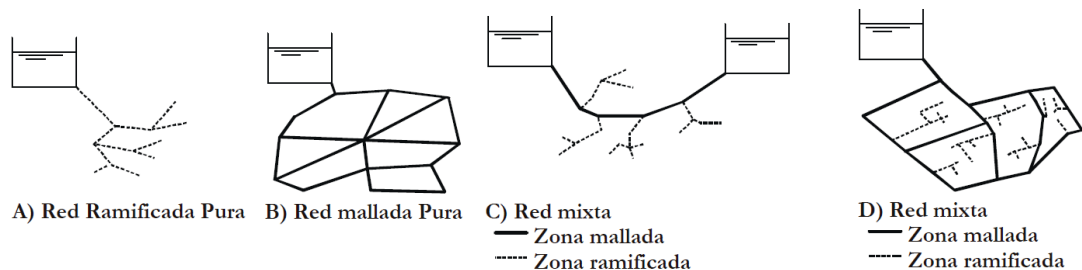


Figura 9. Tipos de redes según su configuración topológica.
Fuente. Iglesias et al., 2003.

Generalmente las redes ramificadas son usadas en sistemas de riego a presión, poblados rurales y áreas industriales, ya que las garantías del servicio son poco exigentes y su implantación resulta más económica; mientras que las redes malladas son empleadas en núcleos urbanos, donde es prioridad asegurar la continuidad del suministro de agua.

Tabla 3*Ventajas e inconvenientes de redes ramificadas y malladas*

VENTAJAS	INCONVENIENTES
REDES RAMIFICADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Cálculos para el dimensionado es más sencillo. • Costo de inversión inicial reducido. • Regulación de presiones más simple, ya que los caudales circulantes son conocidos a priori. 	<ul style="list-style-type: none"> • No existe garantía del suministro en casos de corte del servicio. • La capacidad de ampliación de la red queda minimizada. • Problemas de calidad de agua en los ramales extremos.
REDES MALLADAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Dispone de seguridad en el suministro en caso de roturas o cortes de servicio. • Presiones más equilibradas por pérdidas de cargas menores. • Los problemas sanitarios se reducen ya que el agua se redistribuye constantemente. 	<ul style="list-style-type: none"> • El dimensionado es más complejo, pero el uso de programas simplifica el problema de diseño. • Costo de implantación mayor • La regulación es más compleja, en cuanto a la implementación de válvulas de control

Fuente. Iglesias et al., 2003.

2.3 REDES DE RIEGO A PRESIÓN

Hurtado (2010), señala que este tipo de riego requiere de presión para la distribución del flujo, dichas presiones se pueden conseguir por diferencia de cotas o por impulsión de bombas. Las redes de riego en la mayoría de casos se diseñan para suministrar agua a un limitado número de parcelas de un sector de riego, ya que las redes de riego a diferencia de redes de abastecimiento, suministran mayores caudales a largas distancias, siendo necesario realizar ajustes que ahorren el

consumo y reduzcan los costos, tales como emplear redes ramificadas y aplicar métodos de optimización en el diseño y gestión de la red.

2.3.1 Clasificación del riego tecnificado a presión

Sánchez (2013), clasifica el riego tecnificado de la siguiente manera:

a) Riego tecnificado a nivel individual

En el riego individual el caudal aportado a la red se entrega a un solo usuario durante el tiempo asignado en intervalos de riego largos, así se va rotando el riego a todos los usuarios que pertenecen al sector de riego. Para implementar el riego individual los usuarios tienen dos opciones:

- Adquirir todos los elementos necesarios para administrar todo el caudal de su turno durante el tiempo asignado.
- Almacenar el caudal de su turno en un reservorio, para luego aplicarlo en cantidades pequeñas a través de una estación de bombeo durante tiempos prolongados. Esta opción es la más practicada.

b) Riego tecnificado a nivel colectivo

En el riego colectivo el caudal aportado a la red se distribuye a varios usuarios al mismo tiempo, cumpliendo con las presiones requeridas para el funcionamiento directo del sistema parcelario. El intervalo entre riegos es menor en comparación

con el riego individual y la infraestructura es común para todos los usuarios del sistema colectivo. Para implementar el riego colectivo se requiere componentes como: reservorio, estación de bombeo, sistema de filtros, red de tuberías, válvulas e hidrantes.

2.3.2 Modalidades de organización de la distribución de aguas en redes colectivas de riego

Rocamora (2016), distingue las siguientes modalidades de organización de riego:

a) Distribución a la demanda

En este tipo de organización los usuarios disponen del agua en todo instante y realizan el gasto con total libertad; las redes se diseñan con cierta probabilidad para suministrar agua a todos los usuarios al mismo tiempo, durante la jornada de riego.

Por otro lado, el dimensionamiento de este modo genera diámetros mayores que encarecen el costo inicial de la red, no obstante, presenta mayor flexibilidad en el manejo de la red (Espinosa et al., 2016). Otro punto en contra es la incertidumbre de caudal y presión en los nudos de consumo, debido a la variabilidad de regímenes de flujo (Khadra et al., 2013).

El método más conocido del cálculo de caudales de línea a la demanda, es el método de Clement, que se basa en la teoría probabilística, cuya hipótesis es que, a mayor

cantidad de usuarios en la red, menor será la probabilidad de que todos los usuarios abran su toma al mismo tiempo.

b) Distribución por turnos

En este modo de organización solo un grupo de usuarios disponen del agua para realizar el gasto en un horario preestablecido; las redes se diseñan para satisfacer las condiciones de los diferentes turnos, dado que los caudales circulantes son conocidos.

En cuanto al dimensionado es más económico pero el funcionamiento es más rígido. El horario de riego es más restringido, pero se puede conseguir una distribución más uniforme de los caudales en la red.

c) Distribución a la demanda restringida

Es un caso intermedio de organización entre el riego por turnos y el riego a la demanda. En este tipo de organización se asigna a cada hidrante a un turno (mañanas o tardes, días pares o días impares, etc.), pero con una duración mucho mayor que su tiempo de riego requerido. De esta manera el usuario tiene una libertad de riego aceptable y al mismo tiempo el caudal de diseño se reduce notablemente.

2.3.3 Métodos de riego

En la actualidad con el avance de la tecnología el riego superficial pasa a ser anticuado, dado que existen técnicas más sofisticadas que se adaptan a las limitaciones del entorno y que permiten la ampliación de la frontera agrícola. Asimismo, serán indispensable las prácticas agronómicas apropiadas si se quiere resultados satisfactorios en la producción agrícola. Consecuentemente para usar eficientemente el agua de riego, será fundamental la implementación de métodos de riego a presión, que implican la instalación de tuberías y emisores dentro de la parcela.

Sánchez (2013) clasifica los métodos de riego por su forma de entrega de agua en:

a) Riego por gravedad

El riego superficial consiste en la aplicación de agua al terreno mediante gravedad, se puede distinguir riego por surcos, melgas e inundación. Se adapta mejor a terrenos con pendientes entre 0.05% a 0.5%, evitando la erosión del terreno y brindando un buen drenaje.

b) Riego por aspersión

El riego por aspersión consiste en la aplicación de agua en formas de gotas pequeñas que imitan a la lluvia, a través de tuberías y aspersores que reciben la carga de presión proveniente de una bomba o desnivel topográfico. Esta técnica es apta para

cultivos en surco, a campo abierto y arbóreos; obtiene mejores resultados en suelos arenosos con pendientes menores al 15%.

c) Riego por microaspersión

El riego por microaspersión se caracteriza por la aplicación de agua en forma de gotas muy pequeñas de manera localizada. Resulta ventajoso en cultivos espaciados y ofrece mejores rendimientos que con aspersión.

d) Riego por goteo

El riego por goteo se distingue por ser un método de riego localizado, en otras palabras, el agua es aplicado en la zona de raíces de las plantas con caudales en el rango de 2-20 l/h. En comparación con los demás métodos de riego es el de mayor eficiencia de aplicación y a su vez el más costoso.

2.3.4 Componentes de redes colectivas de riego a presión

Cada vez más las instalaciones de riego se tienden a dimensionar de manera colectiva, ya que supone ahorro de agua y comodidad de manejo, asimismo permite la automatización del sistema y el control del mismo, para regularlo ante situaciones adversas (Planells et al., 1999).

Para el funcionamiento de un sistema de riego colectivo a presión será necesario implementar diversos componentes, siendo algunos opcionales (Arviza y Balvastre, s.f.):

- Obra de captación: puede ser para captar aguas subterráneas o superficiales.
- Obras de regulación y/o almacenamiento: conformado por depósitos, tanques elevados y embalses, cuyas funciones son minimizar los costes energéticos y conseguir la mayor energía en forma de altura.
- Sistema de bombeo: cuando se requiera presión adicional para satisfacer las necesidades de caudal y presión mínima.
- Red de distribución: Está formado por todas las que conducen el agua hasta la estación de filtrado, estación de fertiirrigación (recomendable fertiirrigación individual) e hidrantes (tomas individuales o multiusuarios).
- Elemento de regulación, control, protección y automatización: comprende la instalación de válvulas hidráulicas multifuncionales (válvula reductora de presión, válvulas de aire, válvulas de purga, etc.) y dispositivos automatización.

- Sistema de riego en parcela: está compuesto por el cabezal de riego, red de distribución parcelaria y emisores.

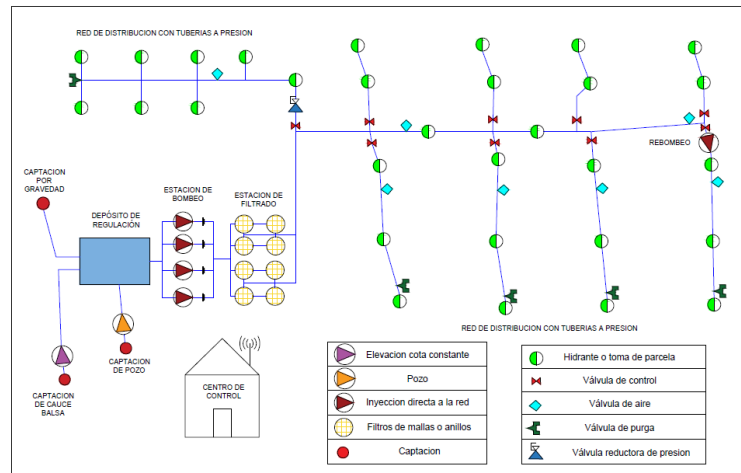


Figura 10. Esquema de la infraestructura de un regadío moderno.
Fuente. Arviza y Balvastre, s.f.

2.3.5 Obras de captación

El diseño de las obras de captación debe garantizar la dotación de riego en periodos de estiaje, protegiendo a la fuente de agua de la contaminación.

El abastecimiento de los sistemas de riego puede provenir de fuentes superficiales o profundas, siendo necesarias para su captación obras como las represas, bocatomas, canales de derivación, pozos profundos, estaciones de bombeo, etc., las cuales son necesarios para derivar las aguas del punto de suministro hacia los sistemas de almacenamiento.

2.3.6 Sistema de almacenamiento

Sirven para almacenar agua, de tal manera que se garantice la continuidad del servicio en caso de fallas en el sistema de bombeo, reparación y mantenimientos al sistema. En sistemas de riego es común la construcción de reservorios cubiertas con geomembrana, las cuales se fabrican de diferentes composiciones poliméricas y espesores. Su creciente uso se debe a su resistencia, flexibilidad, impermeabilidad, gran tamaño y precios económicos.

2.3.7 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo está constituido por una o varias bombas dispuestas en paralelo o serie, que puede incluir bombas de velocidad fija o bombas de velocidad variable. Se equipa en zonas donde los desniveles topográficos no satisfacen la presión y caudal requeridos en los puntos de consumo. En conjunto garantizan el funcionamiento correcto de los sistemas de riego en las parcelas.

Las bombas más utilizadas a nivel superficial son las bombas centrifugas y para pozos profundos se suele usar bombas sumergibles.

Potencia del equipo de bombeo

En un sistema de bombeo conformado por motor y bomba, la potencia necesaria para impulsar el fluido y vencer las cargas contrarias del flujo va depender del peso bombeado por unidad de tiempo. Entonces la potencia que se debe suministrar al

motor articulado a la bomba para su operación, se calcular con la siguiente expresión (Cervantes, 2014):

$$P_{bombeo} (kW) = \frac{\gamma \cdot Q_b \cdot H_b}{1000 \cdot n_b \cdot n_m} \quad (18)$$

Siendo: γ : Peso específico del agua (N/m³)

Q_b : Caudal impulsado (m³/s)

H_b : Altura dinámica total (m)

$n_b \cdot n_m$: Eficiencia de la bomba y el motor respectivamente (tanto por uno)

Curva característica de bombas

Saldarriaga (2007), lo define como el conjunto de curvas proporcionadas por los fabricantes de las bombas a fin de describir el comportamiento real de estas máquinas, dichas curvas características son determinados experimentalmente en bancos de pruebas.

Por lo general el funcionamiento de una bomba está definido por la curva de potencia, curva de rendimiento y curva motriz (H-Q), particularmente en bombas centrífugas se debe tomar en cuenta la curva NPSH-caudal; dichas curvas sirven para escoger la bomba más apropiada para cada sistema.

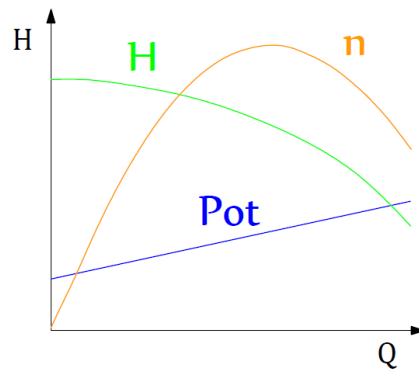


Figura 11. Curva característica de una bomba centrífuga.
Fuente. Saldarriaga, 2007.

A menudo se modela la curva característica de la bomba por un polinomio, generalmente una parábola (ver ecuación 19). Esto se hace con fines didácticos y también para resolver los sistemas con ayuda del ordenador.

$$H_B = A + BQ + CQ^2 \quad (19)$$

Dónde: A, B, C serán los coeficientes de ajuste de la curva característica; H_B es la altura correspondiente al caudal Q impulsado por la bomba.

Curva resistente del sistema

De acuerdo con Gómez (2013), representa una aproximación del comportamiento general del sistema hidráulico en un determinado momento de consumo; se define

por medio de la variación de la carga total con el caudal del sistema, tal como se ilustra en la ecuación 20, que expresa la altura de bombeo necesaria $H_R(Q)$ para vencer el desnivel topográfico H_g y las pérdidas de carga $h_p(Q)$, para un momento dado.

$$H_R(Q) = H_g + h_p(Q) \quad (20)$$

Si la energía para la impulsión es proporcionada por una bomba, la curva resistente del sistema cortara a la curva característica de la bomba en un punto, denomina “punto de funcionamiento del sistema” (Q_B, H_B) correspondiente a un instante analizado, como se aprecia en la figura 12:

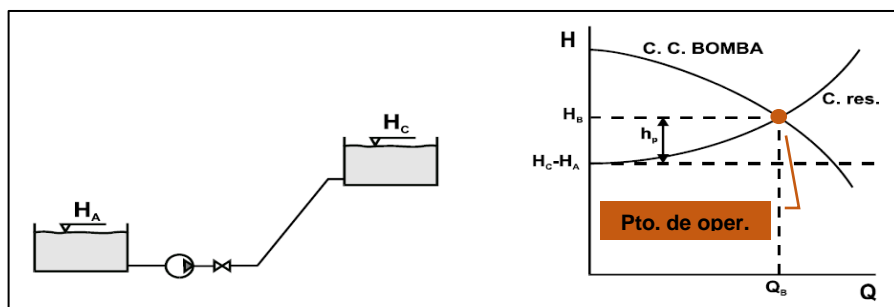


Figura 12. *Combinación de bomba y sistema.*
Fuente. Gómez, 2013.

De esta manera para conocer el punto de funcionamiento del sistema, se tendrá que igualar la curva característica a la curva resistente, como se muestra en la ecuación 21:

$$H_B = A + BQ + CQ^2 = H_R(Q) = H_g + h_p(Q) \quad (21)$$

Además, habría que reemplazar h_p por la expresión $h_p(Q) = kQ^2$, y hacer las iteraciones adecuadas del caso.

2.4 PRINCIPALES CRITERIOS PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO

Para que un sistema de riego presurizado sea óptimo debe cumplir con los objetivos de productividad que se consiguen por medio de la optimización del costo de inversión y el costo de explotación. Los parámetros que configuran el diseño óptimo de sistemas de riego a presión, pueden clasificarse en parámetros ambientales y parámetros de decisión (Lamaddalena y Sagardoy, 2000), tal como se muestra en la figura 13.

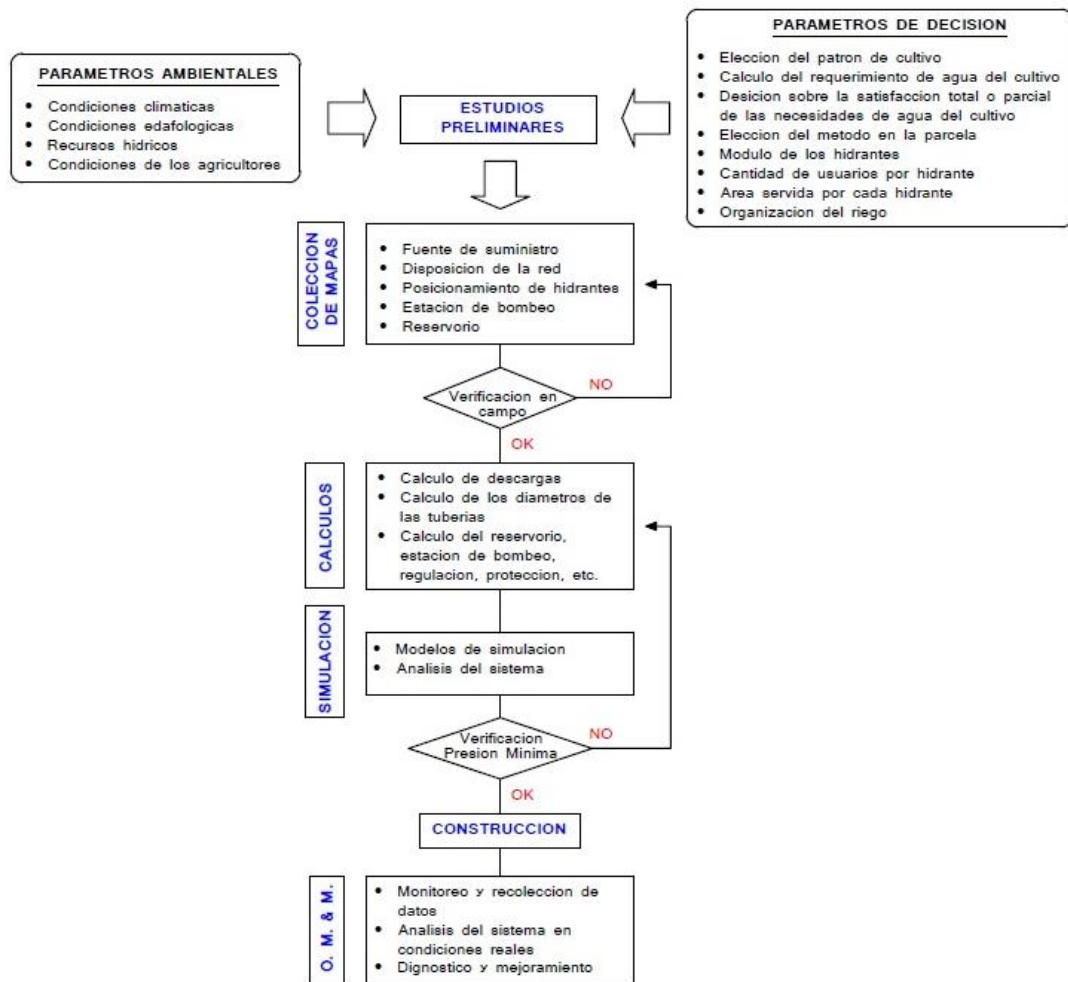


Figura 13. Principales etapas de un proyecto de riego.
Fuente. Lamaddalena y Sagardoy, 2000.

La experiencia con muchos sistemas de riego existentes, ha demostrado que los problemas de gestión están íntimamente relacionados con el diseño (Lamaddalena, 1997), debido a que se ha desarrollado un proceso unidireccional, tal como se ve en la figura 14.

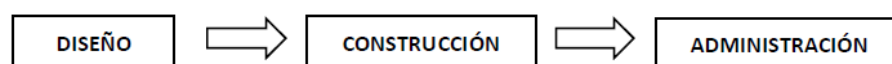


Figura 14. Proceso de desarrollo cronológico de un sistema de riego.
Fuente. Lamaddalena, 1997.

En la práctica los problemas de gestión se deben a que el diseñador y el administrador no comparten las mismas preocupaciones, por ende, resulta beneficioso considerar el proceso como un “todo”, donde las tres fases son íntimamente interrelacionadas, como se aprecia en la figura 15.

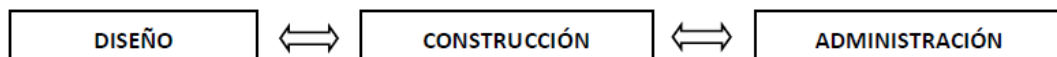


Figura 15. Proceso de desarrollo solido de un sistema de riego.
Fuente. Lamaddalena, 1997.

Por ello, antes de iniciar la construcción del sistema deben usarse modelos para simular diferentes escenarios y posibles condiciones de operación del sistema; con lo cual será posible analizar el sistema, identificar las fallas potenciales y realizar los ajustes respectivos. A través del monitoreo y la recopilación de datos en la fase de operación, mantenimiento y gestión (O.M.&M.), se podrá realizar el análisis en condiciones reales y calibración del sistema, validar y actualizar los modelos existentes.

2.5 FASES DEL DISEÑO DE REDES DE RIEGO A PRESION

Arviza (2007) considera para el diseño de redes colectivas de riego las siguientes fases:

a) Definición de la zona regable

Comprende los siguientes parámetros:

- Punto de alimentación, tipo y características

- Superficie, planimetría y perfiles de la zona
- Características de los cultivos
- Condiciones de funcionamiento
- Disponibilidad de energía eléctrica, organización del consumo
- Sectorización prevista

b) Información agroclimática

Determina los requerimientos de agua de los cultivos, que dependen de:

- Climatología de la zona
- Requerimientos del cultivo
- Edafología
- Sistema de riego empleado

Es importante la fiabilidad de estos datos, para evitar posibles problemas de funcionamiento en la red diseñada. La información puede ser adquirida de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio y procesados en el software Cropwat, creado por la FAO.

c) Sistema de riego adoptado

Para satisfacer los requerimientos de presión mínima y caudal, será necesario conocer las siguientes características del tipo de riego:

- Tipo de emisor que se usara (auto compensado o no)

- Tipo de conexión a los laterales (integrado o no)
- Valor del caudal del emisor
- Valor o rango de la presión de trabajo
- Numero de emisores por planta

d) Disponibilidad de energía eléctrica

En caso que la operación de la red requiera un sistema de bombeo, será vital la disponibilidad de línea aérea hasta el cabezal. Siendo necesario conocer las tarifas eléctricas y sus particularidades.

e) Disponibilidad de dotación, frecuencia y calidad

Es de suma importancia que la fuente de suministro garantice los requerimientos máximos del sistema, entonces será necesario conocer los siguientes datos:

- Tipología de la red, puntos de alimentación
- Sistema de alimentación (inyección directa, depósitos a presión)
- Caudal de consumo en los hidrantes (mes crítico del año)
- Presiones mínimas de consumo (referencialmente 2-4 Kgf/cm²)

f) Programación de riego

Lapo (2012) manifiesta que hay tres tipos de programaciones de riego, pudiendo ser:

- Riego a la demanda: los usuarios pueden utilizar el agua en cualquier hora de la jornada de riego.

- Riego por turnos: los usuarios disponen de un caudal asignado en un horario fijo establecido.
- Riego mixto: los usuarios riegan de forma libre en sus turnos fijados y seguidamente completa el suministro de agua a través de tiempos muy cortos.

g) Dimensionamiento de la red

Para realizar el diseño y dimensionamiento de la red se desarrolla el siguiente procedimiento:

- Ubicación de los hidrantes individuales o multiusuarios
- Trazado de la red
- Determinación de caudales circulantes
- Determinación d diámetro de tuberías

Ubicación de los hidrantes individuales o multiusuarios

Los hidrantes suelen colocarse al pie de cada parcela o en zonas estratégicas para varios usuarios. Normalmente los hidrantes cuentan con dispositivos de corte de suministro y medición de caudal, también puede incluirse aparatos que limiten el caudal y regulen la presión.

Trazado de la red

Generalmente las rede se trazan por zonas accesibles que faciliten la construcción, mantenimiento y reparación de las redes, como los márgenes de las parcelas, los caminos, etc.

Determinación de caudales circulantes

Para determinar los caudales de las líneas de la red se debe elegir la modalidad de distribución del agua más idónea, pudiendo ser a turnos cuyos caudales se determina por la ecuación de continuidad o a la demanda, cuyos caudales se calculan aplicando la teoría probabilística (Lamaddalena y Sagardoy, 2000).

Determinación de diámetro de tuberías

Esta última etapa del proceso de diseño, consiste en el dimensionado de la red, o sea en el cálculo de los diámetros de todas las líneas de la red, para ello se usan diferentes metodologías que se trataran en los apartados posteriores.

2.6 ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO PREZURIZADO

2.6.1 Diseño agronómico

El diseño agronómico representa la primera fase del procedimiento de diseño de cualquier tipo de sistema de riego, en la cual se determina la cantidad de agua que ha de transportar las redes, para satisfacer las necesidades brutas de riego en épocas de máxima necesidad. Sin duda alguna, la precisión de los datos del estudio agronómico para determinar el caudal ficticio continuo, influirán notablemente en la confiabilidad del diseño hidráulico (Palomino, 2012).

El sistema formado por suelo y cultivo tiene tantas entradas como salidas de agua, sin embargo, para un diseño balanceado de riego únicamente se repone la humedad perdida por evapotranspiración, el cual es regulado por los parámetros estimados (Ramírez, 2010).

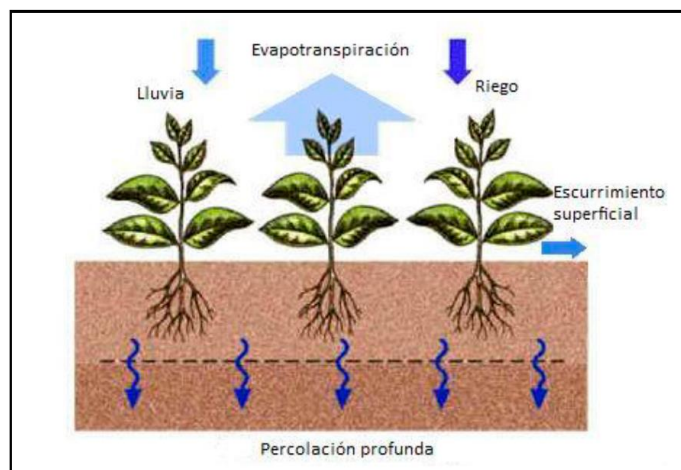


Figura 16. Entradas y salidas de agua en el suelo.
Fuente. Ramírez, 2010.

A continuación, se detallará los aspectos que se han de considerar para realizar un adecuado diseño agronómico (Carrazón, 2007):

A. Cálculo de las necesidades de agua

- Necesidades netas diarias de riego (N_n)

Es el volumen diario que necesitamos aportar a la planta por día. Las plantas tienen necesidades variables de agua a lo largo de su ciclo de cultivo, las cuales son satisfechas con la precipitación, de resultar insuficiente se recurre al riego. Conceptualmente se expresa como:

$$Nn = ETc - Pe \quad (22)$$

$$Nn = K_c \cdot ETo - Pe \quad (23)$$

Donde Nn es la necesidad neta diaria (mm/d), ETc es la evapotranspiración del cultivo (mm/día), Pe es la precipitación efectiva (mm), Kc es el coeficiente de cultivo y ETo es la evapotranspiración de referencia.

De manera práctica la evapotranspiración del cultivo puede determinarse como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) calculada por el método estándar de la FAO Penman Monteith, y el coeficiente de cultivo (Kc) que caracteriza a cada cultivo en sus diferentes etapas (ver figura 17), puede ser calculado de acuerdo con el manual número 56 de la FAO (Allen et al., 2006).

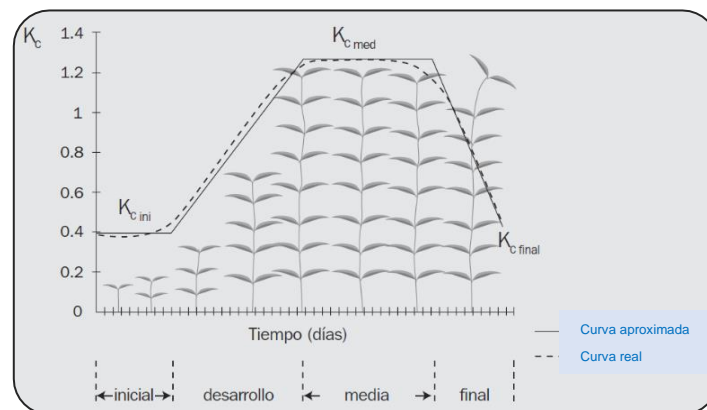


Figura 17. Curva general de la variación de Kc a lo largo de las fases.
Fuente. Allen et al., 2006.

- Necesidades brutas diarias de riego (Nb)

Como es sabido en los riegos se producen ciertas pérdidas inevitables, que implican aumentar una fracción extra de agua a las necesidades netas, para ello se considera la eficiencia del método de aplicación, como se aprecia en la siguiente expresión:

$$Nb = \frac{Nn}{Ea} \quad (24)$$

La determinación de la eficiencia del método de aplicación es muy complicada debido a que depende no solo de la caracterización del sistema sino del manejo de riego; por ende, en la práctica muchos autores consideran valores estimados como los de (Pereira et al., 2010):

Tabla 4
Valores orientativos de la eficiencia de aplicación en riegos

SISTEMA DE RIEGO	EFICIENCIA (%)
<ul style="list-style-type: none"> • Riego por gravedad con nivelado de precisión Surcos Fajas o melgas Canteros o tablares 	<p>65-85</p> <p>70-85</p> <p>70-90</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Riego por gravedad tradicional Surcos Fajas o melgas Canteros o tablares 	<p>40-70</p> <p>45-70</p> <p>45-70</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Riego de arroz, canteros en inundación permanente 	<p>25-70*</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Riego por aspersión Sistemas estacionarios de cobertura total Sistemas estacionarios desplazables manualmente Laterales con ruedas Cañón con enrollador o con cable Laterales móviles, con pivote central 	<p>65-85</p> <p>65-80</p> <p>65-80</p> <p>55-70</p> <p>65-85</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Riego localizado Goteros, ≈ 3 emisores por planta (frutales) Goteros, < 3 emisores por planta 	<p>85-95</p> <p>80-90</p>

Micro-aspersores y “difusores”, frutales	85-95
Línea continua de emisores gota a gota	70-90

*Los valores más bajos son para canteros tradicionales, mal nivelados y sin un adecuado control de la lámina de agua, mientras que los valores altos serán para canteros de grandes dimensiones, en condiciones de riego óptimo.

Fuente. Pereira et al., 2010

B. Determinación de los parámetros de riego

- Dosis neta de riego

Es la cantidad de agua que se debe aplica por unidad de superficie cada cierto intervalo de riego, ya que el agua es almacenada en el suelo y es absorbida poco a poco por la planta, viene dado por la siguiente expresión:

$$Dn = 10 \times Pr \times Da \times (Cc - Pm) \times DPM \quad (25)$$

Donde: Dn: Dosis neta (mm).

Pr: Profundidad de raíces (m).

Da: Densidad aparente del suelo (g/cm^3).

Cc: capacidad de campo ($\% \theta_g$)

Pm: punto de marchitez ($\% \theta_g$)

DPM: Déficit permisible de manejo (0.5-0.75)

- Máximo intervalo entre riego

El máximo intervalo entre riegos será el máximo tiempo que se puede dejar entre dos riegos consecutivos de tal forma que el déficit de humedad no sea inferior al DPM. Se calcula mediante la fórmula:

$$I_m(\text{dias}) = \frac{Dn}{Nn} \quad (26)$$

Donde: I_m : intervalo entre riegos (dias).

N_n : necesidades netas (mm/dia).

D_n : dosis total (mm).

- Dosis bruta de riego

En los cultivos siempre se produce una serie de perdidas tanto en la conducción del agua hasta la parcela (fugas, roturas, etc.) como en la aplicación del agua al cultivo (percolación, viento, escorrentía, etc.). Con el fin de asegurar que llegue la cantidad de agua requerida por la planta, se aplica una cantidad ligeramente superior a la dosis necesaria (D_n). Se calcula de la siguiente forma:

$$D_b = \frac{D_n}{E_a} \quad (27)$$

Donde: D_b : dosis bruta de riego (mm).

D_n : dosis neta (mm).

E_a : eficiencia de aplicación del sistema (%)

- Tiempo mínimo de aplicación ($t_{a \min}$)

El tiempo de aplicación no es más que el tiempo que debe estar regando cada gotero o aspersor para aplicar la dosis bruta; depende de dos factores como es la tasa de infiltración básica (I_b) y la pendiente del terreno (f_p), que se considera solo en riegos por aspersión, entonces la formula será:

$$t_{a \min}(h) = \frac{D_b}{I_b \left(\frac{mm}{h}\right) \cdot f_p(\text{decimales})} \quad (28)$$

- Tiempo de riego (T_r)

Fuentes (2003), manifiesta que en el riego localizado la importancia del suelo como almacén de agua para el cultivo es mucho menor que en riego por superficie o aspersiones. En este caso se aporta el agua necesaria al cultivo en función de las necesidades diarias, básicamente consiste en aportar el agua que se requiere diariamente, por lo que el usuario solo tiene que establecer el tiempo de riego.

Usualmente en suelos de textura arenosa se tiende a intervalos muy cortos (1 a 2 riegos diarios), en suelos de textura arcillosa se tiende a intervalos largos (3 a 4 días por semana) y en suelos de textura franca se suele regar una vez por día.

De forma práctica podemos deducir el tiempo de riego o el intervalo de riego de la siguiente expresión:

$$D_b = n_e \cdot q_e \cdot T_r = N_b \cdot (a \cdot b) \cdot I \quad (29)$$

Dónde: D_b es la dosis bruta de riego (litros)

V es el volumen suministrado por los emisores (litros)

q_e es caudal del emisor (l/h)

n_e es el número de emisores por planta

t_r es el tiempo de riego (horas)

N_b es la necesidad bruta (litros/m².día)

I es el intervalo entre riego (días)

(a.b) es el marco de plantación (m²)

Entonces el tiempo de riego vendrá dado por la expresión:

$$t_r = \frac{N_b \cdot (a.b) \cdot I}{n_e \cdot q_e} \quad (30)$$

Para cultivos leñosos número de emisores mínimo (n_e) por planta dependerá de marco de plantación (a.b), porcentaje de área mojada (recomendable 33%) y el área mojada, como sigue:

$$n_e \geq \frac{a.b.P(\%)}{100.A_m} (n^\circ \text{ emisores/planta}) \quad (31)$$

Siendo el área mojada (A_m):

$$A_m = \frac{\pi \cdot (D_m)^2}{4} \quad (32)$$

Mientras que el diámetro mojado (D_m) por los goteros según las fórmulas propuestas de Karmeli, Peri y Todes, será:

- Textura gruesa (arenoso) $D_m = 0.3 + 0.12 \times q_e$ (33)

- Textura media $D_m = 0.7 + 0.11 \times q_e$ (34)

- Textura fina (arcilloso) $D_m = 1.2 + 0.1 \times q_e$ (35)

Diámetro mojado (D_m) en m y caudal de gotero (q_e) en l/h.

2.6.2 Diseño hidráulico

Mediante el diseño hidráulico se determinan los componentes, dimensiones de la red y funcionamiento de la instalación de riego, de tal manera que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo en el tiempo establecido, teniendo en cuenta el diseño agronómico previamente realizado.

Para desarrollar el diseño hidráulico, se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones (Grupo Gestar, 2014):

Criterios preliminares en el dimensionado de redes a turno

Para el diseño de redes de riego que funcionan a turnos, cada tramo tendrá tantos caudales de diseño como turnos de riegos se consideren. El caudal de diseño de un tramo depende del turno y será igual a la suma de las dotaciones de los hidrantes abiertos aguas abajo.

Para lograr que el caudal por turnos (Q_t) sea menor que el caudal a la demanda (Q_d), se intervendrá sobre las dotaciones de los hidrantes, intervalos de riego, duración y número de turnos.

Dotación teórica de los hidrantes

Las dotaciones se establecen de modo que se pueda suministrar el volumen diario requerido por los cultivos de la parcela en el mes más desfavorable, en un tiempo de riego fijado, menor que la jornada efectiva de riego del turno (JER_t).

De acuerdo con Planells et al. (1999), primeramente, habrá que calcular el caudal ficticio continuo (q), para cada alternativa de cultivo del área regable:

$$q = N_b \frac{10000}{24 \times 3600} = 0.116 N_b \quad (36)$$

Dónde: q =caudal ficticio continuo ($l s^{-1} ha^{-1}$)

N_b =necesidad bruta de riego en periodo punta ($l m^{-2} dia^{-1}$)

Respecto al tiempo de riego de cada subunidad se calculará de acuerdo con el sistema de riego elegido, si el riego fuera por goteo será:

$$t_r = \frac{N_b \cdot (a.b) \cdot I_r}{n_e \cdot q_e} \quad (37)$$

Conociendo t_r puede calcularse el número máximo de sectores o subunidades de riego que pueden regarse dentro del número de días disponibles para regar, así:

$$N_s \leq \left[\left(\left(\frac{IER_t}{t_r} \right)_{entero} \cdot (I_r) \right) \right]_{entero} \quad (38)$$

Entonces la dotación teórica de cada hidrante para riegos diarios por turnos, se expresará como:

$$Dt_i = q \cdot \frac{24}{t_{ri}} \cdot S_i \quad (39)$$

Siendo: Dt_i : dotación teórica (l/s) para cada hidrante i

t_{ri} : tiempo establecido de riego del hidrante (hrs)

q: necesidades totales o caudal ficticio continuo (l/s.día)

S_i: Superficie regada por cada hidrante i (ha)

Sin embargo, por diversos factores se tiene que corregir la dotación teórica a una dotación normalizada (DN). Así, el tiempo necesario de riego (Tnec), es distinto del fijado inicialmente y debe ser recalculado mediante la ecuación 40. Si el tiempo nuevo de riego resulta menor, se puede considerar como mayor grado de libertad en la JERt o se puede generar un turno más.

Determinación del número de turnos

El número de turnos en los que se puede agrupar la apertura de tomas de riego, depende directamente de la jornada efectiva de riego del sistema (JER), el cual depende del tipo de red y diversos factores agronómicos.

Para tantear el número máximo de turnos posibles, se evalúan los tiempos necesarios de riego de los hidrantes para el mes de máximas necesidades, mediante la siguiente expresión:

$$Tnec_i = q \cdot \frac{24}{DN_i} \cdot S_i \quad (40)$$

Siendo: DN: dotación normalizada establecida (l/s)

Tnec: tiempo necesario (hrs) para suministrar la DN en el mes crítico a cada hidrante i

q : necesidades totales o caudal ficticio continuo (l/s. día)

S_i: Superficie regada (ha)

En ese sentido el número máximo de turnos vendrá dado por la expresión:

$$n^{\circ} \text{ turnos} \leq \frac{JER}{TNec \text{ max}} \quad (41)$$

Siendo $TNec \text{ max}$, el máximo tiempo de riego de todos los hidrantes de la red que permitirá determina el número de turnos inicial y el tiempo mínimo de riego que tendrían que tener los turnos.

$$JER_t = TNec \text{ max} \quad (42)$$

Los tiempos de riego, dependen de la dotación establecida y limitaran el número de turnos de riego. En la fase de diseño, es factible ajustar las dotaciones para que los tiempos de riego sean favorables para el establecimiento de turnos.

Para disminuir el caudal en cabecera y obtener dimensionados más económicos, se tratará maximizar el número de turnos cumpliendo que la suma de las duraciones de todos los turnos no supere la JER, y que el tiempo de riego de los hidrantes no supere el tiempo de duración del turno al que pertenecen.

Turnos de duración diferente para encajar mayor número de turnos

Ocasionalmente, no es posible encajar ni siquiera dos turnos en la red, aun exagerando las dotaciones al máximo, excediendo el TNec máximo del JER_t . En estos casos, será necesario evaluar los TNec de los hidrantes y establecer turnos de riego de duración diferente, lo cual permitirá encajar mayor número de turnos que el orientativo. Los turnos de duración diferente, serán aplicables y efectivos en los

casos en los que los T_{Nec} de los hidrantes son heterogéneos, siendo solo una parte de los hidrantes los que su T_{Nec} supere el JER_t inicial orientativo.

Establecimiento de turnos de riego

Para el dimensionado de redes de riego a turnos, se requiere asignar turnos a cada hidrante, bajo un criterio de agrupación y no de manera arbitraria. Con el fin de conseguir el ahorro esperado, los hidrantes pueden distribuirse en los diferentes turnos considerando propiedades como la cota, la dotación, el tiempo necesario de riego u otras características topológicas y operacionales del caso particular de la red.

Cruz et al. (2015), sostienen que en sistemas funcionando a turnos, estos deben estar distribuidos por toda la red y no agrupados en ramales, ya que este último induce a sobrecostos que aproximan a costos de diseños a la demanda, las que son más flexibles y sistemáticos.

Por ello en este trabajo de investigación las tomas que pertenecen a un mismo turno se repartirán aleatoriamente por toda la red, siendo el algoritmo propuesto quien determine la mejor asignación de turnos en los hidrantes. De este modo se conseguirá un caudal permanente, homogéneo y reducido en todas las conducciones, haciendo que su costo sea menor.

En caso de que el hidrante requiera T_{Nec} mayor al JER_t , se puede aumentar el número de tomas en la parcela para una mejor organización de redes de riego a turnos.

2.7 MÉTODOS DE DISEÑO ÓPTIMO

El principal propósito de los métodos de diseño óptimo es encontrar la mejor solución a los problemas reales bajo criterios de calidad, costo, fiabilidad y cualquier otra perspectiva de utilidad (Lapo, 2012).

2.7.1 Clasificación de las técnicas de optimización

La particularidad de los problemas de optimización, ha generado que diversos autores propongan métodos directos o indirectos, con el fin de obtener el diseño óptimo de los sistemas de distribución de agua.

2.7.2 Método de programación lineal (PL)

La optimización por programación lineal consiste en encontrar el mínimo o máximo global de una función objetivo, cuyas variables de decisión poseen un comportamiento lineal, delimitada por una serie de restricciones lineales expresados por igualdades o desigualdades (Mora, 2012).

Huerta et al. (2004), sostienen que los métodos de punto interior como Karmarkar Y primal-dual, se denominan así debido a que evolucionan por el interior de la región factible, mientras que el método simplex avanza de un punto extremo a otro, por la frontera de dicha región hasta encontrar la solución óptima del problema. La figura 18 muestra gráficamente ambos comportamientos.

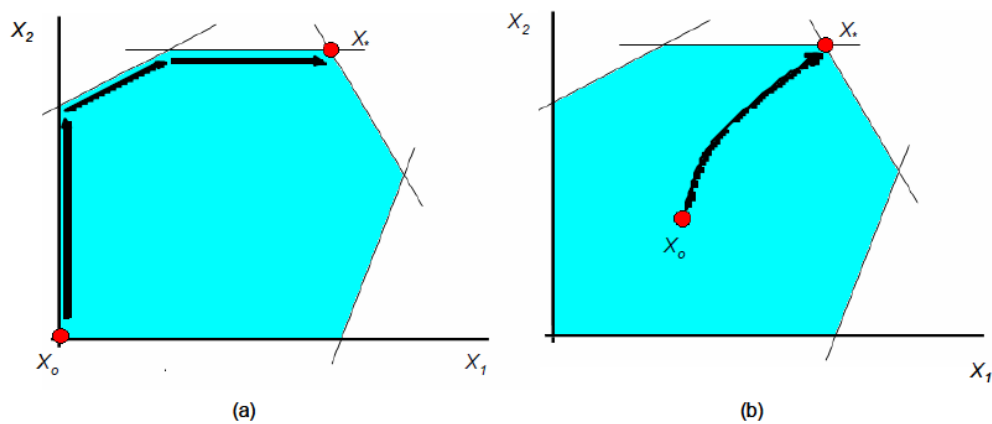


Figura 18. Trayectoria de optimización por método Simplex y punto interior.
Fuente. Huerta et al., 2004.

Otra diferencia notable es que en el método del punto interior existen algoritmos de tiempo polinomial, es decir la solución óptima se obtiene en un número de iteraciones que es función polinómica del problema, mientras que en el método Simplex la solución óptima se alcanza en un tiempo exponencial en el peor de los casos.

2.7.3 Método de programación no lineal (PNL)

Con frecuencia muchos problemas prácticos de la vida real no son lineales, razón por la cual será indispensable emplear técnicas de programación no lineal. La

optimización por programación no lineal se aplica a problemas que contengan una función o alguna restricción no lineal, indudablemente, los tratamientos de los problemas de optimización no lineal son más complicados que los lineales (García y Román, 2008).

El GRG permite incluir desigualdades no lineales en las restricciones. El algoritmo al encontrar una dirección de búsqueda, aun en un mínimo movimiento, las restricciones activas siguen manteniéndose activas. De no cumplirse alguna restricción, se usará el método de Newton Raphson para regresar a la frontera de la restricción. Respecto a las restricciones de desigualdad siempre pueden ser transformadas a restricciones de igualdad añadiendo variables adicionales (Guardiola, 2000).

Mora (2012), manifiesta que en problemas cuya función objetivo es cóncava o convexa el método GRG garantiza una solución óptima global. Sin embargo, para problemas de tipo no convexo o no uniformes, solo será posible conseguir óptimos locales, más no el óptimo global; para su resolución se requiere métodos especiales, como: enumeración explícita, métodos heurísticos, métodos evolutivos, entre otros.

2.7.4 Método de algoritmo genético (AG)

Un algoritmo genético es un procedimiento de búsqueda de la solución óptima al maximizar o minimizar una función objetivo, en base a los principios de la genética y la mecánica de selección natural, que va permitir la supervivencia del individuo

más apto por medio de la simulación de una serie de operadores genéticos, de los cuales destacan la selección, cruce y mutación (Montesinos et al., 1996).

Los algoritmos genéticos no examinan todas las soluciones de un problema, sino que buscan inteligentemente la mejor solución en un subgrupo de las posibles soluciones, esta ventaja le permite resolver problemas realistas complejos que se describen con funciones irregulares y discontinuas (Palisade Corporation, 2015). En nuestro caso particular se empleará los AG para determinar la programación de turnos más adecuada en los hidrantes del sistema de riego colectivo.

El proceso consiste en determinar la generación que incluya las mejores soluciones. Inicialmente se genera una población aleatoria suficientemente grande. Posteriormente se asigna una aptitud a cada individuo de la población según el valor de la función objetivo y el grado de satisfacción de restricciones. Seguidamente, algunos individuos son seleccionados en base a reglas impuestas (operador de selección) y recombinados entre sí (operador de cruce), dando lugar a una nueva población. Finalmente se aplican el operador de mutación que produce variaciones en la población, evitando que el proceso de evolución se detenga prematuramente, opcionalmente se emplea el elitismo, para asegurar que los mejores individuos de una generación pasen a la siguiente. Este proceso se repite hasta satisfacer el criterio de convergencia del algoritmo (Payá, 2007).

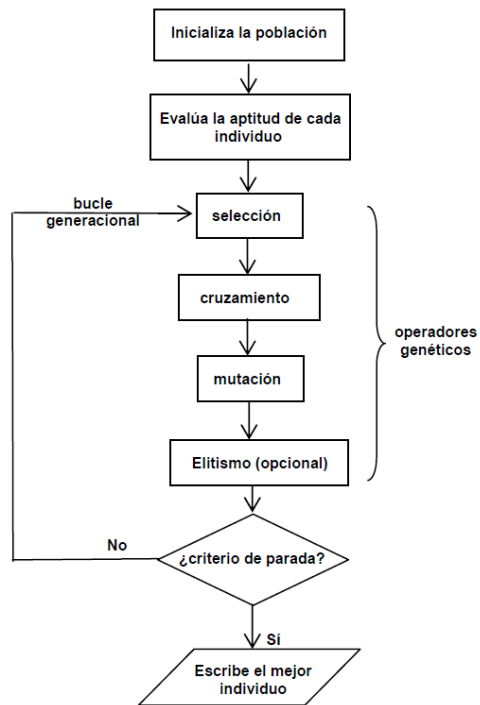


Figura 19. Diagrama de flujo de un AG básico.
Fuente. Payá, 200.

Evidentemente un individuo u organismo representa una posible solución al problema, que puede ser representado en sistemas computacionales por medio de valores (binario, entero, real o en punto flotante) asignados a la serie de parámetros. El conjunto de todos los parámetros (genes) se representa por una cadena de valores llamados cromosomas (genotipo) que constituye una solución (fenotipo), en la cual cada gen está codificado por bits (alelo), tal como se aprecia en la figura 20 (Gestal et al., 2010).

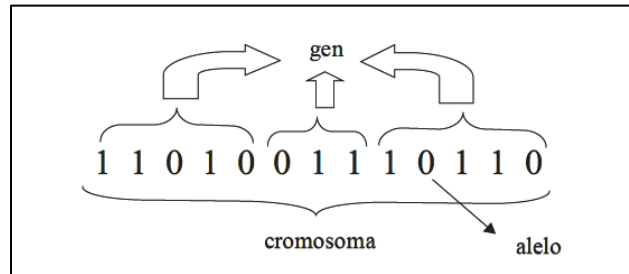


Figura 20. Individuo genético binario.
Fuente. Gestal et al., 2010.

Para pasar de una generación a otra se aplica una gama de operadores genéticos, los más empleados son (Gestal et al., 2010):

- Selección: se encarga de escoger que individuos van a tener la oportunidad de reproducirse y cuáles no, en base a un valor de ajuste. La selección puede ser de tipo probabilístico (ruleta, torneo, etc.) o determinístico (ajuste) o una combinación de ambos.
- Cruce: luego de la selección de individuos, estos son recombinados para producir la descendencia que se introducirá en la siguiente generación. El cruce es una estrategia de reproducción sexual que suele usar tasas de trabajo cercanos al 50%. Los algoritmos de cruce se pueden dividir para codificaciones binarias (un punto, dos puntos, uniforme) y codificaciones no binarias (media, media geométrica, extensión)
- Algoritmo de reemplazo: se aplica cuando se trabaja sin población temporal, es decir con una única población, sobre los que se realiza las selecciones e inserciones. Para insertar un nuevo individuo deberá eliminarse

previamente otro individuo. Los métodos de reemplazo más usados son: aleatorios, de padre, similares y peores.

- Copia: es una estrategia de reproducción asexual que consiste en copiar un individuo a la nueva generación. El porcentaje de copias de una generación a otra es reducido para evitar una convergencia prematura de la población con el individuo.
- Mutación: permite varios algunos genes aleatoriamente de un individuo, bajo una cierta tasa de probabilidad (P_m), generalmente menor o igual a 5%. La mutación se suele usar de manera conjunta con el operador de cruce.
- Elitismo: Es un caso particular del operador de copia, que consiste en copiar siempre el mejor o mejores individuos a la siguiente generación, cuando los operadores de cruce y mutación no mejoran la solución de la actual generación.

2.7.5 Método híbrido (MH)

Un método híbrido es la combinación de dos o más métodos diferentes que componen un nuevo método más complejo, que permite encontrar la solución más idónea a un problema específico, logrando aprovechar las virtudes de las técnicas complementarias (Lapo, 2012).

Los algoritmos híbridos permiten la cooperación de métodos cuyas características son complementarias, siendo su principal ventaja la habilidad para obtener

soluciones cercanas al óptimo global, principalmente cuando hay una gran pluralidad de óptimos locales.

En nuestro ámbito de estudio, los métodos híbridos se vienen aplicando eficientemente en la resolución de muchos problemas en ingeniería hidráulica y gestión del agua, como (Lapo et al., 2017):

- Combinación de redes neuronales artificiales con la ecuación de continuidad, para la predicción de descargas en sistemas fluviales.
- Combinación de programación dinámica con AG, para minimizar el consumo de energía de hidrantes que trabajan a turnos.
- Algoritmos genéticos, para hallar la asignación más adecuada de turnos a los hidrantes.
- Combinación de PNL y AG, para minimizar costos totales de inversión en diseño de redes de riego colectivo presurizado.

En nuestro caso específico, el algoritmo del modelo híbrido comprende el uso de la PL y PNL que se encargaran de obtener el diseño óptimo en base al costo mínimo, que dependerá de la elección de longitudes parciales de los diámetros candidatos y la altura de bombeo en cabecera; mientras que el AG permitirá asignar el mejor turno para cada hidrante de la red.

2.8 IMPLICACIONES ECONÓMICAS EN EL DISEÑO DE RDA

2.8.1 Variables económicas que intervienen en el diseño de RDA

El costo total de una RDA, está constituido por costos de instalación o fijos y costos de explotación o costos variables. Por tanto, la función objetivo será (Pérez, 1993):

$$C_{total} = C_{instalacion} + C_{explotacion} \quad (43)$$

En ese sentido, resulta evidente que, de todos los costos de instalación, el grupo de mayor importancia es la tubería en sí. Respecto al costo de explotación, el costo energético es el que tiene mayor incidencia, que en algunos casos puede superar el costo de amortización anual de la inversión (Abadía, 2003).

Tabla 5
Clasificación de costos de una red de distribución de agua

Costes de instalación (Costes fijos)	Tuberías	Tuberías Accesorios
	Válvulas	Hidrantes Válvulas de Control Válvulas de Regulación Válvulas de Protección
	Obra civil	Zanjas Rellenos Compactaciones Anclajes Arquetas
	Equipos de bombeo	Bombas Electromecanismos Automatismos
Costes de explotación (Costes variables)	Energéticos Mantenimiento Personal	

Fuente. Abadía, 2003.

2.8.2 Balance entre los costos implicados en el diseño de RDA

El diseño económico en conducciones por bombeo implica minimizar costos de diferentes bases temporales. Por un lado, el costo de instalación constituye un pago único para la implantación, mientras que los costos de explotación corresponden al pago periódico (anual) para sostener el funcionamiento del sistema (Pérez, 1993).

En consecuencia, para realizar la optimización será necesario expresar los costos en una única base temporal; una de las maneras es convertir el costo de inversión a un término anual (amortización) para así poderlos comparar con los costos de operación. En ese sentido, será necesario aplicar el factor de amortización anual (a_t), que está en función de la tasa de interés de la amortización (r) y los años de vida del proyecto (T), quedando definido como:

$$a_t = \frac{(1+r)^T \times r}{(1+r)^T - 1} \quad (44)$$

Luego se podrá contabilizar el costo del sistema sobre una base temporal anual, como la suma del costo de amortización anual de la inversión más el costo de operación del sistema, expresado así:

$$C_{total} = a_t \cdot C_{instalacion} + C_{explotacion} \quad (45)$$

A continuación, trataremos las funciones de costo de los elementos más representativos de un sistema hidráulico, como: tuberías, bombas y depósitos, en

atención a su gran incidencia en los costos como por su importancia en la operación del sistema (Pérez, 1993).

Costo de las tuberías

En sistemas hidráulicos el costo de instalación de conducciones es igual a la suma de la adquisición, transporte e instalación, expresado como:

$$C_c=(A_1+A_2 \cdot D^a) \cdot L \quad 1 \leq a \leq 2 \quad (46)$$

Siendo C_c el costo por metro de tubería, D el diámetro de conducción, L la longitud del tramo; A_1 y A_2 constantes que dependen del tipo material, presión de trabajo, etc.

Costo asociado al bombeo

El parámetro más representativo para determinar el costo de construcción de una estación de bombeo, es la potencia instalada W . El costo de construcción por kilovatio (kW) instalado es decreciente con la potencia total instalada y se aproxima de esta manera:

$$C_b=A_1+A_2 \times W^a \quad 0 < a \leq 1 \quad (47)$$

Donde C_b es el costo de construcción de la estación de bombeo, W es la potencia instalada y A_1 , A_2 y a son coeficientes del ajuste.

El costo de operación de una estación de bombeo está conformado por los costos derivados de mantenimiento y conservación, y el costo de facturación eléctrica anual el cual ejerce mayor influencia, se expresan como:

$$C_o = A_3 \cdot W + A_4 \cdot W_m \times t_m \quad (48)$$

En la cual C_o es el costo de facturación eléctrica, W es la potencia instalada, W_m es la potencia media consumida (kW) y t_m es el tiempo medio de utilización (horas/año); A_4 es el costo kW.h consumido y A_3 es el costo anual de un kW instalado que puede incluir otros costos de operación que sean proporcionales a W .

Costo de depósitos

En el caso que sea necesario la construcción de un depósito, su costo dependerá básicamente del volumen y en depósitos elevados toma importancia la altura. De lo anterior el costo de construcción de un depósito se puede expresar como:

$$C_d = A \times V^a \quad 0 < a \leq 1 \quad (49)$$

En la cual V representa el volumen del depósito, A y a son coeficientes de ajuste de la función. La influencia de la altura de depósito sobre el costo de instalación se puede incluir modificando el valor del coeficiente A .

2.8.3 Diámetro económico en impulsiones

De acuerdo con Planells et al. (2005), el diámetro económico u óptimo es aquel que minimiza el valor del costo global del sistema, que resulta de sumar los costos de la inversión efectuada y los costos de operación.

En la figura 21 se representa claramente la variación de los costos energéticos (G_e) y costo anual de inversión amortizado (G_a) respecto al diámetro de tubería.

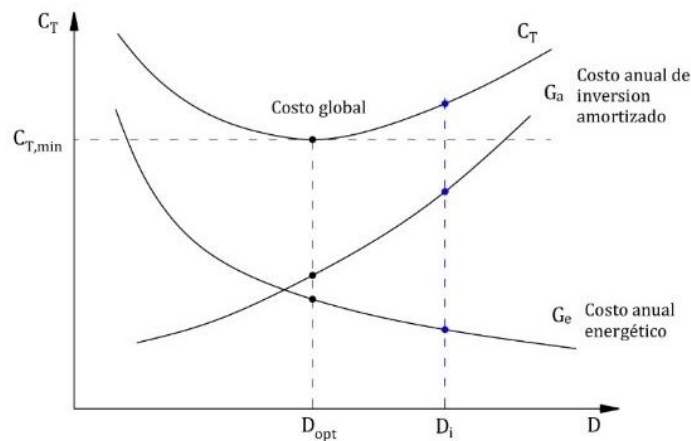


Figura 21. Variación de los costos anuales con el diámetro.
Fuente. Planells et al., 2005.

Como se observa en la figura 21, el costo de instalación y el costo de explotación del sistema están íntimamente relacionados, ya que dependen del diámetro de las tuberías instaladas, ambos costos mantienen una relación inversamente proporcional, esto se comprueba cuando al incrementar el diámetro de las conducciones se reducen los costos energéticos de la red.

De acuerdo con Pérez (1993), para el caso de conducción por bombeo, el caudal de agua será impulsado por equipos de bombeo hacia los depósitos o nudos de consumo, venciendo el desnivel dado y las pérdidas de carga, tal como se aprecia en la figura 22.

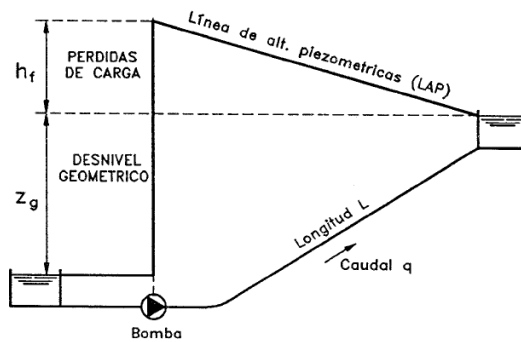


Figura 22. Tubería de impulsión.
Fuente. Pérez, 1993.

De acuerdo con la figura 22, la altura de bombeo (H_B) se puede simplificar a la siguiente expresión:

$$H_B = z_g + h_f \quad (50)$$

En donde z_g está en función de la topografía del terreno y la presión de salida en el punto de descarga, siendo una energía útil independiente del diámetro de tubería. En cambio, h_f dependerá del diámetro elegido, ya que la energía requerida para vencer la pérdida de carga disminuye al aumentar el diámetro de la tubería, por ende, se incrementa el costo de instalación.

2.9 DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Encontrar el diseño óptimo de una red de distribución de agua (RDA) es muy importante, ya que representa la solución más económica considerando desde luego otros aspectos no menos relevantes como el comportamiento hidráulico, la fiabilidad de la red, los beneficios, la calidad del agua, funcionamiento de la red e impacto ambiental, los que complican aún más la consecución del diseño óptimo de una red (Pino et al., 2017). Razón por la cual en este estudio se va considerar el criterios hidráulicos y económicos, dada la complejidad del problema y las limitaciones de la plataforma informática.

Villalba y Saldarriaga (2005), manifiestan que la optimización del diseño de RDA es un problema bastante complicado debido a la relación no lineal entre el flujo y las pérdidas de carga, y a la presencia de variables discretas (diámetros) que generan un universo de posibles de soluciones. Adicionalmente la función de costos de tubería también tiene una relación no lineal con los diámetros.

En la actualidad debido al auge de las técnicas de inteligencia artificial, ha sido posible conseguir diseños muy próximos al óptimo teórico en tiempos aceptables, por tanto, podemos considerar al diseño óptimo RDA como un problema resuelto.

2.9.1 Métodos de dimensionado de RDA

Abadía (2003), clasifica los métodos para el cálculo de dimensionado de redes, como se ve en el siguiente esquema:

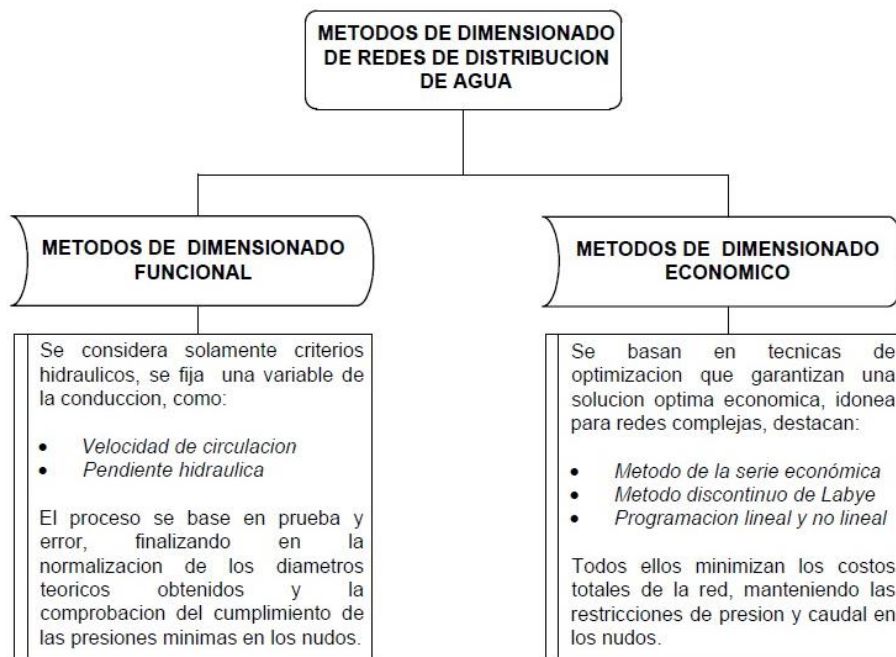


Figura 23. Clasificación de los métodos de dimensionado de RDA.
Fuente. Abadía, 2003.

Así mismo dependiendo de la manera en que se consideren los diámetros en los cálculos, se distingue (Pérez, 1993):

- **Formulación en diámetros continuos:** en los cálculos de diseño el diámetro de las líneas se considera como variable continua, como son el método de la serie económica y Programación no lineal.

- Formulación en diámetros discretos: en los cálculos de diseño se trabaja solo con el conjunto diámetros comerciales disponibles, como son el método de Labye y Programación lineal.

2.9.2 Modelo de programación lineal para el dimensionado de una conducción por bombeo

En ciertos casos la altura topográfica en cabecera no es suficiente para satisfacer la presión mínima en los nudos de consumo, por ello es necesario la implementación de una estación de bombeo. En términos económicos los diámetros de la red y la altura de bombeo tienen una relación inversamente proporcional, en otras palabras, si se incrementa los diámetros de la red disminuirá la altura de bombeo, y en esa misma proporción aumentarán o disminuirán los costos respectivos. Esta relación se concreta en la función objetivo a minimizar que considera tanto costos energéticos como la amortización anual de la inversión (Pérez, 1993).

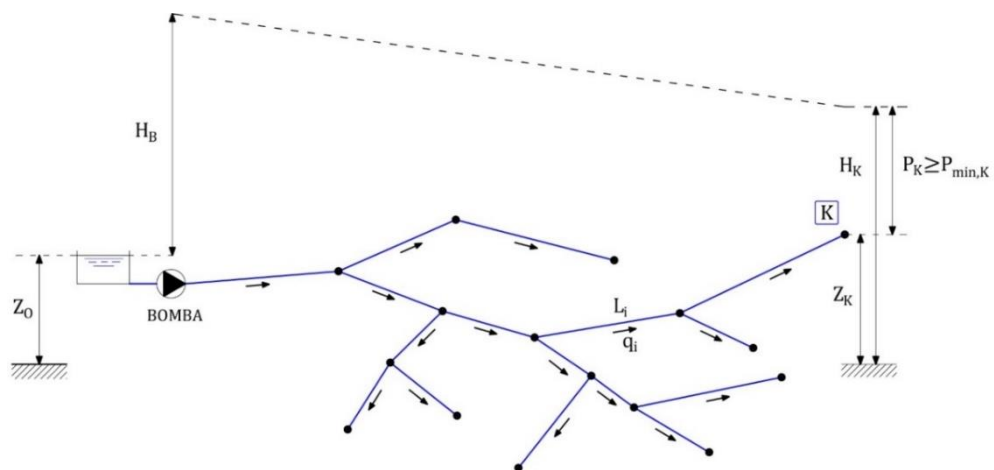


Figura 24. Red ramificada alimentada por estación de bombeo.
Fuente. Pérez, 1993.

Según lo descrito anteriormente, las variables de decisión serán las longitudes parciales $L_{i,j}$ y la altura de bombeo H_B .

El costo anual de amortización de inversión (G_a) se obtiene multiplicando su coste total por el factor de amortización a_t , como se aprecia:

$$G_a \left(\frac{\text{soles}}{\text{año}} \right) = a_t \times C_{tub} = a_t \cdot \sum_{i=1} \sum_{j=1}^{ND} c_j \cdot L_{i,j} \quad (51)$$

Donde j representa los diámetros candidatos (D_1, D_2, \dots, D_{ND}) de una determinada línea i y c_j es el costo unitario de tubería instalada (soles/ml).

Como ya se mencionó con anterioridad el costo energético anual de la estación de bombeo (G_e), será:

$$G_{e1} \left(\frac{\text{soles}}{\text{año}} \right) = (W) \cdot nh \cdot p = \left(\frac{9.81 \times q_b \times H_B}{n} \right) \times nh \times p = K_b \cdot H_B \quad (52)$$

Siendo: W =Potencia media consumida (kW).

nh =número de horas anuales de utilización.

p =Precio de la energía (soles/Kw.h).

q_b =Caudal bombeado (m^3/s).

H_B =Altura de bombeo (m).

n =Rendimiento global de la estación de bombeo (tanto por uno).

K_b =coste unitario anual de cada metro de altura de bombeo.

También se puede considerar el costo de potencia contratada (G_p), para nuestro caso se obtiene multiplicando la máxima potencia diaria (W_{diaria}) por su costo unitario (C_{pot}) en el número de meses anuales de utilización (N_m):

$$G_{e2} \left(\frac{\text{soles}}{\text{año}} \right) = \max(W_{diaria}) \cdot c_{pot} \cdot N_m \quad (53)$$

Entonces la función objetivo a minimizar, se definida como:

$$C_T = G_a + (G_{e1} + G_{e2}) = a_t \cdot \sum_{i=1} \sum_{j=1}^{ND} c_j \cdot L_{i,j} + (K_b \cdot H_B + \max(W_{diaria}) \cdot c_{pot} \cdot N_m) \quad (54)$$

Esta función es lineal en relación a las variables de decisión ($L_{i,j}$ y H_B).

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, se debe considerar restricciones de presión mínima garantizándose la altura piezométrica H_k en cualquier nudo k , en ese sentido la perdida de carga admisible ΔH_k en cualquier trayecto del nudo 0 al nudo k , no será un valor conocido, ya que dependerá de la altura de bombeo H_B . En consecuencia, si z_0 es la cota de aspiración de la estación de bombeo situada en la cabecera de la red, la pérdida de carga admisible ΔH_k en el trayecto 0-k será:

$$\Delta H_k = [z_0 + H_B] - H_k \quad (55)$$

De este modo las restricciones de presión mínima se expresarán como:

$$\sum_{i \in S_k} h_{f,i} = \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^{ND} j_{i,j} \cdot L_{i,j} \leq \Delta H_k = [z_0 + H_B] - [z_k + p_{min,k}] \quad \forall k \quad (56)$$

$$\text{O también: } P_{min,k} \leq [z_0 + H_B] - z_k - \sum_{i \in S_k} \sum_{j=1}^{ND} j_{i,j} \cdot L_{i,j} = P_k \quad \forall k \quad (57)$$

Además, será necesario aplicar restricciones geométricas para todas las líneas de la red:

$$\sum_{j=1}^{ND} L_{i,j} = L_i \quad \forall i = 1 \dots n \quad (58)$$

y restricciones de no negatividad de las variables de decisión ($L_{i,j}$ y H_B):

$$L_{i,j} \geq 0 \quad \forall i,j; \quad H_B \geq 0 \quad (59)$$

Entonces el problema planteado resulta completamente lineal, tanto por la función objetivo como por las restricciones exigidas, siendo posible resolverlo por cualquier método de programación Lineal.

2.9.3 Aspectos particulares del problema

Lapo (2012), indica las siguientes particularidades del dimensionado de una red ramificada mediante PL:

a) Restricciones de velocidad

Las restricciones de velocidad máxima y mínima no aparecen de manera explícita en el modelo lineal, dado que su imposición se realiza al seleccionar los diámetros candidatos mínimo y máximo para cada línea.

b) Costes energéticos

Resulta importante calcular los costos de la potencia media durante las horas anuales de bombeo, lo que permitirá contratar adecuadamente el suministro eléctrico en función a la modulación horaria del bombeo.

c) Múltiples estados de carga

El modelo de programación lineal también admite la posibilidad de considerar varios estados de carga para el caso de sistemas funcionando a turnos, ello implicara añadir un conjunto de restricciones de presión por cada estado de carga. También se puede considerar costos de potencia y energía para cada periodo horario.

d) Dimensionado de ampliaciones

En situaciones de ampliación de una red existente, mediante la programación lineal es factible, solamente se debe adecuar las restricciones de presión mínima para los nuevos nudos, considerando los elementos existentes y elementos nuevos que serán dimensionados.

e) Limitación de presión máxima

Cuando la altura de bombeo H_B es incógnita, es posible introducir restricciones de presión máxima, sin embargo, puede entrar en conflicto con las restricciones de

presión mínimas, ante ello se recomienda incluir válvulas reductoras de presión (VRP) en el trazado final de la red de distribución.

f) Inclusión de costos adicionales

Hasta ahora los costos empleados han sido lineales, obviando otros costos que puedan ser no lineales de las funciones de costos tratados, como el costo de construcción de la estación de bombeo.

2.9.4 Método de resolución con programación lineal

EL esquema presentado ilustra de manera resumida el procedimiento que se debe seguir para obtener el diseño óptimo de una red aplicando la programación lineal.

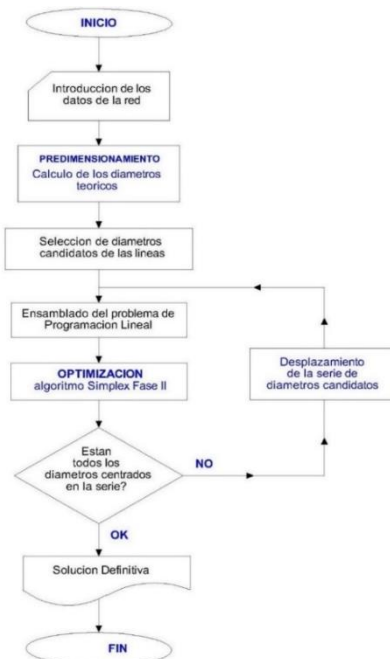


Figura 25. Procedimiento para el dimensionado óptimo con PL.
Fuente. Pérez, 1993.

2.10 MODELO DE DISEÑO ÓPTIMO PARA UNA RDA FUNCIONANDO A TURNOS

Los modelos planteados implican múltiples estados de carga como hipótesis de diseño, que corresponde a los diferentes turnos asignados a los hidrantes, los cuales serán ajustados con el fin de minimizar la función objetivo y cumplir las restricciones hidráulicas (Lapo, 2012).

De acuerdo con los objetivos de la presente investigación, a continuación, se analizarán las alternativas de diseño optimizado.

2.10.1 Modelo de optimización considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga

Para este modelo a nivel de cada turno se tendrá como incógnitas a las longitudes parciales de los diámetros y una única altura de bombeo, las cuales intervienen en el costo total anual, que se define del siguiente modo:

$$C_T = G_a + F_e(G_{e1} + G_{e2}) = a_t \cdot \sum_{i=1} \sum_{j=1}^{ND} c_j \cdot L_{i,j} + F_e(K_b \cdot H_B + \max(W_{diaria}) \cdot c_{pot} \cdot N_m) \quad (60)$$

En la ecuación 65, se ha incluido el factor de consumo energético (F_e) para convertir el consumo de energía crítico a consumo de energía anual medio que

representa mejor al costo real. Este factor se obtiene relacionando el requerimiento crítico y el requerimiento medio del sistema de riego.

Sujeta a restricciones de presión mínima en cada turno:

$$\sum_{i \in S_{0,t,k}} h_{f,i} = \sum_{i \in S_{0,k}} \sum_{j=1}^{ND} j_{i,j,t} \cdot L_{i,j} \leq \Delta H_{0,t,k} = [z_0 + H_B] - H_k$$

$$\forall \text{ nudo } k \text{ y turno } t \quad (61)$$

O también de la siguiente forma:

$$P_{min,k} \leq [z_0 + H_B] - z_k - \sum_{i \in S_{0,k}} \sum_{j=1}^{ND} j_{i,j,t} \cdot L_{i,j} = P_k \quad \forall k \quad (62)$$

Siendo H_B la altura de bombeo para todos los turnos.

Asimismo, se debe cumplir la restricción de tipo geométrico:

$$\sum_{j=1}^{ND} L_{i,j} = L_i \quad \forall i = 1 \dots n \quad (63)$$

Y la restricción de no negatividad de las variables de decisión ($L_{i,j}$ y H_B):

$$L_{i,j} \geq 0 \quad \forall i, j; \quad H_B \geq 0 \quad (64)$$

Cabe mencionar que el modelo planteado a nivel de cada combinación de turno es lineal, por tanto, se resolverá usando un método de cálculo de programación lineal, específicamente el método Simplex.

2.10.2 Modelo de optimización considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga

Para este modelo a nivel de cada turno se tendrá como incógnitas a las longitudes parciales de los diámetros y las diferentes alturas de bombeo por turno, las cuales intervienen en el costo total anual, que se representa con la siguiente expresión:

$$C_T = G_a + F_e(G_{e1} + G_{e2}) = a_t \cdot \sum_{i=1} \sum_{j=1}^{ND} c_j \cdot L_{i,j} + F_e(K_b \cdot H_{B,t} + \max(W_{diaria}) \cdot c_{pot} \cdot N_m) \quad (65)$$

Sujeta a restricciones de presión mínima en cada turno:

$$\sum_{i \in S_{0,t,k}} h_{f,i} = \sum_{i \in S_{0,k}} \sum_{j=1}^{ND} j_{i,j,t} \cdot L_{i,j} \leq \Delta H_{0,t,k} = [z_0 + H_{B,t}] - H_k \quad \forall \text{ nudo } k \text{ y turno } t \quad (66)$$

O también de la siguiente forma:

$$P_{min,k} \leq [z_0 + H_{B,t}] - z_k - \sum_{i \in S_{0,k}} \sum_{j=1}^{ND} j_{i,j,t} \cdot L_{i,j} = P_k \quad \forall k \quad (67)$$

Siendo $H_{B,t}$ la altura de bombeo para cada turno t .

De igual modo que en el caso anterior, se deberá cumplir la restricción de tipo geométrico y la restricción de no negatividad de las variables de decisión ($L_{i,j}$ y $H_{B,t}$).

El modelo planteado a nivel de cada combinación de turno se convierte en no convexo al considerarse alturas de bombeos diferentes para cada turno, por consiguiente, se resolverá en dos fases empleando el método de cálculo GRG para determinar $H_{B,t}$ y Simplex para calcular las $L_{i,j}$ de los diámetros económicos, cuya integración permitirá obtener el diseño óptimo para cada configuración de turnos.

2.11 HERRAMIENTAS INFORMATICAS MODERNAS

2.11.1 Microsoft Excel Solver

Según Loubet (s.f.), Solver es una herramienta complementaria de Microsoft Excel, sirve para resolver y optimizar ecuaciones mediante el uso de métodos numéricos.

Con Solver se puede buscar el valor óptimo para cada celda ajustable, definiendo la celda objetivo que contiene la fórmula de la función objetivo, fijando las celdas ajustables en la que se encuentran los valores de las variables y agregando las restricciones. Según el tipo de problema Solver comprende tres métodos de resolución, como son: el método Simplex para problemas lineales, GRG para problemas no lineales suavizados y motor Evolutionary para problemas no suavizados.

Al momento, la empresa Frontline Systems ha desarrollado nuevas actualizaciones para Microsoft Solver estándar, que le permite resolver problemas más grandes, hasta 8000 variables a velocidades de 3 a 100 veces más rápidos que el Solver

estándar. Adicionalmente ofrecen 8 motores enchufables opcionales que pueden resolver problemas de gran escala con hasta millones de variables.

2.11.2 Evolver

Según Palisade Corporation (2015), Evolver es un software comercial rápido y avanzado que permite encontrar soluciones óptimas a prácticamente cualquier tipo de problema, en base a algoritmos genéticos y OptQuest. Además, en modo automático puede identificar si un problema es lineal o no lineal para aplicar los métodos correspondientes.

Evolver puede hallar la combinación óptima de las celdas ajustables, a través de sus métodos de resolución, como son: receta, agrupamiento, orden, presupuesto, proyecto y calendarización.

Con frecuencia Evolver es usado como una aplicación complementaria de plataforma de Microsoft Excel, en donde los usuarios crean un modelo y luego usan Evolver para resolverlo.

2.11.3 Cropwat 8.0

De acuerdo con Sánchez (2013), Joss Swennenhuis es quien elabora el software Cropwat 8.0 para la unidad de fomento y Gestión de las aguas de la FAO, el cual tiene como objetivo principal calcular los requerimientos de agua y la programación

de riego de los cultivos, considerando los datos climáticos, edafológicos y agronómicos determinados por el usuario.

En el software Cropwat el caudal ficticio continuo se calcula mediante el método de la FAO Penman-Monteith luego de determinar la evapotranspiración de los cultivos (ETc).

2.11.4 Epanet 2.0

Según Rossman (2000), Epanet en la actualidad es uno de los softwares informáticos más completos orientado a la simulación de redes, permitiendo comprender mejor el comportamiento del agua que circula por las redes de distribución. Este paquete informático es capaz de realizar simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y análisis de la calidad de agua de sistemas de distribución de agua a presión.

La nueva versión de Epanet 2.0, tiene una serie de mejoras, como la incorporación del entorno Delphi, mejoras de capacidad de cálculo, y la implementación del Toolkit (caja de herramientas) que permite la integración con Excel y el entorno GIS.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación empleado es de tipo aplicada, porque pretende solucionar un problema en concreto a través de estrategias innovadoras como son los métodos híbridos. En este estudio se integró los métodos de algoritmo genético, programación lineal y programación no lineal para optimizar el diseño de sistemas de riego con estación de bombeo.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es experimental, debido a que se interviene en la variable del método híbrido para conseguir la solución óptima a través de una serie de simulaciones en la plataforma Microsoft Excel.

En ese sentido, se ha implementado dos modelos híbridos de optimización en base al número de incógnitas de la variable de altura de bombeo para una red funcionando a turnos. Los instrumentos empleados para implementar los modelos híbridos fueron las aplicaciones de Solver y Evolver.

Se tomo en consideración la metodología y herramientas propuestas por Pérez (1993) y Lapo (2012), añadiendo las consideraciones para los casos específicos tratados.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

La población de esta investigación está conformada por los diversos sistemas de riego de la región de Tacna que requieren equipos de bombeo para impulsar el agua.

La unidad de análisis de esta investigación es el sistema de riego de la Asociación Agroindustrial 1° de Abril, el cual requiere equipo de bombeo para implementar el riego colectivo por turnos.

3.4 PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO

En la figura 26, se muestra esquemáticamente la metodología que se debe seguir para el diseño de sistemas de riego con estación de bombeo. Dicha metodología se ha organizado en cuatro fases bien marcadas.

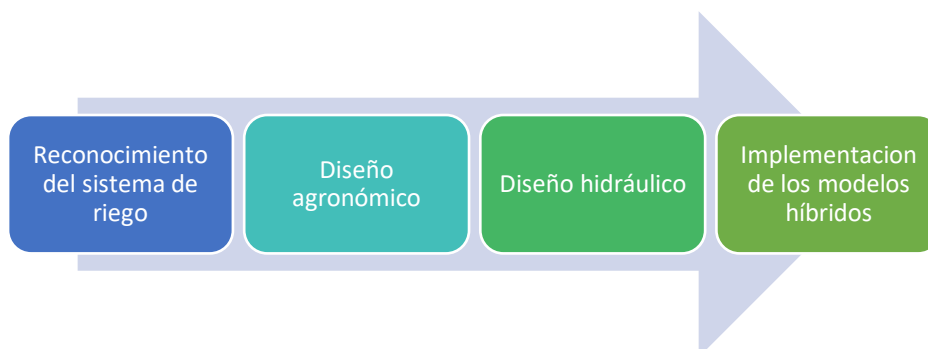


Figura 26. Procedimiento de diseño de un sistema de riego.

En la primera fase se realiza el reconocimiento del sistema de riego que comprende básicamente describir la ubicación, el sistema de riego, la topografía del terreno y la topología de la red.

En la segunda fase se ha realizado el diseño agronómico que comprende principalmente elegir el método de riego, recopilar los datos agroclimáticos y procesamiento de datos con el software Cropwat 8.0, para determinar las necesidades hídricas de los cultivos y caudal ficticio continuo del sistema.

En la tercera fase se efectúa el diseño hidráulico que comprende el cálculo del caudal ficticio por parcela, cálculo de sectores por parcela, cálculo de dotaciones normalizadas, determinación de número de turnos, por último, definir los parámetros de diseño hidráulico respecto a los límites de permisibles de presión y velocidad. Para distinguir el tema central de la investigación se ha optado por considerar el dimensionamiento económico de la red en la siguiente fase.

En la cuarta fase se implementa los modelos híbridos de optimización que comprende la determinación de los parámetros generales, implementación del modelo híbrido de única HB, implementación del modelo híbrido de diferentes HB y la respectiva verificación de los resultados con el software de Epanet 2.0.

3.5 RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO

3.5.1 Ubicación del sistema de riego

El sistema de riego de la Asociación Agroindustrial 1° de Abril, está ubicado en la zona conocida como Pampas Cerro del Medio y El Arrojadero del distrito de Sama las Yaras, región de Tacna (ver figura 27).

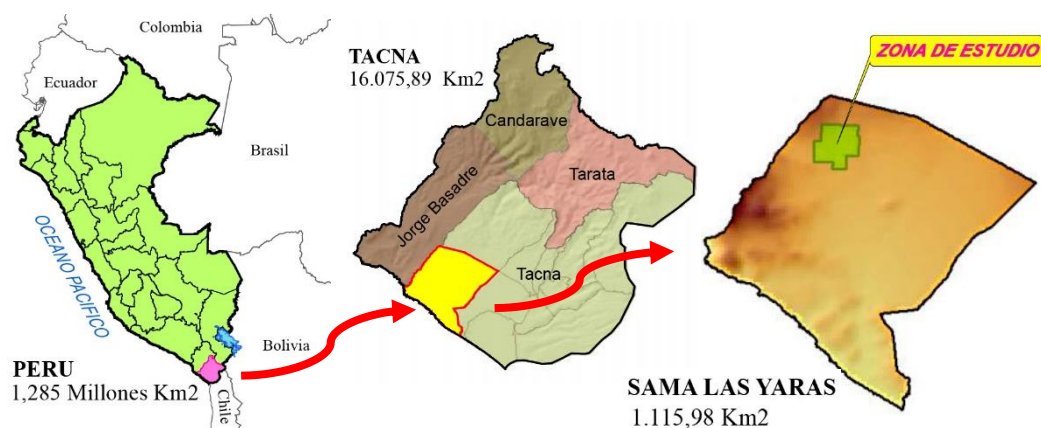


Figura 27. Ubicación geográfica – Asoc. Agroindustrial 1° de Abril.

3.5.2 Descripción del sistema de riego

La asociación agroindustrial 1° de Abril cuenta con un Área total de 35.055,52 Has compuesto por 337 lotes de 10 Has cada uno, distribuidos en 7 sectores.

En el presente estudio se analizará el sistema de riego del primer sector que cuenta con 29 parcelas, abastecidas por un pozo subterráneas ubicado en la cabecera de la red.

La zona de estudio posee un suelo franco arenoso de 10 m de espesor constituido por gravas, gravillas y finos, el contenido de material orgánico es de 1.07%, ph de 6.7 y una permeabilidad moderadamente rápida (ver anexo C), de tales propiedades edafológicas se deduce que el suelo es regularmente favorable para la agricultura, especialmente para los cultivos de baja demanda hídrica como la tara, olivo, cítricos y aguacate (Gobierno regional de Tacna, 2012).

De acuerdo con el estudio de prospección geológica realizado por Acosta (2018), debajo de la zona estudiada existe un acuífero de 45 m de espesor constituido por arena fina, arcilla y limo saturado, con nivel freático a 75 m y una resistividad promedio de 23 ohm.m (ver anexo D); el acuífero es recargado con aguas filtradas de Quebrada Honda y Rio Sama. Por otro lado, Eduardo (2011) manifiesta que los limos saturados con agua dulce tienen una resistividad de 20 a 100 ohm.m, mientras que los limos saturados con agua salada tienen una resistividad de 5 a 15 ohm.m, por lo tanto, se infiere que el acuífero presenta aguas regularmente aptas para el uso agropecuario de la asociación.

3.5.3 Topografía del terreno

La red hidráulica proyectada está ubicada a una altitud de 450 m.s.n.m. a 490 m.s.n.m., es decir existe un desnivel o presión estática de 40 m, favorables para la presurización en la zona más baja del sistema.

La zona de estudio presenta una topografía regular que se describe con pendientes suaves a medias que oscilan entre 1% a 10%.

Dada las características del terreno, será necesario la implementación de un depósito de almacenamiento y un sistema de bombeo para garantizar el funcionamiento del sistema.

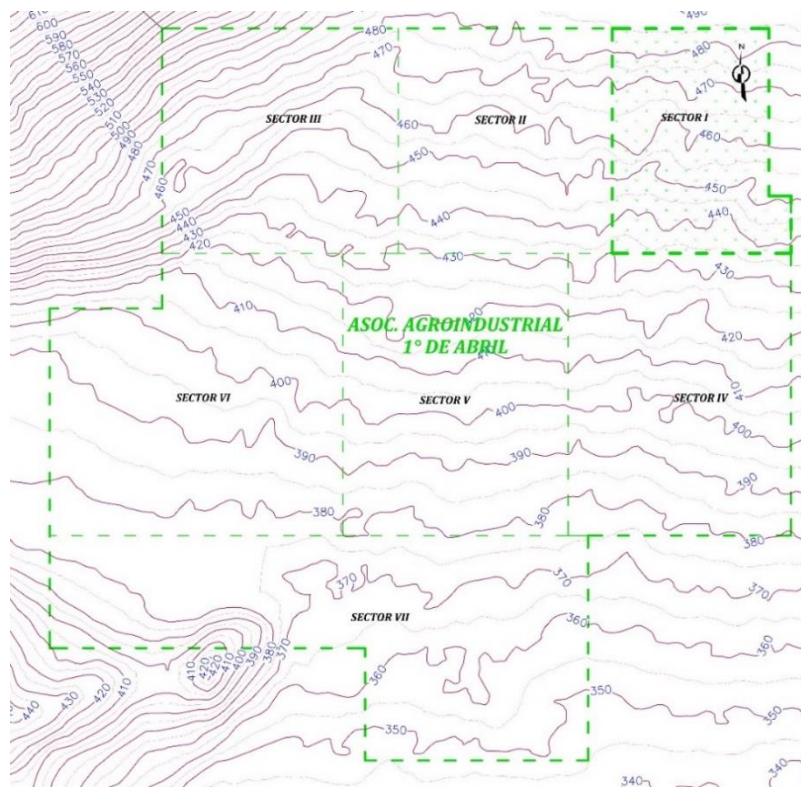


Figura 28. Topografía de la zona de estudio.

3.5.4 Topología de la red

El sistema de riego comprende un pozo subterráneo de una profundidad de 120 m, cuyas aguas extraídas serán almacenadas en un reservorio de geomembrana.

Mediante un sistema de bombeo el agua se distribuirá a todos los hidrantes o tomas de riego.

La red principal se deriva en 2 ramales de distribución, de las cuales el primero agrupa 12 hidrantes y el segundo 17 hidrantes (ver figura 29).

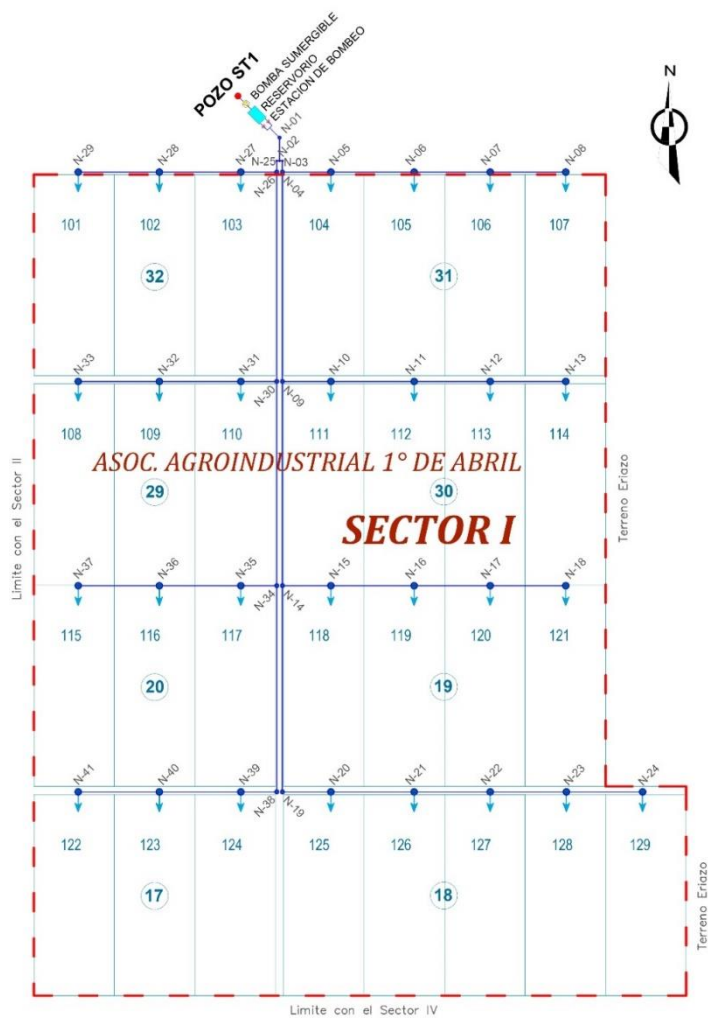


Figura 29. Topología de la red hidráulica.

3.6 DISEÑO AGRONÓMICO

3.6.1 Elección del método de riego

En proyectos nuevos o en sistemas existentes que se transforman al riego tecnificado, será vital elegir el método de riego más adecuado o una solución parcial de ser necesario. Por ello, al elegir el método de riego se debe considerar no solamente las características técnicas del sistema de riego como el tamaño de parcelas, tipos de cultivos, sistema de alimentación y otros; sino también la viabilidad económica (Briceño, 2016).

En algunos casos particulares, será crucial realizar el diseño del sistema de riego parcelario y la simulación del método de riego, para conocer sus componentes, caudal y presión requerido en los hidrantes. Dicho proceso se omitirá, ya que el sistema de riego tiene características uniformes.

Al definir el método de riego, también se selecciona el tipo de emisor referencial a emplear en el sector de riego, el cual deberá satisfacer las variadas necesidades de agua de los diferentes cultivos propuestos.

Por lo tanto, se implementará el método de riego por goteo, ya que se adapta mejor a los cultivos frutales. Asimismo, para desarrollar las alternativas de cultivos se escogió un gotero autocompensante PC de la marca Netafim encontrada en el

catálogo del Grupo Regaber (2014), cuya presión mínima de entrada en laterales debe ser de 20 mca (ver tabla 6).

Tabla 6
Características de operación y largos máximos de tuberías

Presión al final del lateral: 0.5 bar

GOTERO AUTOCOMPENSANTE PC	Tubería	Presión de entrada	Kd	Caudal (l/h)	Distancia entre goteros						
					0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	3.00	5.00
					16/2.5	2 bar	0.39	2.0	102	173	233
			4.0	65	111	149	182	242	384	535	
			8.5	40	68	92	112	149	237	330	
			25.0	20	34	46	56	75	120	165	
20/2.5	2 bar	0.13	2.0	171	281	370	449	587	921	1280	
			4.0	109	180	238	288	377	591	825	
			8.5	67	111	146	178	233	366	510	
			25.0	34	56	74	89	117	183	255	
25/2.5	2 bar	0.10	2.0	290	452	584	702	909	1416	1960	
			4.0	187	290	376	451	585	909	1260	
			8.5	115	180	233	279	362	561	780	
			25.0	58	90	117	140	182	282	390	

Fuente. Grupo Regaber, 2014.



Figura 30. Gotero autocompensante PC.
Fuente. Grupo Regaber, 2014.

Para asegurar el correcto funcionamiento del método de riego por goteo, se asumirá una pérdida de carga de 5 mca dentro de cada parcela. En consecuencia, la presión mínima requerida en la conexión parcelaria será 25 mca, respecto al caudal

requerido se calculará posteriormente en función de las necesidades hídricas de los cultivos.

3.6.2 Recopilación de datos para el diseño agronómico

Los datos meteorológicos han sido obtenidos de la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020), tomándose como referencia la estación convencional Sama Grande, situada a una latitud de 17°47'15.3'', longitud 70°29'22.6'' y altitud de 529 msnm. Por cuestiones prácticas los resultados mensuales se obtuvieron mediante el promedio de la serie 2015 al 2020, tal como se muestra en la tabla 7 y anexo G, sin embargo, cabe resaltar que en estudios definitivos se recomienda que la información meteorológica sea validada mediante métodos de consistencia de información, a fin de atenuar los posibles errores sistemáticos y obtener resultados que reflejen las condiciones reales del problema.

Tabla 7
Datos meteorológicos de la estación Sama Grande

Meteorología	Tem. Mínima (°C)	Tem. Máxima (°C)	Tem. Media (°C)	Humedad Relativa (%)	Vel. Viento (m/s)	Vel. Viento (Km/día)	Insolación (horas)	Precipitación Media (mm/mes)
Enero	17.00	29.12	23.06	90.95	4	345.6	12	3.61
Febrero	17.66	30.08	23.87	89.68	4	345.6	12	1.83
Marzo	16.05	28.76	22.41	90.97	4	345.6	12	0.53
Abril	14.39	27.12	20.76	90.89	4	345.6	12	1.11
Mayo	12.84	24.70	18.77	90.81	4	345.6	12	1.67
Junio	11.77	22.48	17.13	90.50	4	345.6	12	2.92
Julio	11.33	21.22	16.28	90.80	4	345.6	12	3.29
Agosto	11.00	22.39	16.70	90.68	4	345.6	12	5.07
Setiembre	11.52	23.38	17.45	90.52	4	345.6	12	7.26
Octubre	12.37	24.71	18.54	90.80	4	345.6	12	3.00
Noviembre	13.58	26.45	20.02	90.89	4	345.6	12	2.47
Diciembre	14.75	27.77	21.26	90.70	4	345.6	12	2.04
Promedio	13.69	25.68	19.69	90.68	4	345.6	12	2.90

Las características de los cultivos como tara, olivo, cítricos y aguacate se consiguieron del manual N° 56 de la FAO. Por otro lado, los parámetros del suelo se obtuvieron del manual del PESA.

3.6.3 Procesamiento de datos con Software Cropwat 8.0

Previo a la modelación, análisis y diseño de un sistema de riego, se debe determinar las dotaciones de riego de cada parcela que están en función de las necesidades hídricas de los cultivos. Por ello es muy importante que el diseño agronómico se realice con información confiable sobre las alternativas de cultivos, características del suelo y condiciones meteorológicas de la zona; puesto que cualquier error en esta etapa repercutirá notablemente en el diseño de la red y la gestión del riego.

Actualmente existen varias metodologías para realizar el cálculo de las demandas hídricas mensuales o diseño agronómico, siendo uno de los más conocidos el software libre Cropwat 8.0 implementada por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). La interfaz de este software este compuesto por 8 módulos bien marcados, en donde se debe ingresar datos del clima, cultivos y suelo, para al final obtener la demanda hídrica mensual de los cultivos; la metodología se puede resumir a través del siguiente flujograma:

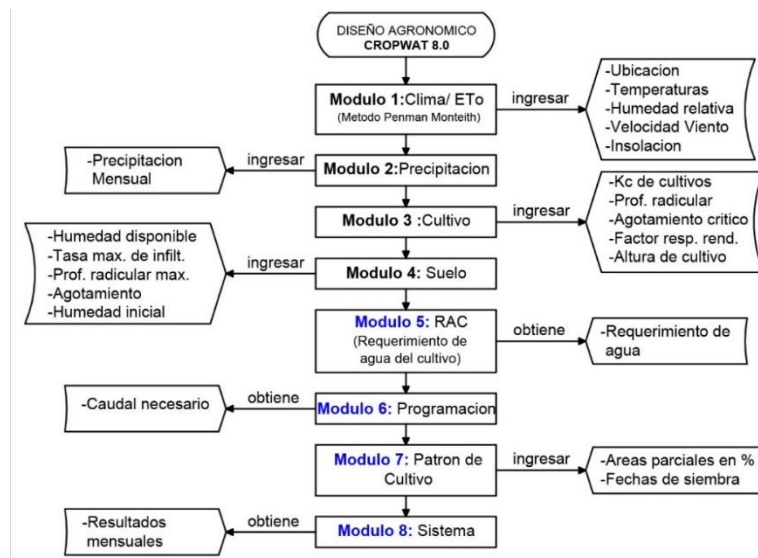


Figura 31. Flujograma de la metodología del software Cropwat.

En consecuencia, en el módulo 1 del software se ingresan los valores de ubicación, temperatura mínima y máxima, humedad e insolación (estimado por software), con el fin de que el programa calcule los parámetros de evapotranspiración de referencia (ETo) y radiación, mediante el método de Penman-Monteith, tal como se aprecia en la figura 32.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	17.0	29.1	91	4.0	8.9	24.6	4.45
Febrero	17.7	30.1	90	4.0	8.9	24.1	4.61
Marzo	16.1	28.8	91	4.0	8.8	22.5	4.13
Abril	14.4	27.1	91	4.0	8.4	19.6	3.45
Mayo	12.8	24.7	91	4.0	7.6	16.3	2.71
Junio	11.8	22.5	91	4.0	6.7	14.1	2.22
Julio	11.3	21.2	91	4.0	6.2	14.0	2.10
Agosto	11.0	22.4	91	4.0	7.3	17.1	2.58
Septiembre	11.5	23.4	91	4.0	7.9	20.2	3.10
Octubre	12.4	24.7	91	4.0	8.4	22.8	3.62
Noviembre	13.6	26.4	91	4.0	9.1	24.6	4.09
Diciembre	14.8	27.8	91	4.0	9.4	25.4	4.39
Promedio	13.7	25.7	91	4.0	8.1	20.5	3.45

Figura 32. Información climática en Cropwat.

Luego de ello, en el módulo 2 del software se introduce los valores de precipitación mensual, con el fin de obtener la precipitación efectiva, tal como se aprecia en la figura 33.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	3.6	3.6
Febrero	1.8	1.8
Marzo	0.5	0.5
Abril	1.1	1.1
Mayo	1.7	1.7
Junio	2.9	2.9
Julio	3.3	3.3
Agosto	5.1	5.0
Septiembre	7.3	7.2
Octubre	3.0	3.0
Noviembre	2.5	2.5
Diciembre	2.0	2.0
Total	34.8	34.6

Figura 33. Información de precipitación en Cropwat.

Posteriormente en el módulo 3, se entran los valores correspondientes a las características de los cultivos como el coeficiente Kc, etapas de desarrollo, profundidad radicular, agotamiento crítico, factor de rendimiento y altura de cultivos.

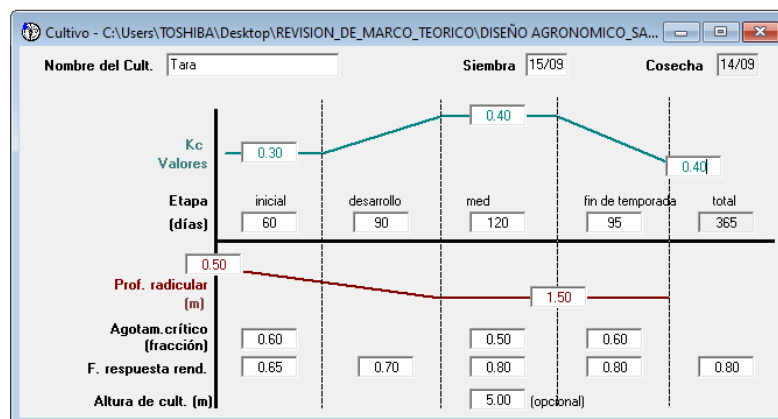


Figura 34. Información de cultivos en Cropwat.

En el módulo 4, se colocarán los parámetros del suelo como: la humedad disponible, tasa de infiltración, profundidad radicular máxima, agotamiento inicial y humedad del suelo inicial. La humedad de suelo disponible (L_a) se calculará así:

$$L_a \left(\frac{mm}{metro} \right) = 1000 \left(\frac{CC_g - PMP_g}{100} \right) \times Da \quad (68)$$

Donde: CC_g =capacidad de campo gravimétrico (%)

PMP_g =punto de marchites permanente gravimétrico (%)

Da = densidad aparente (gr/cm^3)

Entonces: $L_a = 1000 \left(\frac{25-11}{100} \right) \times 1.37 = 191.8 \left(\frac{mm}{metro} \right)$

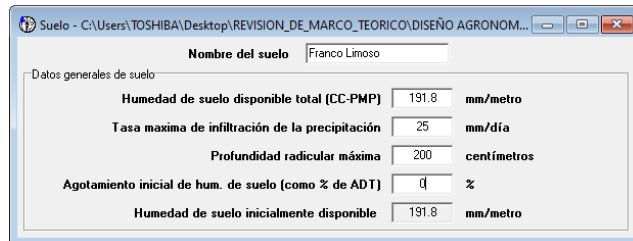


Figura 35. Información del suelo en Cropwat.

En el módulo 5, el software efectuara un balance hídrico hallando los requerimientos de agua de los cultivos expresado en mm/decadarios; en la figura 36 se puede apreciar los requerimientos de agua de los cítricos.

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: Sama Grande Cultivo: Tara

Est. de lluvia: Sama Grande Fecha de siembra: 15/09

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req Riego mm/dec
Sep	2	Inic	0.40	1.25	7.5	1.6	3.7
Sep	3	Inic	0.30	0.98	9.8	2.1	7.7
Oct	1	Inic	0.30	1.03	10.3	1.4	9.0
Oct	2	Inic	0.30	1.08	10.8	0.8	10.0
Oct	3	Inic	0.30	1.13	12.5	0.8	11.6
Nov	1	Inic	0.30	1.18	11.8	0.9	10.9
Nov	2	Des	0.31	1.25	12.5	0.8	11.7
Nov	3	Des	0.33	1.36	13.6	0.8	12.9
Dic	1	Des	0.35	1.48	14.8	0.7	14.1
Dic	2	Des	0.37	1.61	16.1	0.6	15.4
Dic	3	Des	0.39	1.71	18.8	0.8	18.0
Ene	1	Des	0.41	1.81	18.1	1.1	17.0
Ene	2	Des	0.43	1.91	19.1	1.3	17.8
Ene	3	Des	0.45	2.03	22.4	1.1	21.3
Feb	1	Des	0.47	2.15	21.5	0.8	20.7
Feb	2	Med	0.48	2.23	22.3	0.6	21.7
Feb	3	Med	0.48	2.15	17.2	0.5	16.8
Mar	1	Med	0.48	2.08	20.8	0.3	20.5
Mar	2	Med	0.48	2.00	20.0	0.1	19.9
Mar	3	Med	0.48	1.89	20.8	0.2	20.6
Abr	1	Med	0.48	1.78	17.8	0.3	17.5
Abr	2	Med	0.48	1.67	16.7	0.4	16.3
Abr	3	Med	0.48	1.55	15.5	0.4	15.1

Figura 36. Requerimiento de riego en Cropwat.

Al llegar al módulo 6, el software calcula una serie de parámetros de programación de riego por cultivo, de los cuales nos interesa más el caudal necesario por hectárea, cuyo máximo valor multiplicado por el área de cultivo determinaría el caudal más crítico de la temporada para el cultivo analizado (ver figura 37).

Programación de riego de cultivo

ETo estación: Sama Grande Cultivo: Tara Siembra: 15/09 Red. Rend.: 0.0 %

Est. de lluvia: Sama Grande Suelo: Franco Limoso Cosecha: 14/09

Formato de Tabla:
 Program. de riego
 Bal. diario de agua de suelo

Momento: Regar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 90 %

Fecha	Día	Etapa	Precipit. mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám. Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam. Br. mm	Caudal l/s/ha
31 Dic	108	Des	0.0	1.00	100	55	127.4	0.0	0.0	141.6	0.15
14 Mar	181	Med	0.0	1.00	100	50	143.8	0.0	0.0	159.7	0.25
28 Jun	287	Fin	0.0	1.00	100	52	148.0	0.0	0.0	164.5	0.18
14 Sep		Fin	0.0	1.00	0	25					

Uso pot. de agua del cultivo: 524.3 mm Requer. reales de riego: 489.4 mm

Efic. de programación de riego: 100.0 % Efic. de precipitación: 100.0 %

Deficiencia de programación de riego: 0.0 %

Reducción de rendimiento

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	0.65	0.70	0.80	0.80	0.80 %
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. suma del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %

Figura 37. Parámetros de programación de riego en Cropwat.

En el módulo 7, se debe cargar el patrón de cultivo conformado por las plantaciones más preferidas en la comunidad de riego; a cada cultivo se le puede definir la fecha de siembra y el porcentaje de superficie que abarca en el sistema de riego (ver figura 38).

No.	Archivo de cultivo	Nombre del cult.	Siembra fecha	Cosecha fecha	Área %
1.	...RONOMICO_SAMA LAS YARAS\Tara_1.CRO	Tara	15/09	14/09	71
2.	...GRONMICO_SAMA LAS YARAS\Olivo.CRO	Olivo	15/08	11/05	16
3.	...RONOMICO_SAMA LAS YARAS\Citricos.CRO	Citricos	15/07	14/07	5
4.	...OMICO_SAMA LAS YARAS\Aguacate.CRO	Aguacate	15/06	11/03	8
5.			18/07		

Figura 38. Patrón de cultivo en Cropwat.

Finalmente, en el módulo 8 se obtendrá los requerimientos globales del sistema para cada mes del año. Entonces de acuerdo con la figura 39, el caudal ficticio continuo del sistema sería 0.29 l/s.ha correspondiente al mes de febrero, periodo donde se presenta la mayor demanda de agua para el patrón de cultivo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Déficit de Precipitación												
1. Tara	56.2	59.2	60.9	48.9	39.1	29.6	27.1	29.1	21.0	30.6	35.5	47.6
2. Olivo	90.9	93.2	99.1	79.9	24.8	0.0	0.0	20.1	41.9	62.8	76.8	90.0
3. Citricos	104.3	97.2	98.4	79.2	63.6	49.2	36.1	47.1	54.3	75.3	88.2	102.8
4. Aguacate	122.5	107.8	38.7	0.0	0.0	23.0	46.4	62.2	78.3	100.4	110.3	122.6
Req. Netos sistema												
en mm/día	2.2	2.5	2.2	1.7	1.1	0.8	0.8	1.0	1.0	1.4	1.7	2.0
en mm/mes	69.5	70.4	67.1	51.5	34.9	25.3	24.8	31.2	30.6	43.6	50.7	63.1
en l/s/ha	0.26	0.29	0.25	0.20	0.13	0.10	0.09	0.12	0.12	0.16	0.20	0.24
Area Irrigada (% del area total)	100.0	100.0	100.0	92.0	92.0	84.0	84.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Req. de riego area real (l/s/ha)	0.26	0.29	0.25	0.22	0.14	0.12	0.11	0.12	0.12	0.16	0.20	0.24

Figura 39. Requerimientos del sistema en Cropwat.

3.7 DISEÑO HIDRÁULICO

3.7.1 Caudal ficticio continuo por parcelas

La red a implementar beneficiara a 29 usuarios, comprende un área de riego de 235 Has divididos en 29 parcelas que se agrupan en dos ramales bien distinguidos, tal como se aprecia en la tabla 8.

Tabla 8
Distribución de superficie del sector de riego

Ramal	Área Efec. (Has)	Usuarios	Parcelas
1	98.4	12	12
2	136.6	17	17
Total	235	29	29

Para determinar los caudales en parcelas o dotaciones, previamente se debe definir el caudal ficticio continuo. Si se analiza el sistema como un todo el caudal ficticio continuo seria 0.29 l/s.ha, valor computado por Cropwat. Se recomienda en sistemas con cultivos transitorios que pueden ser cambiados anualmente.

Sin embargo, para sistemas con cultivos perennes, convendrá determinar de manera más precisa el caudal ficticio continuo para cada parcela. Para ello se necesitará las demandas máximas diarias de cada cultivo, que se puede obtener por el módulo 6 de Cropwat (ver tabla 9). Cabe mencionar que al trabajar de esta manera se obtendrá la máxima demanda de cada parcela, que cubrirá todos los intervalos de riego que puede coincidir en el día de máxima demanda del mes más desfavorable del año.

Tabla 9*Demandas criticas diarias de los cultivos en l/s.ha*

CULTIVO	qmin	qmax.
Tara	0.15	0.25
Olivo	0.21	0.41
Citricos	0.2	0.44
Aguacate	0.2	0.52

En la tabla 10 se aprecia, una parte de los resultados del caudal ficticio continuo por parcela, para mayores detalles ver anexo H, en donde los resultados son mayores al obtenido por Cropwat ($q=0.29$ l/s.ha) , esto dependerá mucho de los cultivos impuestos y sus respectivas áreas en parcela. El caudal ficticio continuo critico se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$q_{critico\ parcela} = \frac{\sum_i^n A_i \times q_{icritico}}{\sum_i^n A_i} \quad (69)$$

Donde: A_i =áreas del cultivo i en parcela

$q_{icritico}$ = demanda critica de cultivo i

i =tipo de cultivo

Tabla 10*Caudal ficticio continuo critico por parcela en l/s.ha*

PARCELA	AREA TOTAL (Has)	AREA DE CULTIVOS (ha)				AREA EFECT. (ha)	OTROS USOS (ha)	q critico pond. (l/s.ha)
		TARA	OLIVO	CITRICOS	AGUACATE			
101	10	6.0	2.0	0.5	0.0	8.5	1.5	0.30
102	10	6.0	0.0	1.2	1.0	8.2	1.8	0.31
103	10	5.0	1.7	0.5	1.0	8.2	1.8	0.33
104	10	6.0	1.5	1.0	0.0	8.5	1.5	0.30
105	10	4.5	2.8	0.0	0.5	7.8	2.2	0.32
106	10	4.5	2.0	1.0	0.5	8.0	2.0	0.33
107	10	5.5	1.0	1.3	0.5	8.3	1.7	0.32
108	10	5.5	1.5	0.0	1.0	8.0	2.0	0.31
109	10	6.0	2.0	0.5	0.0	8.5	1.5	0.30

3.7.2 Sectores por parcela

Se puede determinar tentativamente el número de sectores para la parcela modelo del sistema de riego, considerando la necesidad bruta del sistema de 0.29 l/s. Ha que equivalen a 2.5 l/m².dia, goteros auto compensante Pc con caudales de 2, 4 y 8 l/h en suelo fino, marco de plantación de 4x6m², JERt propuesto de 5 h y asumiendo un porcentaje de área mojada 33 %.

Tabla 11
Cálculo de N° de sectores en parcela por tipo de gotero

qe (l/h)	Marco (m2)	Dm (m) [Ec. 45]	Am (m2) [Ec. 42]	ne/planta [Ec. 41]	tr (horas) [Ec. 40]	JERt (horas)	Ns [Ec. 48]
2	24	1.4	1.54	6	5	5	1.0
4	24	1.6	2.01	4	4	5	1.3
8.5	24	2.05	3.3	3	2	5	2.5

En la tabla 11 se puede observar que, al aumentar el caudal del gotero, también se incrementa el número de sectores en que puede ser fraccionada la parcela; mediante el cual se puede reducir significativamente el costo de implantación del sistema de riego parcelario. Es preciso señalar que la configuración de goteros propuestos es para la máxima demanda hídrica del cultivo en su etapa final, evidentemente en la etapa inicial se puede reducir el número de goteros y las horas de riego.

Independientemente de lo que se ha calculado, bajo los conceptos del diseño de riego por goteo se puede modificar los parámetros calculados preliminarmente considerando las particularidades de cada parcela. Incluso, se puede determinar la disposición de emisores y laterales, frecuencia de riego, redes de distribución y

características de dispositivos complementarios. Sin embargo, por estar fuera de los objetivos del presente trabajo no se hará mayor indagación al respecto.

3.7.3 Dotaciones normalizadas y número de turnos

Para determinar el número de turnos de la red, comenzaremos definiendo la jornada efectiva de riego del sistema; varios autores recomiendan valores entre 9 a 18 horas/día, se asumirá una JER de 15 horas/día, que se emplearan en su totalidad en los días de máxima demanda, mientras que en los días de menor demanda se podrá reducir la JER convenientemente.

Luego, como primera iteración se calculará la dotación teórica para cada hidrante, que depende de la superficie efectiva de riego, caudal ficticio continuo crítico y el mayor tiempo de riego (t_r) según las propuestas de goteros analizados en la tabla 11, para nuestro caso sería 5 horas para 6 goteros de 2l/h por planta. En la tabla 12 se aprecia el análisis para 9 parcelas.

Tabla 12
Cálculo de dotación teórica - 1° iteración

Usuario	Parcela	S efectiva (Has)	q crítico (l/s.ha)	t_r (horas)	D_{ti} (l/s) [Ec. 49]	D_{Ni} (l/s) [redondeado]	t_{neci} (horas) [Ec. 50]
1	101	8.5	0.3	5	12.24	12	5.1
2	102	8.2	0.31	5	12.2	12	5.1
3	103	8.2	0.33	5	12.99	13	5
4	104	8.5	0.3	5	12.24	12	5.1
5	105	7.8	0.32	5	11.98	12	5
6	106	8	0.33	5	12.67	13	4.9
7	107	8.3	0.32	5	12.75	13	4.9
8	108	8	0.31	5	11.9	12	5
9	109	8.5	0.3	5	12.24	12	5.1

Como segunda iteración se debe verificar que la dotación teórica no sea mayor a 25 l/s ya que complica la administración de la red, de presentarse el caso se puede optar

por fraccionar la parcela e instalar cuantos hidrantes sea necesario. Seguidamente se pasará a homogenizar los $T_{nec\ i}$ variando el tiempo de riego (Tr) según el tipo de gotero elegido, con el fin de ajustarlo a un tiempo promedio; de no ser posible homogenizar el $T_{nec\ i}$ en el peor de los casos se optará por agrupar los hidrantes para turnos de diferentes duraciones. De esa forma finalmente se podrá determinar el número de turnos del sistema, en nuestro caso deberá ser menor o igual a 3 turnos por día, bajo las respectivas dotaciones normalizadas (ver tabla 13).

Tabla 13
Determinación del N° de turnos - 2° iteración

Usuario	Parcela	S efectiva (Has)	q crítico (l/s.ha)	tr - tipo got. (horas)	Dti (l/s) [Ec. 49]	DNi (l/s) [Dti en enteros]	tnec i (horas) [Ec. 50]
1	101	8.5	0.3	4	15.3	15	4.1
2	102	8.2	0.31	4	15.25	15	4.1
3	103	8.2	0.33	5	12.99	13	5
4	104	8.5	0.3	4	15.3	15	4.1
5	105	7.8	0.32	5	11.98	12	5
6	106	8	0.33	4	15.84	16	4
7	107	8.3	0.32	5	12.75	13	4.9
8	108	8	0.31	4	14.88	15	4
9	109	8.5	0.3	4	15.3	15	4.1
10	110	8.4	0.32	5	12.9	13	5
11	111	7.3	0.36	5	12.61	13	4.9
12	112	7.9	0.33	5	12.51	13	4.8
13	113	9.2	0.29	5	12.81	13	4.9
14	114	8.7	0.3	5	12.53	13	4.8
15	115	8.5	0.31	5	12.65	13	4.9
16	116	8.5	0.32	5	13.06	13	5
17	117	8.6	0.31	5	12.8	13	4.9
18	118	7.7	0.35	5	12.94	13	5
JER=T Nec max=							5
JER=							15
N° turnos ≤							3.0

Asimismo, en redes nuevas se sugiere constituir parcelas con áreas menores a 5 Ha y organizar de modo que sea mínima la carga piezométrica en parcela, con el fin de simplificar el diseño y manejo de la red.

3.8 IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS HÍBRIDOS

3.8.1 Parámetros generales de los modelos híbridos

Para iniciar la metodología de optimización se deben definir algunos parámetros del modelo, tal como se aprecia en la tabla 14.

Tabla 14
Parámetros Generales de los modelos híbridos

Parámetros	Valor
Velocidad máx. (m ² /s)	3.0
Velocidad mín. (m ² /s)	0.6
Presión mínima (mca)	25
Densidad fluido (kg/m ³)	997
Viscosidad Cinemática (Pa.s)	0.000001
Rugosidad absoluta (mm)	0.0015
Aceleración gravedad (m/s ²)	9.81
Pérdidas Locales (%L)	10%
Periodo de bombeo (hrs)	5
Días de los meses	30
Eficiencia de bomba (n1)	0.75
Eficiencia del motor (n2)	0.80
Tasa de interés (%)	8.50%
Periodo de diseño (años)	30
Factor anual de consumo energetico	0.75
C.u. de energia en HP (s./Kwh)	0.2550
C.u. de potencia en HP (s./Kw.mes)	70.94
C.u. de energia HFP (s./Kwh)	0.2063
C.u. de potencia HFP (s./Kw.mes)	50.90

Und:Tomasiri/Tarifa MT3

En vista que ya se tienen los datos topográficos, topológicos, parámetros hidráulicos y consumos de la red se puede realizar los modelos híbridos en MS Excel.

3.8.2 Metodología del primer modelo híbrido considerando única altura de bombeo (HB) para múltiples estados de carga

Para obtener la solución óptima en este primer modelo donde se tiene como variables al turno de funcionamiento de cada hidrante, longitudes parciales de los diámetros de tuberías y una única altura de bombeo, se implementará un método híbrido que integra la programación lineal y algoritmos genéticos, cuyo proceso se resume en el siguiente diagrama de flujo:

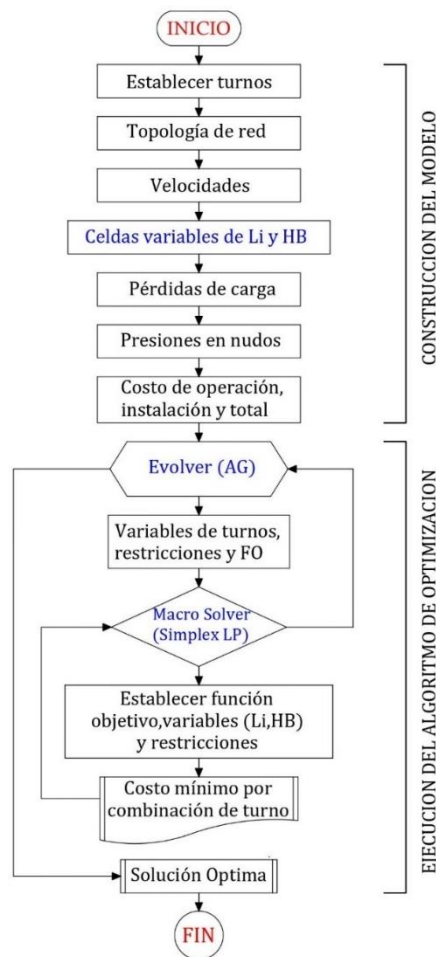


Figura 41. Flujograma del modelo híbrido considerando única HB.

A continuación, se detallará cada paso de la metodología en base al sistema de riego estudiado:

- 1) Definir datos de nudos de consumo como: dotaciones de riego, ubicación de hidrantes, número de turnos de riego y área cubierta. Tal como se aprecia en la tabla 15 para los 9 primeros hidrantes.

Tabla 15
Dotaciones y Celdas Variables de turno

NH	Nudo	Hidrante	Variable Turno	Area (ha)	Q (l/s)
1	5	1	1	8.5	15
2	6	1	2	7.8	12
3	7	1	3	8.0	16
4	8	1	1	8.3	13
5	10	1	2	7.3	13
6	11	1	3	7.9	13
7	12	1	1	9.2	13
8	13	1	2	8.7	13
9	15	1	3	7.7	13

- 2) Adicionalmente se debe construir un cuadro donde cada columna agrupe a los caudales de los hidrantes abiertos del turno y cuyas celdas deben estar vinculadas a cada celda variable de turno.

Tabla 16
Caudales de consumo por turno

CAUDALES TOTALES	QTT1	QTT2	QTT3	SQT
	133	129	114	

NH	NUDO	QT1	QT2	QT3
1	5	15	0	0
2	6	0	12	0
3	7	0	0	16
4	8	13	0	0

- 3) Construcción de la topología de la red colectiva de riego mediante un cuadro por turno considerando las cotas, longitudes y caudales de circulación para cada

línea/nudo, los cuales estarán vinculados a los caudales de consumo de la tabla 16.

Tabla 17
Topología de la red hasta el nudo 4, turno 1

TURNO 1			
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	Q_T1 (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.30	133
Nudo 1	487.39	44.10	133
Nudo 2	485.93	57.60	133
Nudo 3	486.02	7.00	75
Nudo 4	485.32	27.80	75

4) Cálculo de velocidades para cada diámetro mediante la ecuación de la continuidad y selección de los diámetros candidatos dentro del rango de velocidad mínima de 0.6 m/s² y velocidad máxima de 3.0 m/s², velocidades límites que evitan sedimentación, erosión, pérdidas de cargas excesivas y posibles fallas en la red. En algunos casos se puede tener una gama de diámetros candidatos, sin embargo, se recomienda elegir con criterio de 3 a 4 alternativas de diámetros por línea, los que son más que suficientes para obtener buenos resultados.

Tabla 18
Velocidades de la red inicial hasta el nudo 9, turno 1

TURNO 1				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500	630
				57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0
RESERVORIO	487.39																
BOMBA	487.39	15.30	133	52.1	36.8	25.6	17.1	10.6	8.1	5.2	3.3	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.5
Nudo 1	487.39	44.10	133	52.1	36.8	25.6	17.1	10.6	8.1	5.2	3.3	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.5
Nudo 2	485.93	57.60	133	52.1	36.8	25.6	17.1	10.6	8.1	5.2	3.3	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.5
Nudo 3	486.02	7.00	75	29.4	20.8	14.4	9.7	6.0	4.6	2.9	1.9	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3
Nudo 4	485.32	27.80	75	29.4	20.8	14.4	9.7	6.0	4.6	2.9	1.9	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3
Nudo 5	485.37	120.20	28	11.0	7.8	5.4	3.6	2.2	1.7	1.1	0.7	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
Nudo 6	483.40	206.90	13	5.1	3.6	2.5	1.7	1.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Nudo 7	484.19	189.10	13	5.1	3.6	2.5	1.7	1.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Nudo 8	483.93	187.60	13	5.1	3.6	2.5	1.7	1.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Nudo 9	469.19	520.60	47	18.4	13.0	9.0	6.1	3.7	2.9	1.8	1.2	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2

5) También se debe construir cuadros por cada turno para calcular los valores de la pendiente hidráulica, los cuales se obtuvieron mediante las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Swamee y Jain.

Tabla 19

Pendiente hidráulica de la red inicial hasta el nudo 9, turno 1

TURNO 1				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500	630
RESERVORIO	487.39			57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0
BOMBA	487.39	15.30	133	26.31	11.09	4.48	1.68	0.51	0.27	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 1	487.39	44.10	133	26.31	11.09	4.48	1.68	0.51	0.27	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 2	485.93	57.60	133	26.31	11.09	4.48	1.68	0.51	0.27	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 3	486.02	7.00	75	8.86	3.76	1.53	0.58	0.18	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 4	485.32	27.80	75	8.86	3.76	1.53	0.58	0.18	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 5	485.37	120.20	28	1.40	0.60	0.25	0.09	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 6	483.40	206.90	13	0.34	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 7	484.19	189.10	13	0.34	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 8	483.93	187.60	13	0.34	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 9	469.19	520.60	47	3.68	1.57	0.64	0.24	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

6) Determinación de celdas variables de longitudes parciales y altura de bombeo fija para todos los turnos. Por cuestiones prácticas las variables se agruparon en un cuadro en la parte inicial vinculadas a las celdas de este cuadro, ya que Solver no permite usar demasiados rangos de variables.

Tabla 20

Definición de celdas ajustables de Li y HB

Variable Longitudes Parciales			DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													Longitud Total	
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500		630
RESERVORIO	487.39		57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
BOMBA	487.39	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3
Nudo 1	487.39	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1
Nudo 2	485.93	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
Nudo 3	486.02	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 4	485.32	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 5	485.37	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 6	483.40	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 7	484.19	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 8	483.93	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 9	469.19	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6

Variable Alturas de Bombeo	
ALTURA	HB
BOMBEO	0.00

Tabla 21

Valores de Li y HB luego del proceso de optimización

Variable Longitudes Parciales			DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													Longitud Total	
LINEA/NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500		630
RESERVORIO	487.39		57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
BOMBA	487.39	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3
Nudo 1	487.39	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1
Nudo 2	485.93	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
Nudo 3	486.02	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 4	485.32	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 5	485.37	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 6	483.40	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	104.5	102.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 7	484.19	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 8	483.93	187.6	0.0	0.0	0.0	15.7	171.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 9	469.19	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.2	285.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6

Variable Alturas de Bombeo	
ALTURA BOMBEO	HB
	26.85

7) Cálculo de las pérdidas de carga por línea que resultan del producto de la pendiente hidráulica y su respectiva longitud parcial. Las pérdidas de carga locales se tomaron como un 10% de las perdidas por fricción.

Tabla 22

Perdidas de carga de la solución óptima del turno 1

TURNO 1				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													
LINEA/NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500	630
RESERVORIO	487.39																
BOMBA	487.39	15.3	144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 3	486.02	7.0	73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 4	485.32	27.8	73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 5	485.37	120.2	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 6	483.40	206.9	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 7	484.19	189.1	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 8	483.93	187.6	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nudo 9	469.19	520.6	60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

8) Verificación de presión mínima en los nudos de consumo o tomas de riego a través de la ecuación de energía.

Tabla 23*Verificación de presiones de solución óptima del turno 1*

TURNO 1.00										
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	144	0.19	0.19	25	75	26.85	514.04	26.65
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.56	0.75	25	75	26.85	513.48	26.09
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.73	1.48	25	75	26.85	512.76	26.83
Nudo 3	486.02	7.0	73	0.03	1.51	25	75	26.85	512.73	26.71
Nudo 4	485.32	27.8	73	0.31	1.82	25	75	26.85	512.42	27.10
Nudo 5	485.37	120.2	13	0.51	2.33	25	75	26.85	511.91	26.54
Nudo 6	483.40	206.9	13	1.30	3.63	25	75	26.85	510.61	27.21
Nudo 7	484.19	189.1	13	0.80	4.43	25	75	26.85	509.81	25.62
Nudo 8	483.93	187.6	13	0.88	5.31	25	75	26.85	508.93	25.00
Nudo 9	469.19	520.6	60	7.71	9.52	25	75	26.85	504.71	35.52

9) Cálculo de los costos de operación, conformado por el costo de energía y costo de potencia, que dependerán fundamentalmente de la HB, el caudal bombeado en cada turno, tiempo de riego y la tarifa eléctrica. Para nuestro caso se ha elegido la tarifa eléctrica MT3 (ver anexo I), publicada en la página web de la Empresa Electrosur (2019).

Tabla 24*Costos de operación del diseño óptimo*

TURNO 1				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	144	63.02	5.00	315.08

TURNO 2				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	144	63.02	5.00	315.08

TURNO 3				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	88	38.51	3.00	115.53
26.85	88	38.51	2.00	77.02

Max. Pot. FHP=	63.02	Energía FHP=	745.69
MAX. Pot. HP=	38.51	Energía HP=	77.02
Costo/mes=	5939.40	Costo /mes=	5204.28
factor energ. anual=	0.75	factor anual=	0.75
Costo de Potencia Anual=	53454.64	Energ. Anual=	46838.49

10) Cálculo de los costos de instalación que resulta de la sumatoria del producto de las longitudes parciales por sus respectivos costos unitarios; el costo total de

instalación al ser afectado por el factor de amortización se obtendrá el costo de instalación anual amortizado.

Tabla 25
Costos de instalación del diseño óptimo

Datos Topológicos			DIÁMETROS DE TUBERÍAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)														SUB TOTAL	
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD D (m)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500	630		
RESERVORIO			57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	2619.08	
BOMBA	15.3	15.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7549.11
Nudo 1	44.1	44.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9860.06
Nudo 2	57.6	57.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88
Nudo 3	7.0	7.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05
Nudo 4	27.8	27.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45
Nudo 5	120.2	120.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10552.44
Nudo 6	206.9	206.9	0.00	0.00	0.00	0.00	4760.42	5792.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10698.55
Nudo 7	189.1	189.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10698.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9726.93
Nudo 8	187.6	187.6	0.00	0.00	0.00	0.00	713.84	9726.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19155.92
Nudo 9	520.6	520.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19155.92	33515.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33515.20

Costo Total=	435977.03
Factor de amortización=	0.09
Costo Anual Amortizado=	40567.91

En este estudio se ha considerado los precios unitarios de los diámetros de tuberías Nicoll (ver anexo J), comercializados por el Grupo Empresarial Aliaxis (2018). Sin embargo, para que los resultados puedan ser contrastados con otras metodologías, a los costos unitarios de la tabla 26 se ha aplicado regresión potencial y mínimos cuadrados, logrando estimar la ecuación curvilínea $C=0.0169x(Di)^{1.6317}$, en donde el costo unitario de tubería (C) está en soles/ml y el diámetro interior (Di) en mm. En ese sentido, el costo de tubería por metro lineal se obtendrá a través de la ecuación potencial estimada que está en función del diámetro interior, esto con el fin de simular las condiciones reales de la red.

Tabla 26
Costo unitario de tuberías Nicoll

Dn (mm)	Di (mm)	C.u. (S./ml)
63	57.0	15.16
75	67.8	19.15
90	81.4	21.19
110	99.4	23.02
140	126.6	42.13
160	144.6	54.78
200	180.8	77.62
250	226.2	117.20
315	285.0	169.59
355	321.2	210.08
400	361.8	256.01
450	407.0	318.98
500	452.2	378.53
630	570.0	559.05

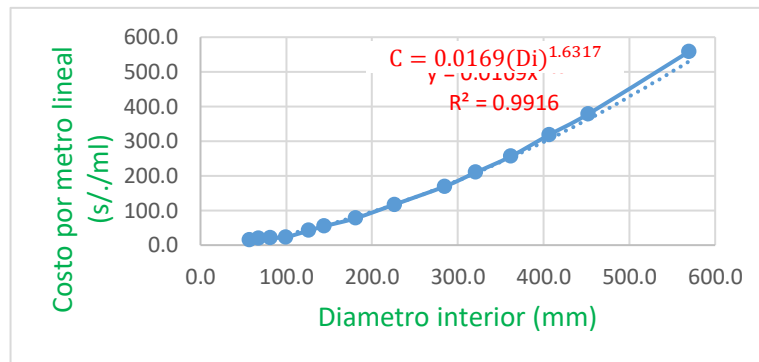


Figura 42. Estimación del costo unitario de tuberías por coeficientes.

- 11) Finalmente, para terminar de construir el modelo se define la función objetivo que resulta de la suma del costo de operación y el costo de instalación amortizado.

Tabla 27
Definición de la función objetivo

Costo de potencia=	53454.64
Costo de energía=	46838.49
Costo de operación anual=	100293.13
Costo amortizado de instalación=	40567.91
Función Objetivo=	140861.05

12) Para iniciar el proceso de optimización se crea una Macro con la aplicación Solver que se encargara de buscar el diseño óptimo a nivel de cada configuración de turno; para ello se codifica la función objetivo a minimizar, las variables de longitudes parciales y altura de bombeo, las restricciones geométricas y presión mínima, y ajustes opcionales del motor de cálculo. Dado que el problema a nivel de cada combinación de turno es de tipo lineal, se utilizará un método de programación lineal como es el motor de cálculo Simplex.

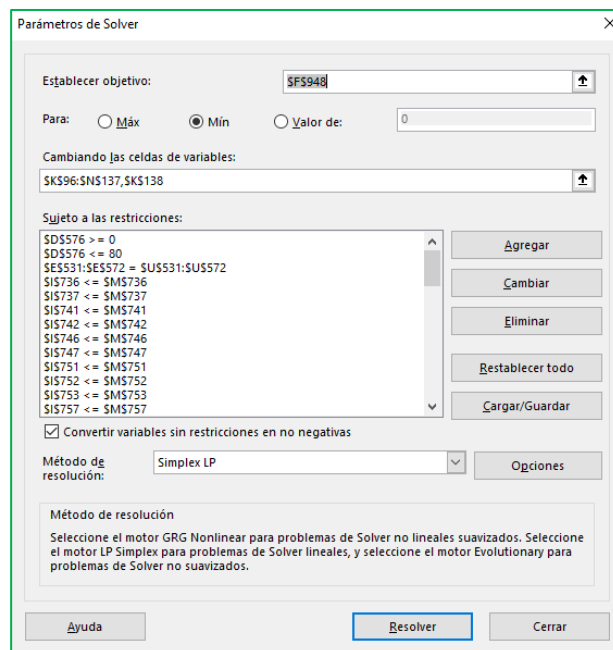


Figura 43. Configuración de los parámetros de Solver.

13) Para terminar el proceso de optimización se configura la aplicación Evolver; definiendo la celda objetivo, el método de solución (receta), las variables de turnos, restricciones del número de turnos (1 a 3) y anexando la Macro de

Solver a dicha aplicación, con el fin de obtener la mejor combinación de hidrantes y el diseño de red más económico.

Cabe mencionar que en cualquier algoritmo genético la calidad de los resultados va depender en gran medida de los valores iniciales asumidos y sus parámetros genéticos, por esta razón se recomienda distribuir los turnos de los hidrantes por toda la red y realizar unas 5 pruebas con distintas configuraciones de turnos. Así mismo se recomienda en la medida que sea posible delimitar las variables para encontrar buenas soluciones en un periodo de tiempo razonable.

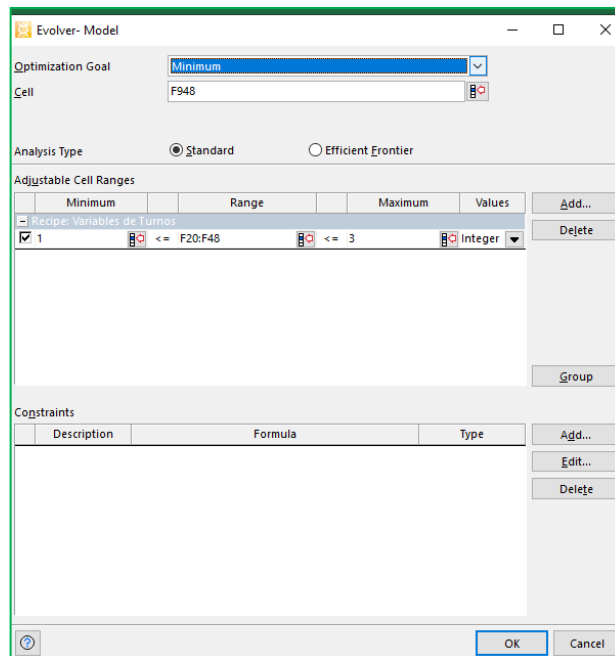


Figura 44. Definición de los parámetros de Evolver.

Ocasionalmente es difícil saber cuánto tiempo dejar que Evolver se ejecute para acercarse a la solución óptima, ante ello Evolver ofrece 5 opciones para detenerse y opcionalmente durante la ejecución se puede pausar y detener la optimización.

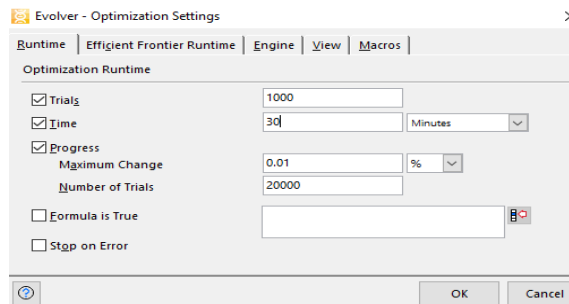


Figura 45. Ajustes del tiempo de optimización en Evolver.

Además, Evolver permite configurar los parámetros de AG, para este caso se ha considerado un tamaño de población de 100, tasa de cruce de 60% y tasa de mutación automática que permite a Evolver asignar la mejor tasa de mutación y aumentarla cuando un organismo no cambia en un número prolongado de iteraciones.

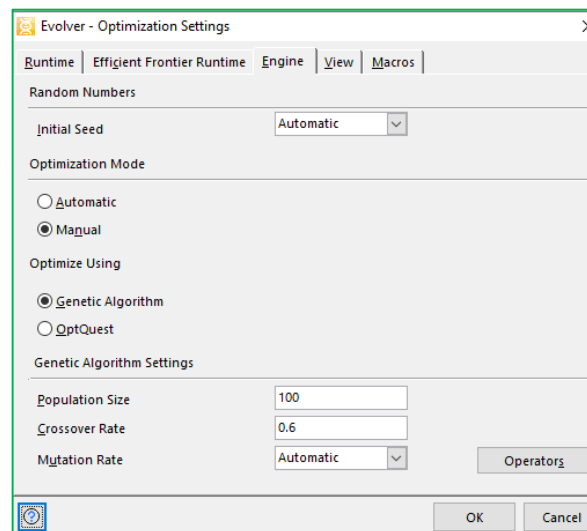


Figura 46. Ajustes del motor de cálculo AG en Evolver.

Así mismo Evolver permite anexar la macro de Excel que se ejecutara después del recalcu de cada prueba y al final de la optimización.

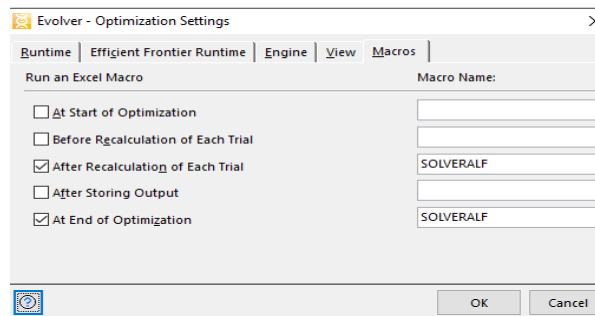


Figura 47. Ajustes para ejecutar Macros de Excel en Evolver.

Es muy importante que al finalizar el proceso de optimización se verifique que las velocidades estén dentro del rango límite, en caso estén fuera de los límites se deberán reajustar las celdas variables de las Li correspondientes y volver a ejecutar el algoritmo de optimización.

Los resultados completos del modelo de única HB y el código de la Macro creada se adjuntarán en el anexo K y L respectivamente.

- 14) Simulación de la red resultante a través de software Epanet 2.0, para corroborar la calidad de los resultados obtenidos mediante el modelo híbrido implementado y asimismo verificar el funcionamiento de la red resultante en cada turno, analizando sus caudales de línea, velocidades y presiones en nudos. A continuación, se muestran gráficos del comportamiento de la red resultante para los distintos escenarios de turnos.

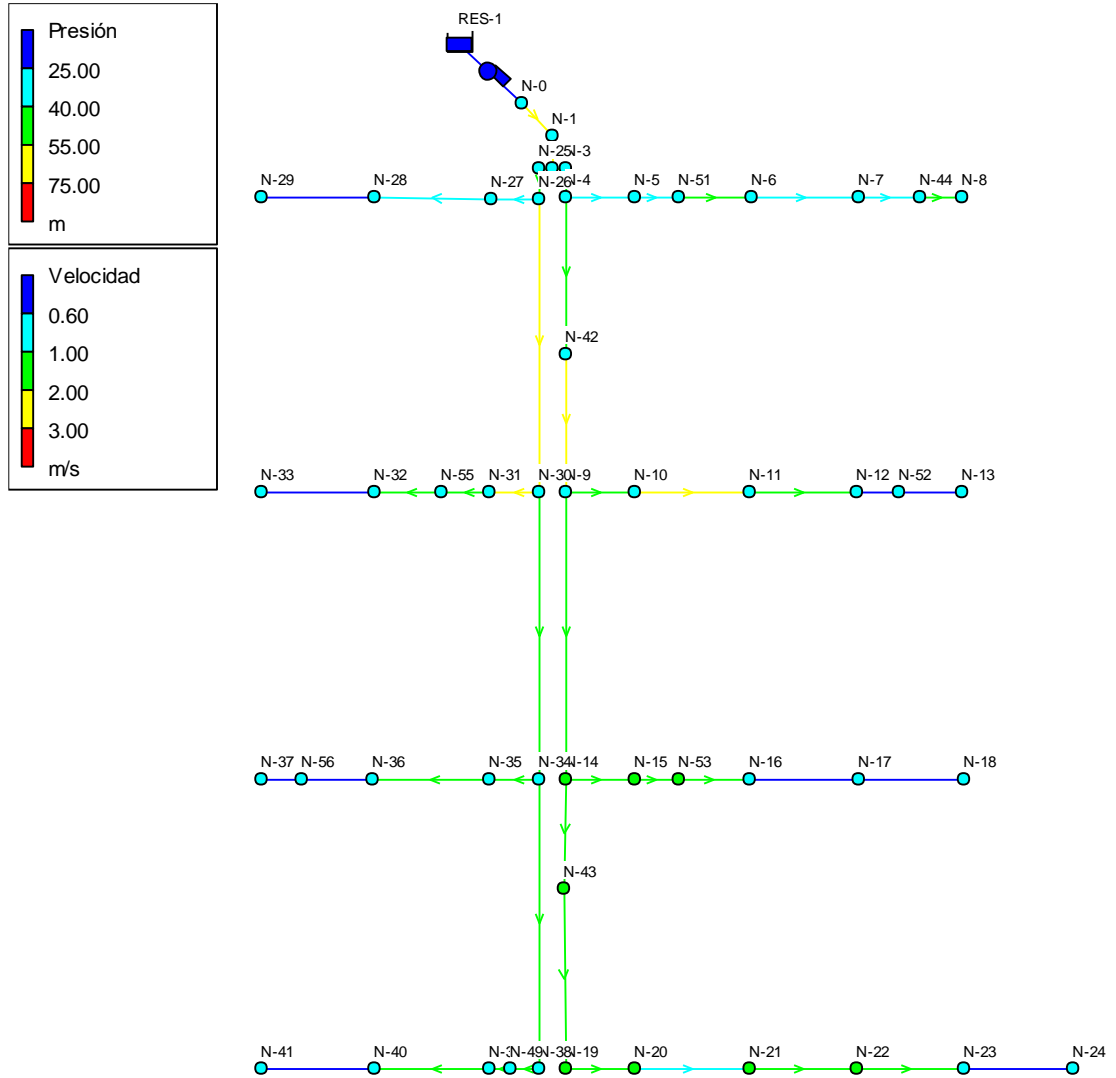


Figura 48. Presiones y velocidades en turno 1 del modelo de única HB.

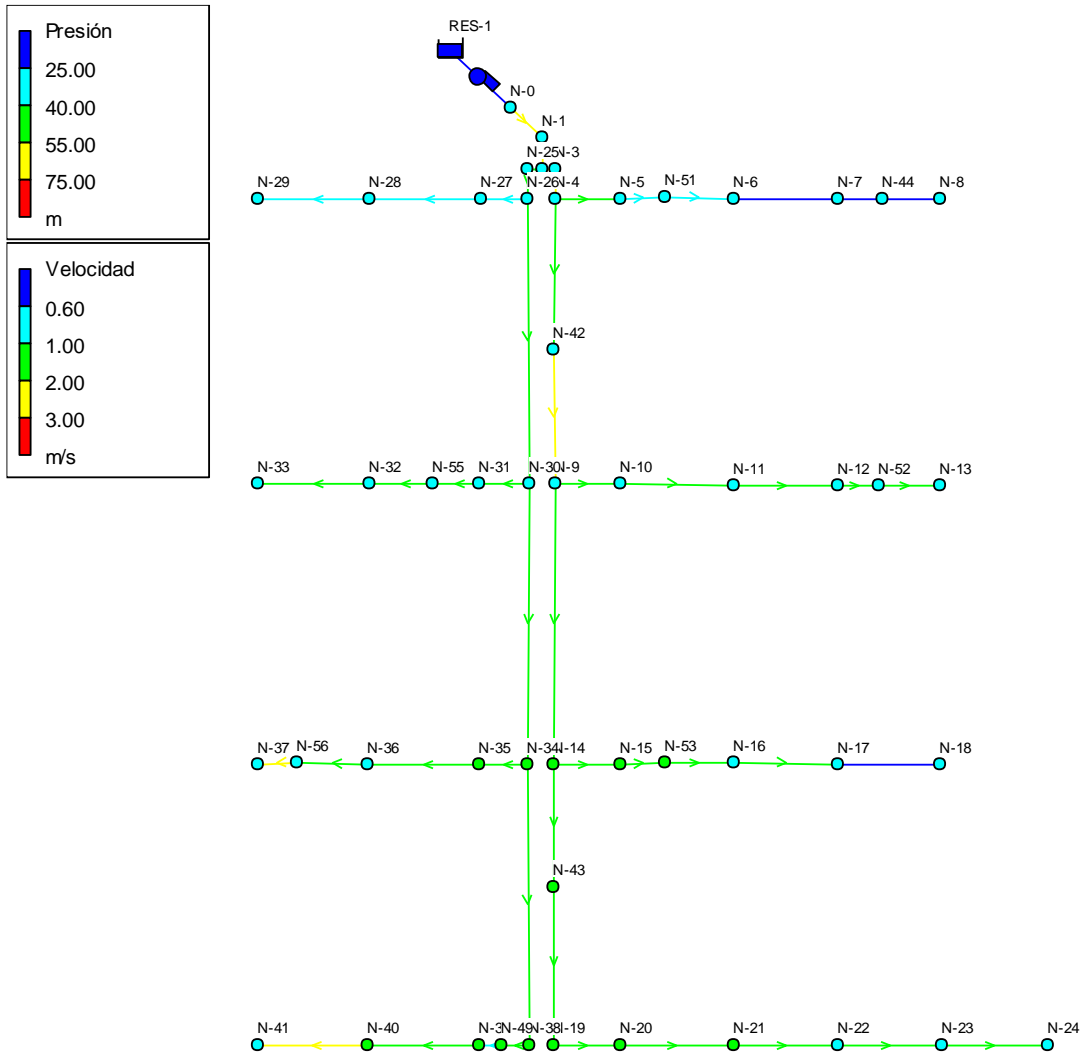


Figura 49. Presiones y velocidades en turno 2 del modelo única HB.

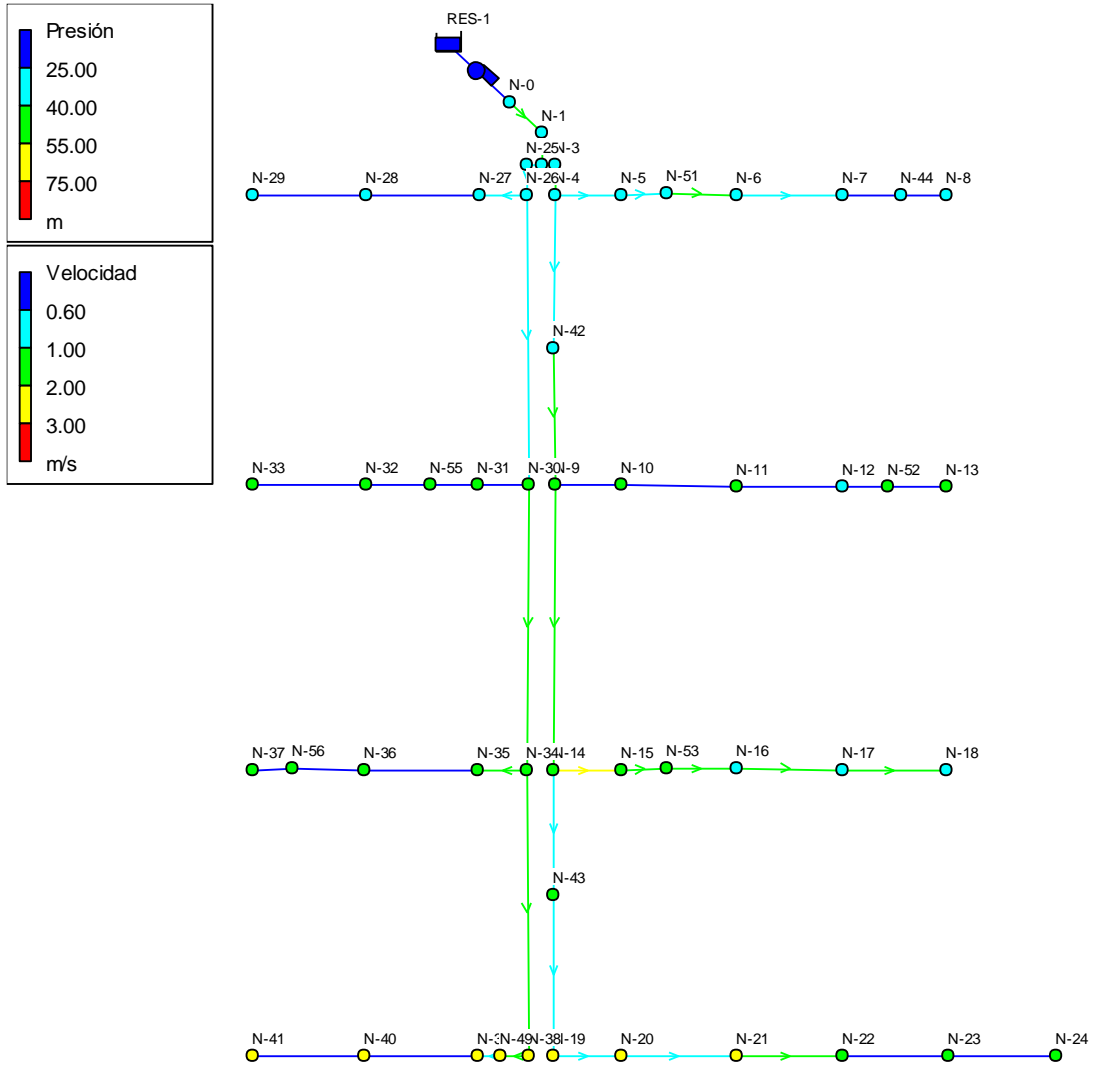


Figura 50. Presiones y velocidades en turno 3 del modelo única HB.

3.8.3 Metodología del segundo modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo (HB) para múltiples estados de carga

Para obtener la solución óptima en este segundo modelo donde se tiene como variables al turno de funcionamiento de cada hidrante, las longitudes parciales y las alturas de bombeo de cada turno, se implementará un método híbrido que integra la programación no lineal, programación lineal y algoritmos genéticos, cuyo proceso se resume en el siguiente diagrama de flujo:

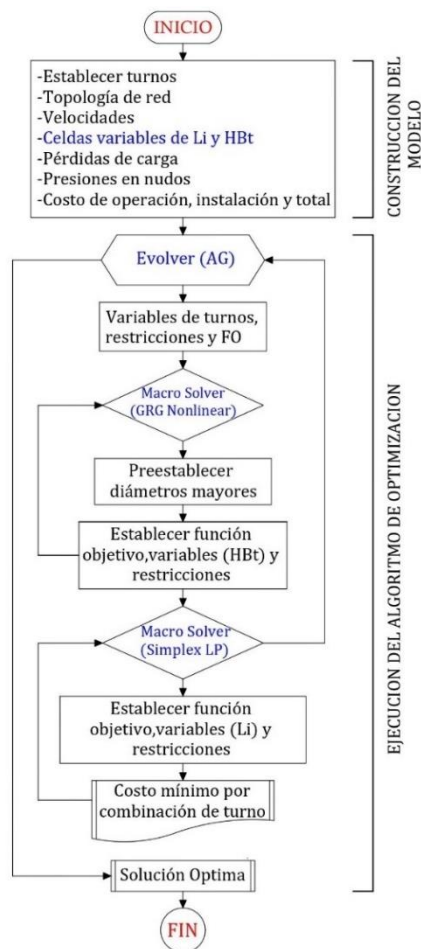


Figura 51. Flujograma del modelo híbrido considerando diferentes HB.

A continuación, se detallará cada paso de la metodología en base al sistema tratado:

- 1) Como se puede observar en el diagrama de flujo el modelo de diferentes HB a es similar al modelo de única HB, con la diferencia de que se considerará alturas de bombeo por cada turno (HBt) en nuestro caso corresponderá 3 alturas de bombeo, las mismas que deben ser vinculadas a los cuadros de presiones y costos. Por ende, no se hará mayor incidencia respecto a la construcción del modelo.

Tabla 28

Definición de celdas ajustables de Li y HBt en modelo 2

Variable Longitudes Parciales			DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)												Longitud Total		
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450		500	630
RESERVORIO	487.39		57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
BOMBA	487.39	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3
Nudo 1	487.39	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1
Nudo 2	485.93	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
Nudo 3	486.02	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 4	485.32	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 5	485.37	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 6	483.40	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 7	484.19	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 8	483.93	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 9	469.19	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6

Variable Alturas de Bombeo			
ALTURA BOMBEO	HB	HB_T2	HB_T3
	0.00	0.00	0.00

Tabla 29

Valores de Li y HBt luego del proceso de optimización en modelo 2

Variable Longitudes Parciales			DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)												Longitud Total		
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450		500	630
RESERVORIO	487.39		57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
BOMBA	487.39	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3
Nudo 1	487.39	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1
Nudo 2	485.93	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
Nudo 3	486.02	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 4	485.32	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 5	485.37	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 6	483.40	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 7	484.19	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 8	483.93	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	184.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 9	469.19	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6

Variable Alturas de Bombeo			
ALTURA BOMBEO	HB	HB_T2	HB_T3
	26.18	26.85	25.65

- 2) Para iniciar el proceso de optimización será necesario crear 2 Macros con la aplicación Solver:
- a) Macro de Programación no lineal: permite determinar las alturas de bombeo de cada turno que minimicen el Costo de Operación, para ello se usara el motor GRG.
 - b) Macro de programación lineal: permite determinar las longitudes parciales de cada línea que minimicen el Costo de Instalación, para ello se empleara el motor Simplex.

Dado que el problema a nivel de cada combinación de turno es de tipo no convexo, se resolverá en dos fases empleando el motor de cálculo GRG y Simplex implementadas en las respectivas Macros creadas. La integración de ambas macros permitirá obtener el diseño óptimo a nivel de cada combinación de turnos; para ello se define la función objetivo a minimizar, las variables de longitudes parciales y las alturas de bombeo (HBt), las restricciones geométricas y de presión mínima, y configuraciones opcionales del motor de cálculo.

Usualmente en la optimización de RDA con sistema de bombeo se prioriza minimizar el costo de operación, por ende, en la macro de programación no lineal se ha incorporado un código que preestablece los diámetros mayores antes de que se aplique el motor GRG con el fin de obtener las HBt optimas en el menor tiempo posible. Dicha macro se aplicará al inicio de cada iteración realizada por Evolver.

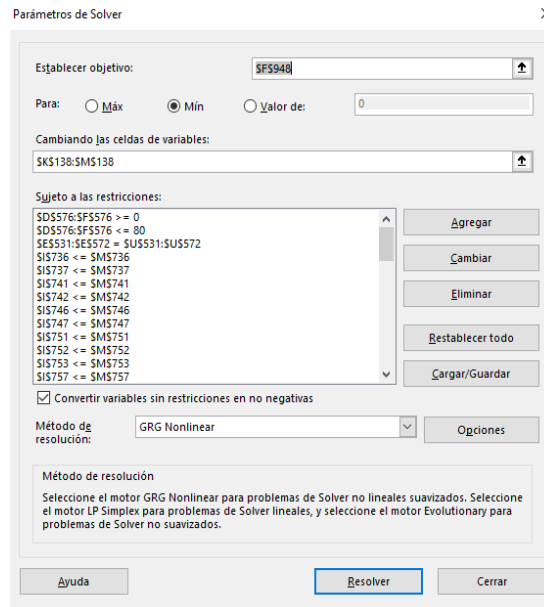


Figura 52. Configuración del método no lineal en Solver para modelo 2.

Al hallar las alturas de bombeo óptimas de cada turno y asumirlas, el problema se convierte en lineal que puede ser resuelto con una macro que incluya el motor Simplex. Dicha macro se ejecutará después de cada iteración de Evolver.

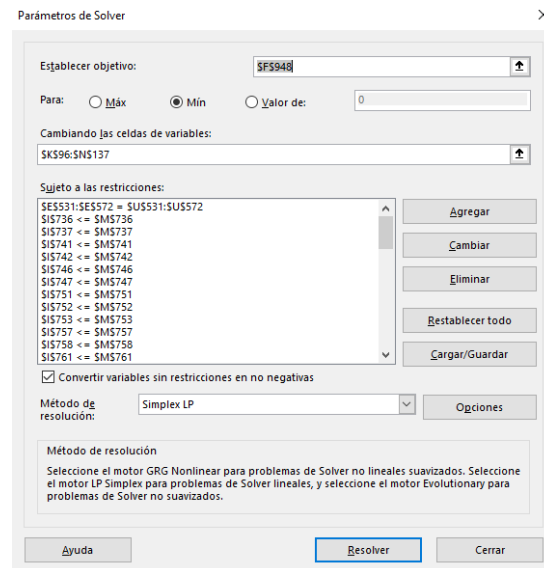


Figura 53. Configuración del método lineal en Solver para modelo 2.

Durante el desarrollo del proceso de optimización se ha observado que Solver considera al problema propuesto de tipo no suavizado, debido a que se está utilizando funciones de IF y MAX en MS Excel; a pesar de ello Solver tiene un algoritmo especial que le permite transformar automáticamente el problema no liso (NSP) a problema lineal de integración mixta (LP/MIP) que puede ser resuelto por el motor de cálculo Simplex o GRG.

- 3) Para terminar el proceso de optimización se configura la aplicación Evolver; definiendo la celda objetivo, el método de solución (receta), las variables de turnos, restricciones de numero de turnos (1 a 3) y anexando las dos Macro de Solver a dicha aplicación, con el fin de obtener la mejor combinación de hidrantes y el diseño de red más económico.

Respecto a las configuraciones en Evolver para este modelo de diferentes HB se puede mantener las mismas configuraciones del modelo de única HB, con la diferencia que se debe anexar las 2 macros creadas, de tal modo que la Macro de Programación No Lineal se ejecute al inicio del proceso de optimización y antes de cada prueba, mientras que la Macro de Programación Lineal se debe ejecutar después de cada prueba de Evolver y al final del proceso de optimización.

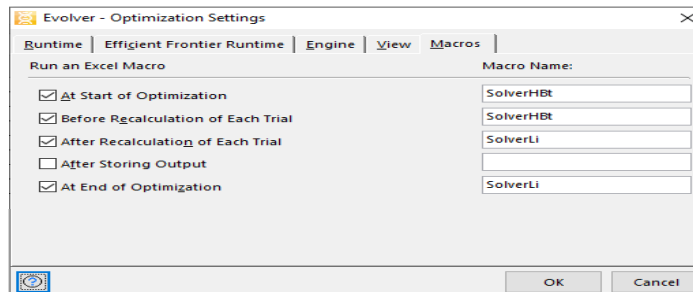


Figura 54. Configuración de macros en Evolver para modelo 2.

Los resultados completos del modelo de diferentes HB y el código de la Macros creadas se adjuntarán en el anexo M y N respectivamente.

Tabla 30

Costos de la Solución Óptima obtenido por modelo 2

Costo de potencia=	52334.56
Costo de energía=	45871.39
Costo de operación anual=	98205.94
Costo amortizado de instalación=	40665.86
Funcion Objetivo=	138871.80

- 4) Simulación de la red resultante a través de software Epanet 2.0, para corroborar la calidad de los resultados obtenidos por el método híbrido implementado y asimismo verificar el funcionamiento de la red resultante en cada turno, analizando sus caudales de línea, velocidades y presiones en nudos. A continuación, se muestran gráficos del comportamiento de la red resultante para los distintos escenarios de turnos.

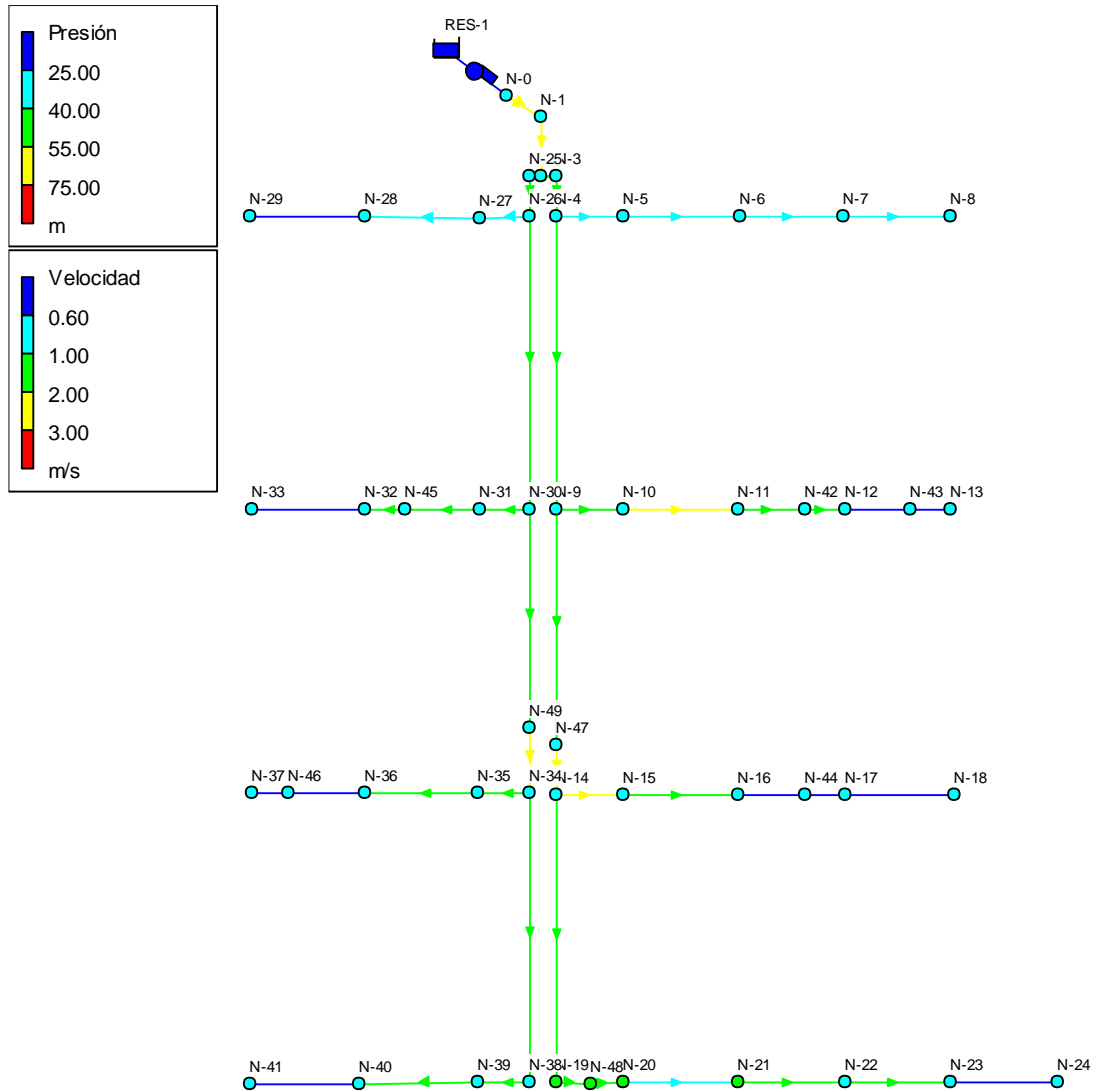


Figura 55. Presiones y velocidades en turno 1 del modelo de diferentes HB.

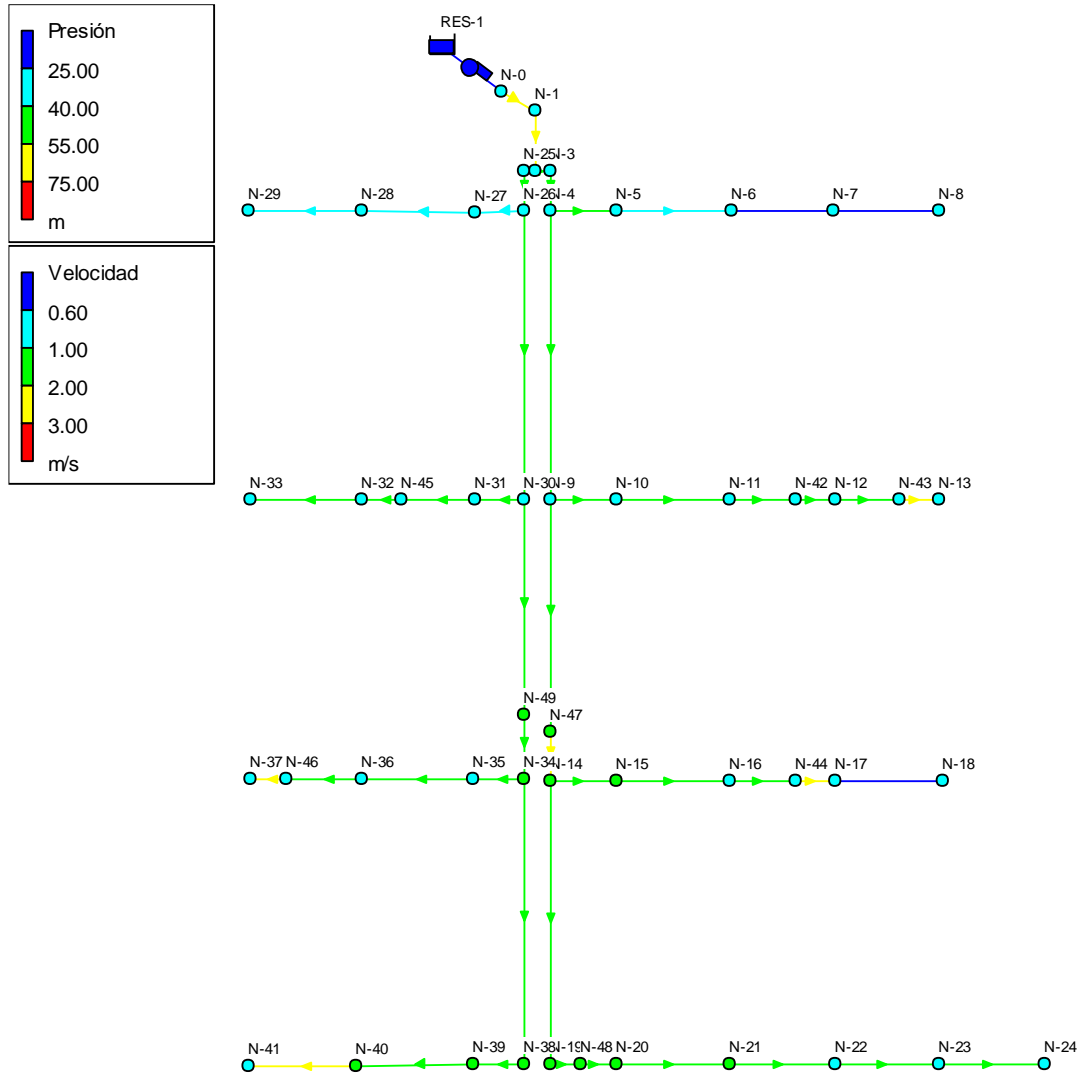


Figura 56. Presiones y velocidades en turno 2 del modelo de diferentes HB.

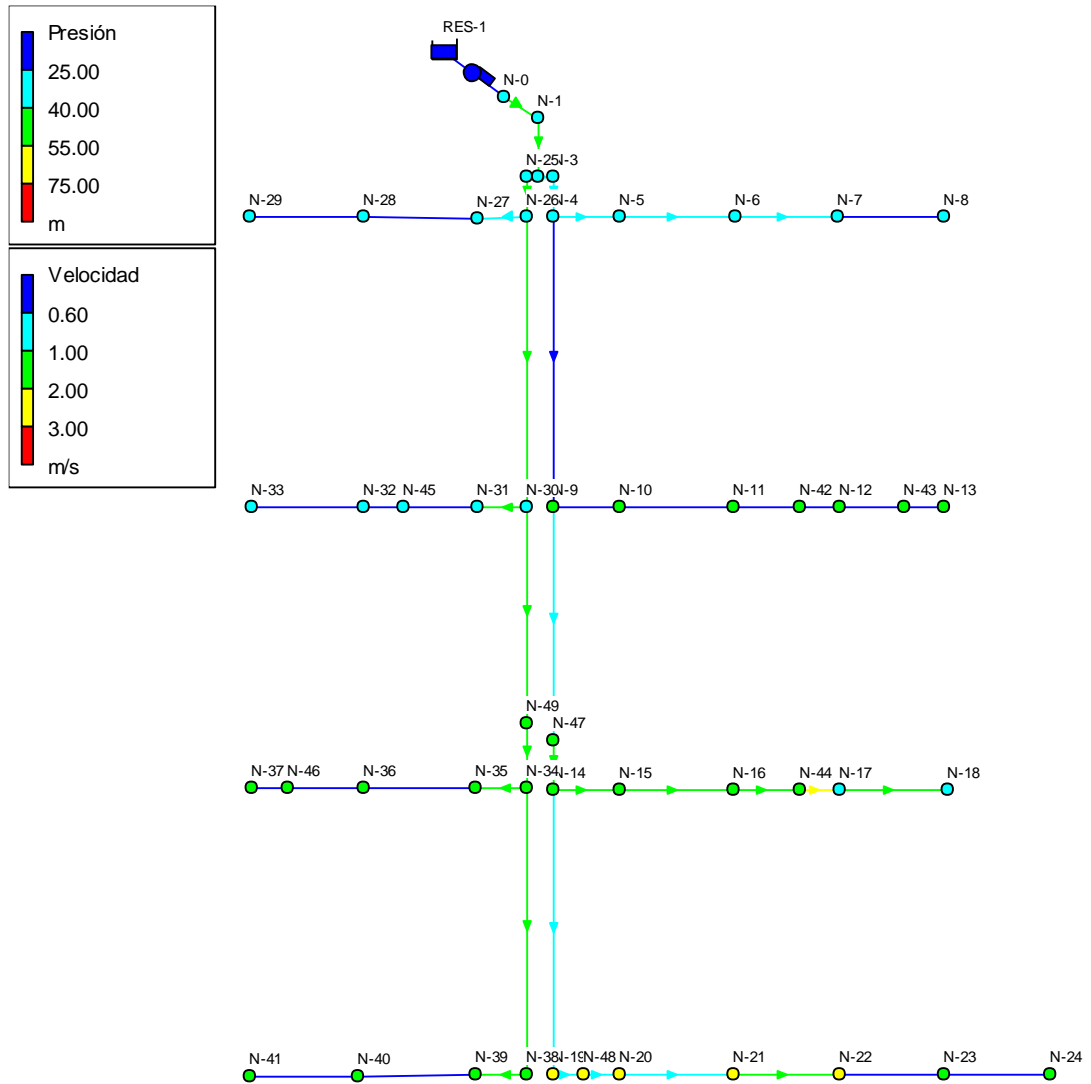


Figura 57. Presiones y velocidades en turno 3 del modelo de diferentes HB.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS HIDRÁULICOS

4.1.1 Verificación de resultados del modelo de única HB

Para verificar la precisión de los resultados del diseño óptimo conseguido por el modelo de única HB, se ha simulado la red resultante mediante Epanet, cuyos resultados se muestran en los siguientes gráficos de velocidades y presiones.

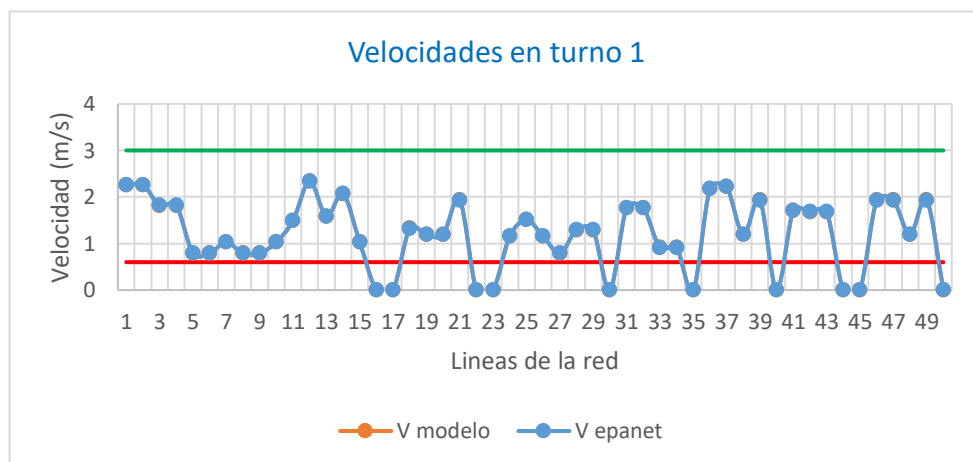


Figura 58. Verificación de velocidades, modelo de única HB.

En la figura 58, se puede observar que las curvas de velocidades calculadas tanto por el modelo híbrido como por Epanet se superponen, lo que implica que las velocidades son idénticas, esto debido a que ambos casos la velocidad es determinada por la ecuación de la continuidad. Las velocidades se encuentran dentro del rango límite de 0.6 a 3 m/s, aunque en algunas líneas la velocidad será nula dado que no existe circulación de caudales para el turno analizado.

Para efectos de comparar las presiones en iguales condiciones; en el siguiente grafico se muestran las presiones calculadas por el modelo híbrido sin considerar las perdidas locales, ya que Epanet no permite considerar las perdidas locales como un porcentaje de las pérdidas de carga por fricción.

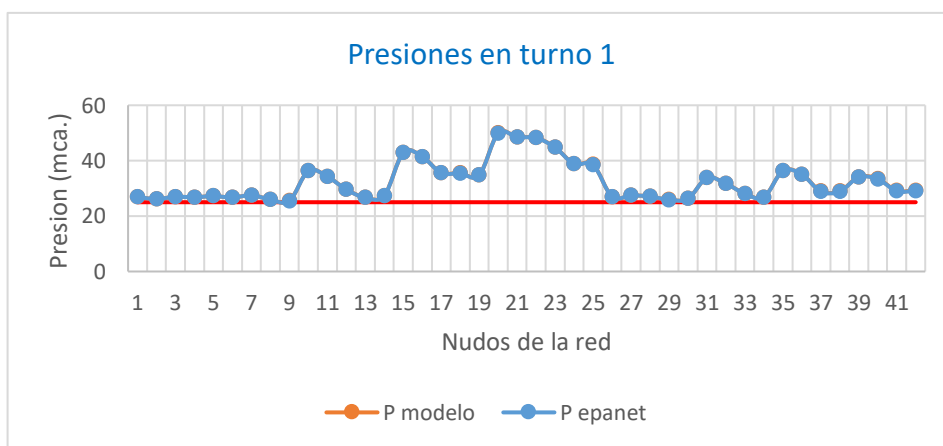


Figura 59. Verificación de presiones, modelo de única HB.

Por otro lado, en la figura 59 se aprecia que las presiones calculadas por el modelo híbrido varían ligeramente respecto a las presiones determinadas por Epanet, pero en ambos casos se cumple con la presión mínima de 25 mca; la variación máxima

que se ha presentado ha sido de 0.15 mca, cuyos efectos no trascienden en el funcionamiento de la red.

Dado que no hay variaciones significativas entre los resultados determinados por Epanet y el modelo implementado, además de cumplir con los límites permitidos podemos decir que los resultados son aceptables.

4.1.2 Verificación de resultados del modelo de diferentes HB

De igual manera para verificar la precisión de los resultados del diseño óptimo conseguido por el segundo modelo, se ha simulado la red resultante mediante Epanet, cuyos resultados se aprecian en los siguientes gráficos de velocidades y presiones.

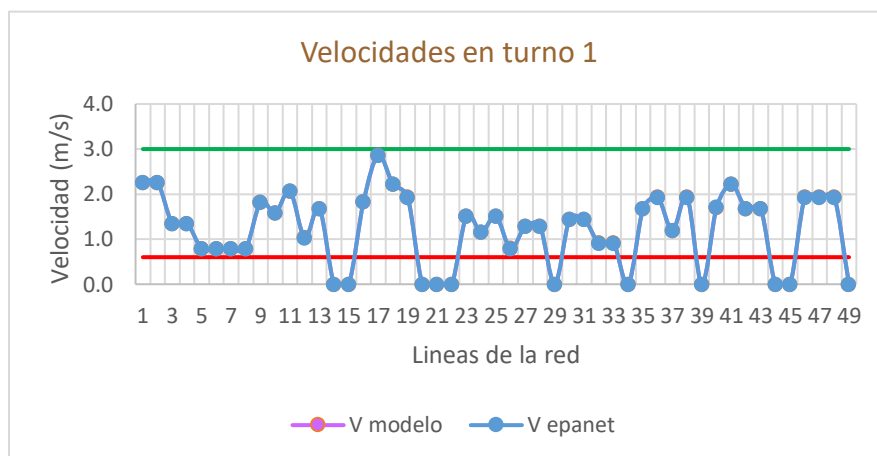


Figura 60. Verificación de velocidades, modelo de diferentes HB.

En la figura 60 se puede observar que las velocidades calculadas por el modelo híbrido son iguales a las obtenidas con Epanet, esto debido a que ambos casos la velocidad es determinada por la ecuación de la continuidad. Asimismo, se aprecia

que en algunos tramos la velocidad es nula dado que no existe circulación de caudales en el turno analizado, pero el resto de líneas presentan velocidades que van de 0.6 a 3m/s.

Similarmente al primer modelo las presiones del modelo híbrido de diferentes HB están expresados sin considerar las perdidas locales, ya que Epanet no permite considerar las perdidas locales como un porcentaje de las pérdidas de carga por fricción.

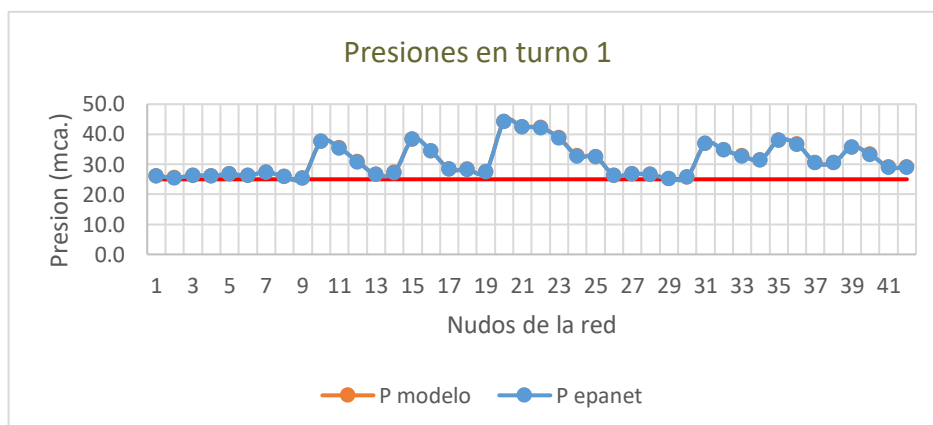


Figura 61. Verificación de presiones, modelo de diferentes HB.

Por otro lado, en la figura 61 se aprecia que las presiones calculadas por el modelo híbrido difieren ligeramente respecto a las presiones determinadas por Epanet, pero en ambos casos cumplen con la presión de mínima de 25 mca; la variación máxima que se ha presentado ha sido de 0.14 mca, cuyos efectos son despreciables en el funcionamiento de la red.

Dado que no hay variaciones significativas entre los resultados determinados por Epanet y el modelo híbrido, además de mantenerse dentro de los límites permitidos, podemos decir que los resultados son válidos.

4.2 RESULTADOS DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

4.2.1 Resultados del modelo de única HB

Al finalizar el proceso de optimización se obtuvo la mejor combinación de turnos en hidrantes y el diseño más óptimo, tal como se ve en la tabla 31.

Tabla 31

Mejor combinación de turnos en hidrantes, modelo 1

NH	Nudo	Hidrante	Variable Turno	Area (ha)	Q (l/s)
1	5	1	2	8.5	15
2	6	1	2	7.8	12
3	7	1	3	8.0	16
4	8	1	1	8.3	13
5	10	1	2	7.3	13
6	11	1	1	7.9	13
7	12	1	1	9.2	13
8	13	1	2	8.7	13
9	15	1	3	7.7	13
10	16	1	1	8.0	15
11	17	1	2	9.0	13
12	18	1	3	8.5	14
13	20	1	1	6.5	9
14	21	1	2	8.5	13
15	22	1	3	7.7	10
16	23	1	1	7.5	10
17	24	1	2	7.5	10
18	27	1	3	8.2	13
19	28	1	1	8.2	15
20	29	1	2	8.5	15
21	31	1	1	8.4	13
22	32	1	1	8.5	15
23	33	1	2	8.0	15
24	35	1	3	8.6	13
25	36	1	1	8.5	13
26	37	1	2	8.5	13
27	39	1	3	6.5	9
28	40	1	1	8.5	15
29	41	1	2	8.0	12

De igual manera para la mejor combinación de turnos se puede obtener los caudales totales por cada turno (ver tabla 32)

Tabla 32
Caudales totales por turno, modelo 1 (Elaboración propia)

CAUDALES TOTALES		QTT1	QTT2	QTT3
		144	144	88
NH	NUDO	QT1	QT2	QT3
1	5	0	15	0
2	6	0	12	0
3	7	0	0	16
4	8	13	0	0
5	10	0	13	0
6	11	13	0	0
7	12	13	0	0
8	13	0	13	0
9	15	0	0	13
10	16	15	0	0
11	17	0	13	0
12	18	0	0	14
13	20	9	0	0
14	21	0	13	0
15	22	0	0	10
16	23	10	0	0
17	24	0	10	0
18	27	0	0	13
19	28	15	0	0
20	29	0	15	0
21	31	13	0	0
22	32	15	0	0
23	33	0	15	0
24	35	0	0	13
25	36	13	0	0
26	37	0	13	0
27	39	0	0	9
28	40	15	0	0
29	41	0	12	0

De acuerdo con el cuadro anterior se puede apreciar que para el turno 1 y 2 se requiere 144 l/s, mientras que para el turno 3 se requiere 88 l/s, dando como resultado una variación de 56 l/s. Esta variación se debe principalmente a la tarifa eléctrica impuesta la cual es más costosa en el turno 3 por estar en hora punta. En ese sentido cuando se tenga diferentes tarifas eléctricas el algoritmo tendera a buscar la combinación de turnos que reduzca los caudales y altura de bombeo en los horarios más costosos.

Se determino una altura de bombeo mínima de 26.8 mca, el cual brinda la suficiente energía para suministrar los caudales de circulación de cada turno y cumplir con la

presión mínima de 25 mca en todos los nudos de la red. Además, dicha altura de bombeo minimiza el costo de operación del sistema.

En función al caudal más crítico del turno 1 y 2 de 144 l/s, y la altura de bombeo mínima, el algoritmo determino las longitudes parciales de los diámetros candidatos (ver anexo K). Los diámetros nominales determinados por el modelo híbrido varían de 90 mm a 315 mm sumando una longitud total de 8 246.4 m, con los cuales se cumple las velocidades permitidas de 0.6 a 3 m/s.

Las presiones presentadas en la red se muestran en la figura 62. Las presiones en los nudos oscilan en un rango de 25 a 58 mca. Las presiones más altas se encuentran en la parte baja de la red.

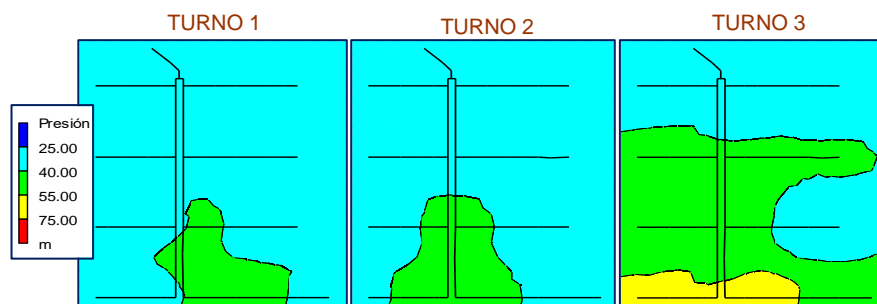


Figura 62. Mapa de contorno de presiones para el modelo 1.

Los costos de operación, instalación y total se pueden ver en la tabla 33, en donde el costo en tuberías fue de S/. 435 977.03 y el costo de operación promedio mensual fue de S/. 8 357.76.

Tabla 33*Costos de la solución inicial y final del modelo 1*

Conceptos	Solución inicial	Solución final
Costo total de tubería	S/432,032.09	S/435,977.03
Factor de amortización	0.09	0.09
Costo anual amortizado	S/40,200.83	S/40,567.91
Costo de potencia	S/59,856.82	S/53,454.64
Costo de energía	S/48,219.61	S/46,838.49
Costo de operación	S/108,076.43	S/100,293.13
Costo total anual	S/148,277.27	S/140,861.05

La solución óptima hallada por este modelo, se consiguió mediante dos pruebas con 288 iteraciones en un tiempo total de 45 minutos, dando como resultado un costo mínimo anual de S/. 140 861.05 que en relación a la solución inicial de S/. 148 277.27 se ha conseguido reducir 5.0%.

4.2.2 Resultados del modelo de diferentes HB

Al finalizar el proceso de optimización se obtuvo no solo la mejor combinación de turnos en hidrantes (ver tabla 34), sino también un informe de ejecución que resume todas las mejores iteraciones realizadas (ver anexo M), el cual puede ser muy útil en caso la solución óptima no se adapte a las condiciones extras de la red.

Tabla 34
Mejor combinación de turnos en hidrantes, modelo 2

NH	Nudo	Hidrante	Variable Turno	Area (ha)	Q (l/s)
1	5	1	2	8.5	15
2	6	1	2	7.8	12
3	7	1	3	8.0	16
4	8	1	1	8.3	13
5	10	1	2	7.3	13
6	11	1	1	7.9	13
7	12	1	1	9.2	13
8	13	1	2	8.7	13
9	15	1	1	7.7	13
10	16	1	1	8.0	15
11	17	1	2	9.0	13
12	18	1	3	8.5	14
13	20	1	1	6.5	9
14	21	1	2	8.5	13
15	22	1	3	7.7	10
16	23	1	1	7.5	10
17	24	1	2	7.5	10
18	27	1	3	8.2	13
19	28	1	1	8.2	15
20	29	1	2	8.5	15
21	31	1	3	8.4	13
22	32	1	1	8.5	15
23	33	1	2	8.0	15
24	35	1	3	8.6	13
25	36	1	1	8.5	13
26	37	1	2	8.5	13
27	39	1	3	6.5	9
28	40	1	1	8.5	15
29	41	1	2	8.0	12

Al comparar las configuraciones de turnos en hidrantes en ambos modelos se ha llegado a soluciones muy parecidas, con una mínima variación en los hidrantes del nudo 15 y 31 que para el modelo de única HB pertenecen al turno 3 y 1 respectivamente, mientras que para el modelo de diferentes HB pertenecen al turno 1 y 3 respectivamente.

De igual forma para la mejor combinación de turnos se puede determinar los caudales totales por cada turno (ver tabla 35).

Tabla 35
Caudales totales por turno, modelo 2

CAUDALES TOTALES	QTT1	QTT2	QTT3
	144	144	88

NH	NUDO	QT1	QT2	QT3
1	5	0	15	0
2	6	0	12	0
3	7	0	0	16
4	8	13	0	0
5	10	0	13	0
6	11	13	0	0
7	12	13	0	0
8	13	0	13	0
9	15	13	0	0
10	16	15	0	0
11	17	0	13	0
12	18	0	0	14
13	20	9	0	0
14	21	0	13	0
15	22	0	0	10
16	23	10	0	0
17	24	0	10	0
18	27	0	0	13
19	28	15	0	0
20	29	0	15	0
21	31	0	0	13
22	32	15	0	0
23	33	0	15	0
24	35	0	0	13
25	36	13	0	0
26	37	0	13	0
27	39	0	0	9
28	40	15	0	0
29	41	0	12	0

De acuerdo con la tabla 35 se puede apreciar que para el turno 1 y 2 se requiere 144 l/s, mientras que para el turno 3 se requiere 88 l/s, siendo estos resultados idénticos al primer modelo que presentan una variación de 56 l/s.

También se determinó las alturas de bombeo mínimo por turno siendo 26.2, 26.8 y 25.6 mca respectivamente, como se puede observar los valores son casi similares, sin embargo, no siempre será así, dicha variación será proporcional a la heterogeneidad de caudales, irregularidad del terreno y posibles combinaciones de turnos en hidrantes.

Las alturas de bombeos determinadas suministran suficiente energía para impulsar los caudales demandados y cumplir con la presión mínima en todos los nudos de la red. Además, dichas alturas de bombeo minimizan el costo de operación del sistema.

En función al caudal más crítico del turno 1 y 2 de 144 l/s, y las alturas de bombeo mínimas de cada turno, el algoritmo determino las longitudes parciales de los diámetros candidatos (ver anexo M). Los diámetros nominales determinados por el modelo híbrido varían de 90 mm a 315 mm, con ellos satisfacen las velocidades permitidas de 0.6 a 3 m/s.

Las presiones presentadas en la red para este modelo se muestran en la figura 63. Las presiones en los nudos oscilan en un rango de 25 a 60 mca. Las presiones picos se encuentran en la parte baja del sistema.

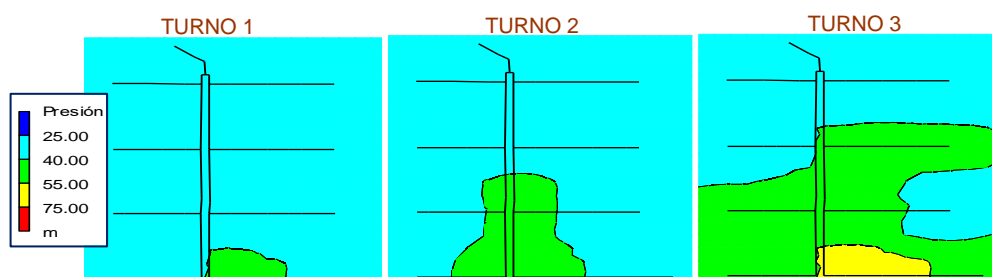


Figura 63. Mapa de contorno de presiones para el modelo 2.

Los costos de operación, instalación y total se pueden ver en la tabla 36, en donde el costo en tuberías fue de S/. 437 029.62 y el costo de operación promedio mensual fue de S/. 8 183.83.

Tabla 36*Costos de la solución inicial y final del modelo 2*

Conceptos	Solución inicial	Solución final
Costo total de tubería	S/437,489.64	S/437,029.62
Factor de amortización	0.09	0.09
Costo anual amortizado	S/40,708.66	S/40,665.86
Costo de potencia	S/58,180.87	S/52,334.56
Costo de energía	S/46,900.59	S/45,871.39
Costo de operación anual	S/105,081.46	S/98,205.94
Costo total anual	S/145,790.12	S/138,871.80

La solución óptima hallada en este modelo, se consiguió mediante dos pruebas con 176 iteraciones en un tiempo total de 53 minutos, dando como resultado un costo mínimo de S/. 138 871.80 que en relación a la solución inicial cuyo costo fue S/. 145 790.12 se ha conseguido reducir 4.75%.

4.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS RESULTADOS

Para garantizar el funcionamiento hidráulico de toda red mínimamente se debe cumplir con las restricciones de velocidad y presión, los cuales estará influenciado por las características del flujo y el tipo de material empleado.

Dado que la distribución de diámetros es diferente para cada modelo, para poder comparar las velocidades en las líneas se tuvo que igualar el número de longitudes parciales por línea. A continuación, se presentan los gráficos de comparación de velocidades calculadas por los modelos propuestos para cada modelo.

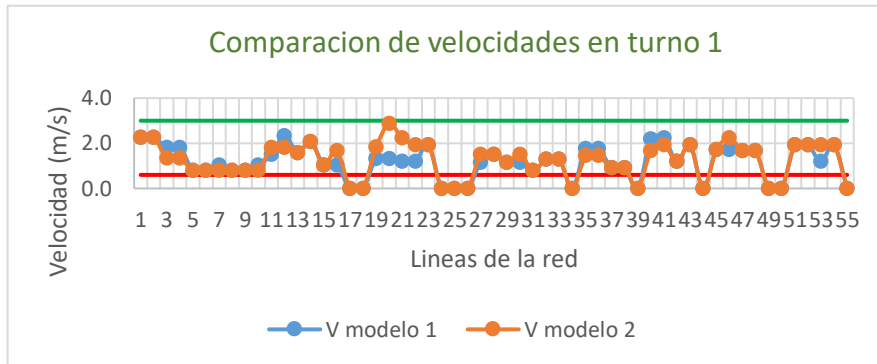


Figura 64. Comparación de velocidades en turno 1.

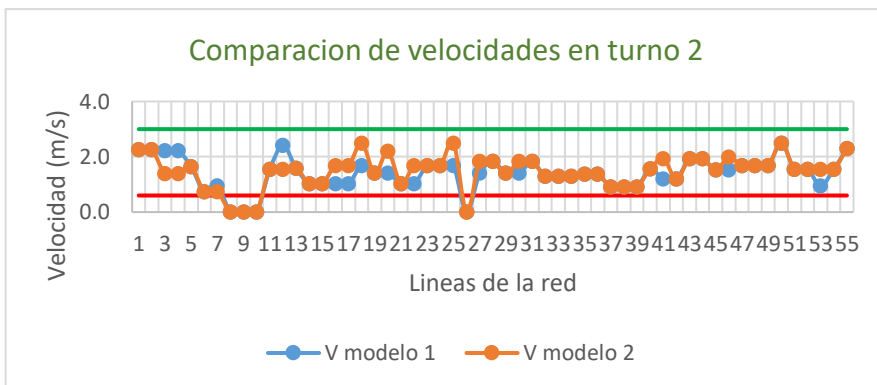


Figura 65. Comparación de velocidades en turno 2.

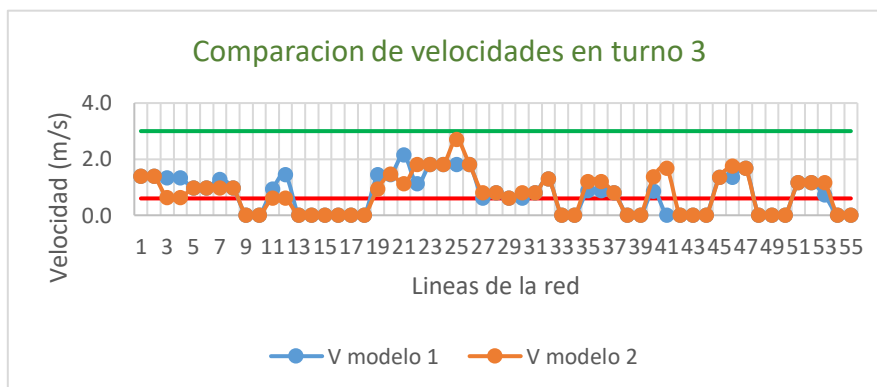


Figura 66. Comparación de velocidades en turno 3.

En los gráficos se observa que en los tres turnos algunas líneas tienen velocidades 0 m/s esto solo indica que en tales líneas no habrá circulación de caudales para el turno correspondiente. Respecto a los demás nudos se encuentran en el rango permisible de 0.6 a 3 m/s.

Análogamente se puede comparar las presiones calculadas por los modelos propuestos para cada modelo, tal como se puede ver en los siguientes gráficos.

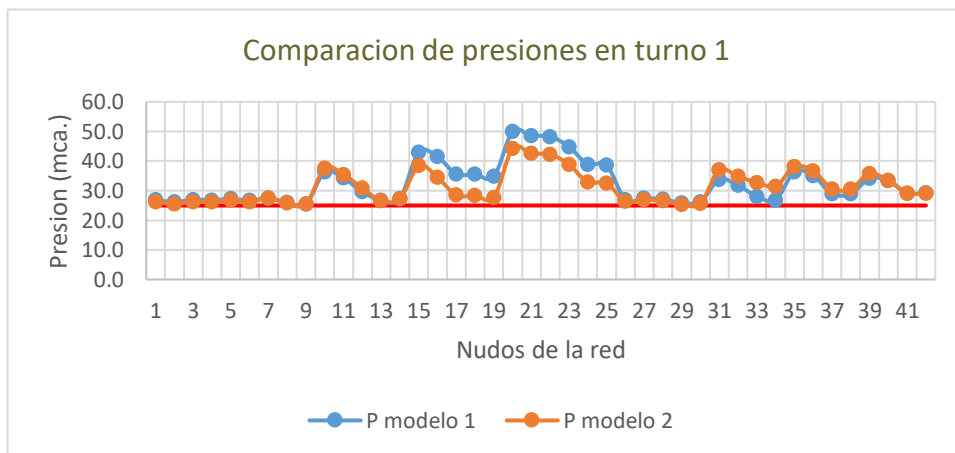


Figura 67. Comparación de presiones en turno 1.

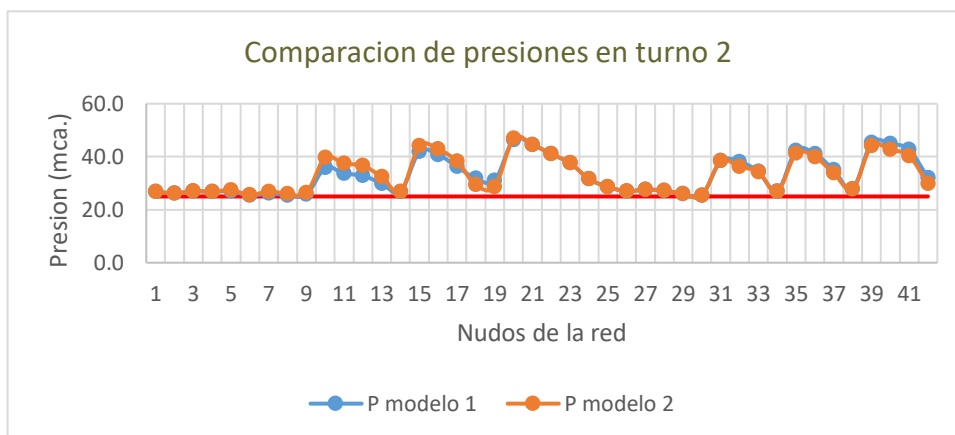


Figura 68. Comparación de presiones en turno 2.

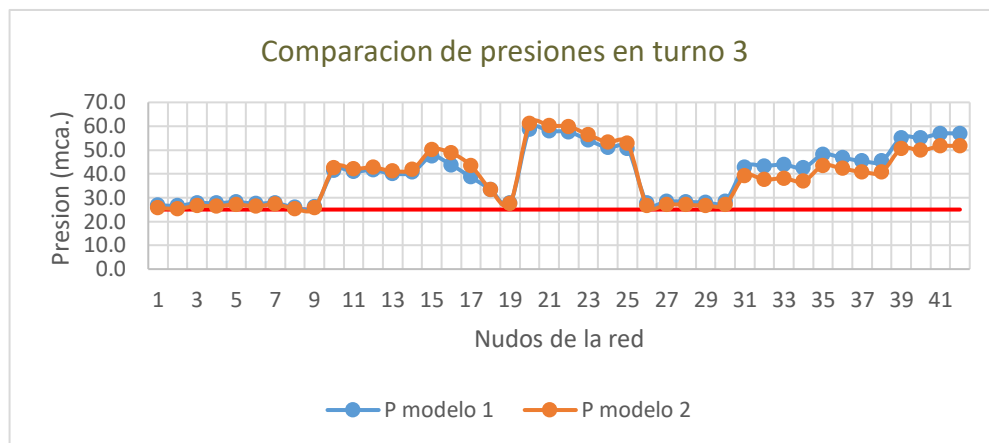


Figura 69. Comparación de presiones en turno 3.

En los gráficos anteriores se observa que las curvas de presiones para ambos planteamientos son casi similares con picos inferiores y superiores que van de 25 a 60 mca; los picos más altos se presentan en los nudos 20 a 25.

En ambos modelos las presiones y velocidades presentan un coeficiente de variación de 26% y 64% respectivamente, esto indica que existe mayor uniformidad de presión a cambio de velocidades un tanto dispersas, sin embargo, esto resulta conveniente en sistemas de riego, ya que permite el normal funcionamiento de los emisores que trabaja en un rango de presión de 25 a 50 mca.

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS

Siendo el principal objetivo de los modelos optimizar el costo total que viene dado por la suma del costo de operación y costo de instalación. En primer lugar, se analizará los diámetros de tuberías usados en los modelos propuestos, cuyas cantidades se aprecia en la figura 70.

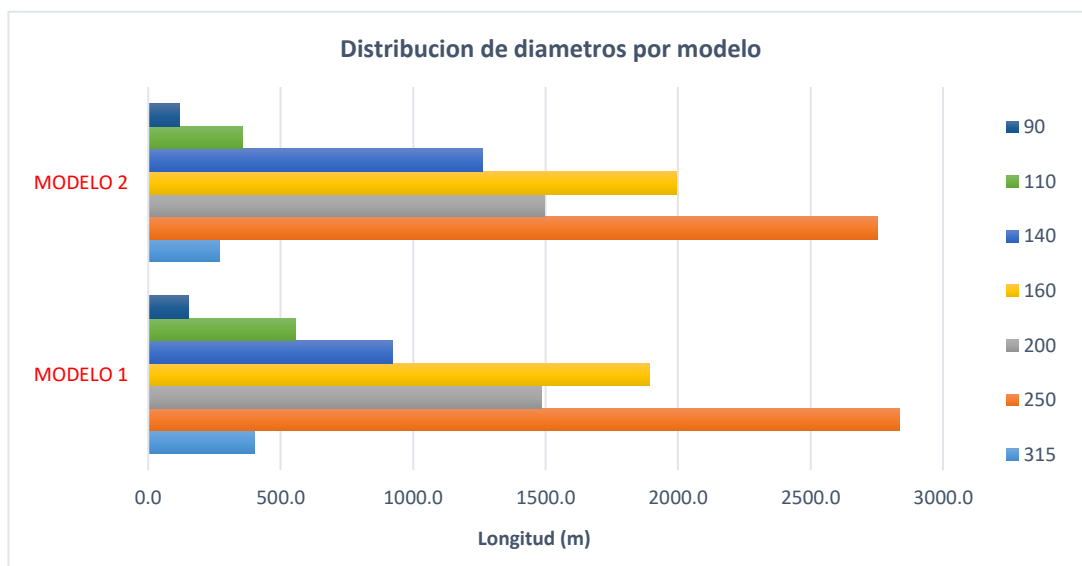


Figura 70. Distribución de diámetros nominales por modelo.

En el gráfico de barras mostrado, los diámetros nominales más empleados van de 160 mm a 250 mm, los cuales corresponden a las líneas principales de los dos ramales del sistema.

De acuerdo con el plano de las redes resultantes de los modelos propuestos (ver figura 71 y 72), existen líneas que presentan cambios desproporcionales de diámetros, sin embargo, esto se debe a que los diámetros deben satisfacer diferentes estados de carga (turnos).

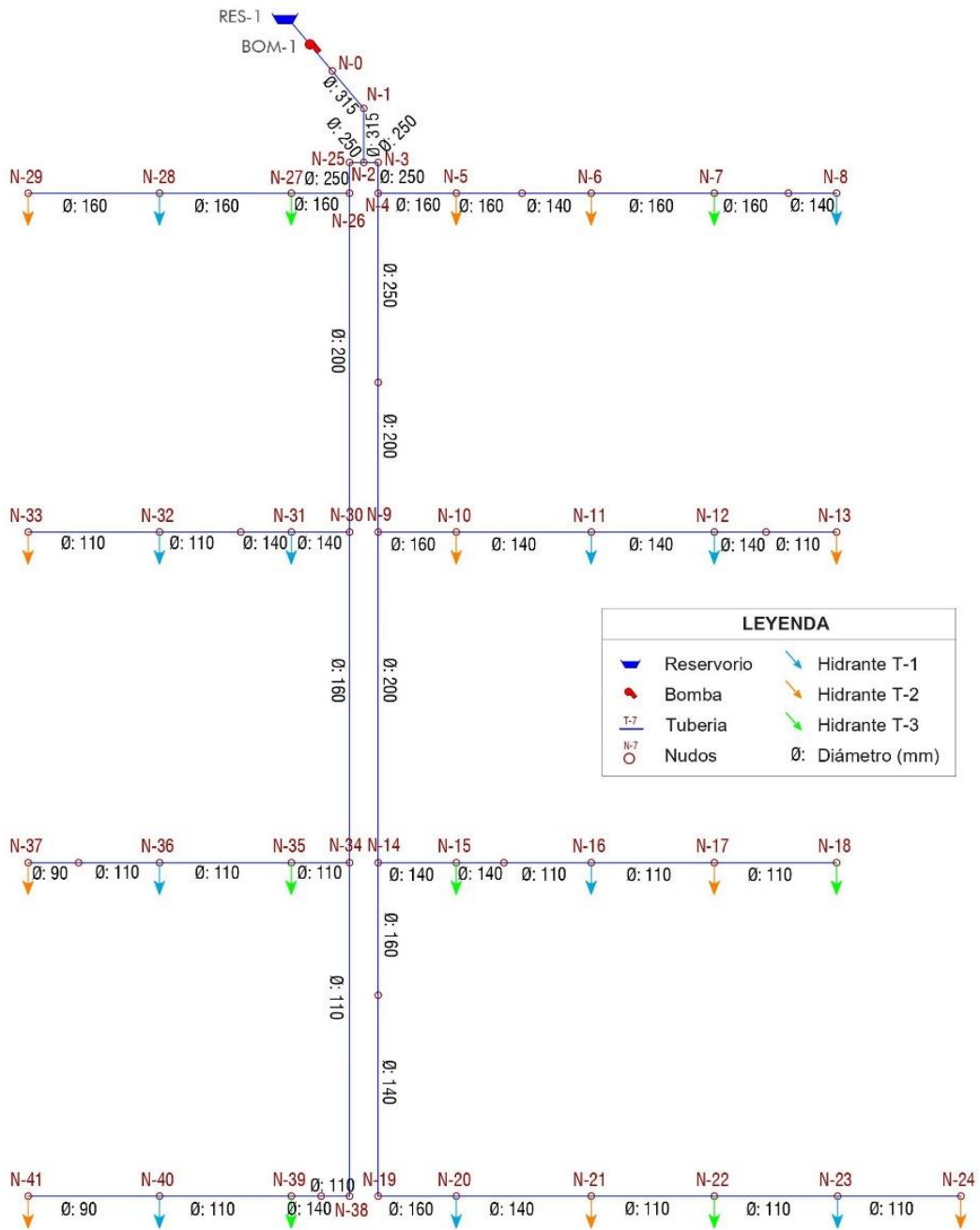


Figura 71. Diámetros óptimos del modelo de única HB.

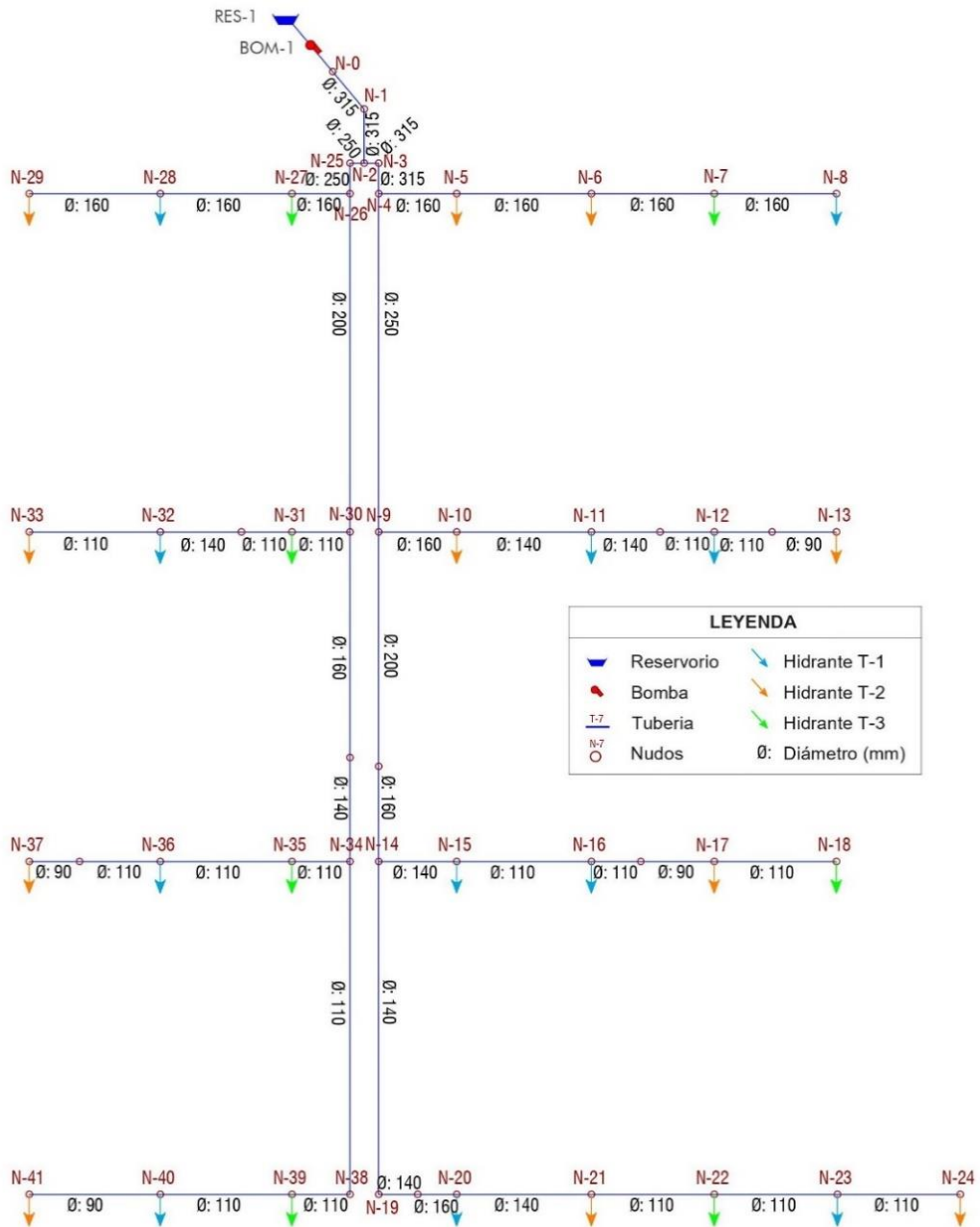


Figura 72. Diámetros óptimos del modelo de diferentes HB.

Asimismo, al verificar la distribución de diámetros por toda la red en ambos modelos (ver anexo Ñ), se puede observar que los diámetros del modelo de

diferentes HB son un poco más conservadores y una distribución más gradual, en comparación con los diámetros del modelo de única HB.

La variación de costos del sistema para los modelos tratados, se puede ver a mayor detalle en la figura 73.

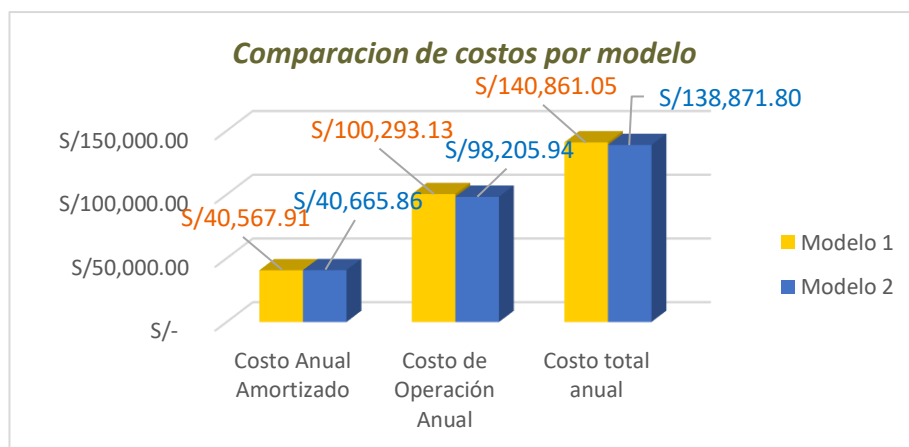


Figura 73. Comparación de costos por modelo.

Analizando el gráfico de barras anterior se puede observar que los costos de ambos modelos no varían significativamente, esto debido a la uniformidad que presenta el sistema respecto a las dotaciones, topología de la red y topografía del terreno.

Desde un punto de vista económico, el costo total del modelo de diferentes HB es menor al modelo de única HB en S/. 1 989.25 que representa un porcentaje de reducción de 1.41% en relación al modelo de única HB. Esta reducción del costo total se debe a que, al trabajarse con alturas de bombeo diferentes para cada turno, el algoritmo propuesto prioriza las alturas de bombeo menores, ya que tienen mayor impacto económico sobre el costo total de la red. En otras palabras, el algoritmo

propuesto elige alturas de bombeo menores a cambio de diámetros mayores, consiguiendo así aumentar el costo de instalación, pero disminuir el costo de operación, en consecuencia, el costo total de la red se reduce siempre que el costo de operación sea el de mayor incidencia. Sin embargo, dicha reducción económica puede variar dependiendo de las condiciones de la red estudiada.

También se puede apreciar que el costo de instalación es menor al costo de operación en ambos modelos, esto va depender mucho del tipo de tarifa eléctrica impuesta y la jornada de riego.

4.5 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE CÁLCULO DE LOS MODELOS

Otro factor importante a considerar es el tiempo de cálculo empleado para conseguir la solución óptima, en el modelo de única HB se realizó 288 iteraciones en 53 minutos, mientras que en el modelo de diferentes HB se ejecutó 176 iteraciones en 53 minutos; relacionando los tiempos de ejecución y el número de iteraciones en ambos modelos planteados, se deduce las rapidez de cálculo de 6.4 iter./min y 3.3 iter./min respectivamente, esto indica que el primer modelo es más rápido que el segundo modelo permitiéndole explorar más posibles soluciones en menos tiempo. Evidentemente, el modelo de diferentes HB requiere más tiempo de análisis para encontrar el diseño óptimo, debido a que su algoritmo de búsqueda incluye PNL y PL, mientras que el modelo de única HB solo requiere PL.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de esta investigación ha sido implementar modelos híbridos bajo dos enfoques distintos y comparar los resultados de optimización, para ello se aplicó el procedimiento propuesto a un sistema de riego a turnos con estación de bombeo. Ante todo, se buscó contrastar los resultados de ambos modelos híbridos implementados para ver bajo que modelo se consigue la solución más óptima en términos económicos y técnicos sin dejar de cumplir las condiciones hidráulicas.

En ese sentido, se implementó un modelo híbrido considerando una sola HB y otro modelo considerando diferentes HB para una red funcionando a turnos, con el fin de minimizar el costo total. En ambos casos los resultados obtenidos son aceptables puesto que las velocidades y presiones se mantienen dentro de los límites permitidos, de esta forma se garantiza un adecuado comportamiento hidráulico de la red.

De la comparación económica de los resultados iniciales con los resultados finales en ambos modelos se presentan una reducción poco significativa, debido a la uniformidad en la configuración de la red analizada. Por ende, se deduce que mientras más irregularidades tenga una red sea de tipo topográfica, topológica o dotaciones, se alcanzará mayor reducción económica en el diseño de la red.

Por otro lado, al comparar los resultados económicos de los modelos propuestos, el modelo de diferente HB obtiene la solución más económica con mejor distribución

de diámetros y alturas de bombeo más funcionales; para el sistema de riego analizado el modelo de diferentes HB ha conseguido una reducción de costos de 1.41 % en comparación con el modelo de única HB, dicho porcentaje de reducción económica depende mucho de la configuración de la red. Sin embargo, el modelo de diferentes HB requiere más tiempo de cálculo para encontrar una solución cercana al óptima global, ya que requiere PL y PNL para determinar las alturas de bombeo y longitudes parciales de la red.

Por medio de este breve análisis realizado para el caso estudiado, se puede inferir que el dimensionado más económico se obtiene mediante el modelo de diferentes alturas de bombeo en redes funcionando a turnos.

Cabe señalar, que los modelos híbridos implementados tienen la ventaja de proporcionar un registro de soluciones alternativas en donde el diseñador según su criterio deberá elegir la solución más adecuada. Además, permiten simular combinaciones de turnos de manera personalizada.

Bajo este contexto, el principal objetivo de optimización ha sido logrado, encontrándose soluciones factibles para los dos modelos híbridos implementados. Sin embargo, no ha sido posible comparar con estudios de otros autores, debido a que la mayoría analiza redes que funcionan alimentadas desde depósitos, a pesar de ello con este trabajo se demuestra que es posible reducir los costos de un sistema de riego con estación de bombeo, aplicando un método híbrido.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la presente investigación se optimizó el diseño de un sistema de riego con estación de bombeo funcionando a turnos, usando un método híbrido. Caso Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Tacna.
- Se implemento el modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga, consiguiéndose una solución final cuyo costo global fue de S/.140 861.05, el cual presenta una reducción de 5% respecto a la solución inicial.
- Se implemento el modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga, consiguiéndose una solución final cuyo costo global fue de S/.138 871.80, el cual alcanza una reducción de 4.75% respecto a la solución inicial.
- Se comparó los resultados de los modelos propuestos, obteniéndose el diseño más económico al considerar en el modelo diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga, logrando una reducción económica de 1.41% respecto al modelo de única altura de bombeo, dicho porcentaje

de reducción económica dependerá de la configuración de la red. Sin embargo, el modelo de diferentes alturas de bombeo requiere más tiempo de cálculo respecto al modelo de única HB, esto debido a que su proceso de optimización requiere PL Y PNL.

5.2 RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio de metodologías existentes en el diseño de sistemas de riego con estación de bombeo, para utilizar de manera óptima los recursos económicos, energéticos e hídricos.
- Proponer posibles mejoras al modelo de manera que se controle la flexibilidad del diseño en cuanto a cambios y redistribución de turnos.
- Determinar la influencia de la ubicación del depósito de regulación en el diseño de sistemas de riego con estación de bombeo.
- Incorporar en el modelo de optimización las curvas características del equipo elegido, para reajustar el diseño de la red de riego.
- Involucrar las válvulas reguladoras de presión para controlar las presiones altas en sistemas de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadía, R. (2003). *Optimización del diseño y gestión de redes colectivas de distribución de agua para riego por goteo de cultivos leñosos. Aplicación del regadío de Mula* (tesis de doctorado). Universidad Miguel Hernández-Escuela Politécnica Superior de Orihuela, España.
- Acosta, E. (2018). *Autorización de ejecución de estudios de disponibilidad hídrica subterránea con perforación de pozo exploratorio Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Sama las Yaras, Tacna*. Informe técnico de aguas subterráneas. Recuperado de <https://www.gob.pe/ana>
- Allen, R., Pereira, L., Dirk, R., y Martin, S. (2006). *Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua para los cultivos*. Servicio de Recursos Hídricos, Desarrollo y Gestión, FAO. Roma, Italia.
- Arviza, J. (2007). *Diseño, dimensionado y análisis de redes de riegos a presión. “Rg y Epanet”, un manual para sacar partido a ambas aplicaciones*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Arviza, J., Balbastre, I., y Gonzales, P. (2002). *Ingeniería rural: Hidráulica*. Valencia, España: Editorial UPV.

- Arviza, J., y Balvastre, I. (s.f.). *Redes colectivas de riego. Problemática general. Resolución de conflictos*. Dpto. de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Briceño, J. (2016). *Comprobación de metodologías de optimización en sistemas de riego* (tesina de pregrado). Universidad Católica de Loja, Ecuador.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas minirriego*. Roma, Italia: Programa especial para la seguridad alimentaria (PESA), FAO.
- Cervantes, A. (2014). *Propuesta técnico-económica para la habilitación de pozos profundos del abastecimiento de agua potable en la ciudad de Minatitlán, Veracruz* (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Cruz, E., Vegas, O., Aliod, R., y García, S. (2015). *Diseño óptimo de redes de riego a turnos y a la demanda mediante el software Gestar comparado con métodos tradicionales*. V Congreso Nacional – IV Congreso Iberoamericano de Riego, Huesca, España.
- Eduardo, D. (2011). *Exploración geotécnica – Relaciones Geoeléctricas*. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Empresa ElectroSur (2019). *Pliegos tarifarios para clientes finales con vigencia desde el 04 de octubre del 2019 – ElectroSur*. Recuperado de http://www.electrosur.com.pe/Noticias/Ver/pliegos-tarifarios-para-clientes-finales-con-vigencia-desde-el-04-de-octubre-del-2019_5164

- Espinosa, B., Flores, H., Ascencio, R., y Carrillo, G. (2016). Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: Análisis técnico y económico. *Terra Latinoamericana. Volumen (34), Número 4*. Chapingo, México.
- Fuentes, J. (2003). *Técnicas de riego*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Fuertes, V., García-Serra, J., Iglesias, P., López, G., Martínez, F., y Pérez, R. (2002). *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua. Grupo de mecánica de fluidos* (pp. 2-20). Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- García, J., y Román, P. (2008). *Programación no lineal*. En Universidad de Granada, Granada.
- Gestal, M., Rivero, D., Rabuñal, J.R., Dorado, J., y Pazos, A. (2010). *Introducción a los algoritmos genéticos y la programación genética*. Coruña, España: Consorcio editorial Galego.
- Gobierno Regional de Tacna (2012). *Suelos. Estudio de Zonificación Ecológica y Económica de la Región de Tacna*. Recuperado de http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Tacna/Memoria_Descriptiva_Suelos.pdf
- Gómez, P. (2013). *Procedimiento para la selección de la estrategia de regulación más adecuada desde el punto de vista energético en instalaciones con grupo de bombeo. Aplicación a una red de riego* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Grupo Empresarial Aliaxis (2018). *Sistema presión NTP-ISO 1452*. Recuperado de <https://www.nicoll.com.pe/ftecnica/sistema-presion-ntp-1452.pdf>

Grupo Gestar (2014). *Manual de usuario. Aplicación para la ingeniería hidráulica y energética de redes de riego a presión*. Escuela Politécnica Superior de Huesca-Universidad de Zaragoza. Recuperado de <http://www.acquanalyst.com/contenido.php?modulo=descargas&cat=14>

Grupo Regaber (2014). *Catálogo general de productos Regaber*. Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/4215/Catalogo_General_2011-2014_LR.pdf

Guardiola, J. (2000). *Análisis del estado del arte en técnicas de optimización matemáticas aplicadas a elementos finitos; caso de estudio viga dirona* (tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México.

Huerta, M., Hesselbach, X., y Calderon, O. (2004). *Aplicación del algoritmo de punto interior en la optimización del ancho de bandas en redes MPLS*. URSI 04. XIX Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Barcelona, España.

Hurtado, L. (2010). *Fundamentos del riego*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de agronomía. Recuperado de <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/130/159/1153.pdf>

- Iglesias, P., García, F., López, P., y Pérez, R. (2003). *Generalidades sobre redes de abastecimiento* (pp. 37-79). Ingeniería hidráulica en los abastecimientos de agua. Valencia, España: Grupo multidisciplinar de modelación de fluidos.
- Khadra, R., Lamaddalena, N., y Inoubli, N. (2013). Optimization of on demand pressurized irrigation networks and on-farm constraints. *Procedia Environmental Sciences*. Volumen (19). 942 – 954.
- Lamaddalena, N. (1997). *Integrated simulation modeling for design and performance analysis of on demand pressurized irrigation systems*. Ph.D. Dissertation, Technical University of Lisbon, Lisbon.
- Lamaddalena, N., y Sagardoy, J.A. (2000). *Performance Analysis of on-demand pressurized Irrigation systems*. FAO Irrigation and drainage Paper 59. Rome, Italy: FAO and CIHEAM-IAMB.
- Lapo, C. (2012). *Diseño óptimo de sistemas de riego a presión y su eficiencia hidroenergética. Aplicación en el caso Loja, Ecuador* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Lapo, C., Pérez, R., Izquierdo, J., y Ayala, D. (2017). Hybrid optimization proposal for the design of collective on-rotation operating irrigation networks. *Procedia Engineering*. Volumen (186). 530 – 536.
- López, P., Iglesias, P., Martínez, F., y Izquierdo, J. (2003). *Fundamentos de hidráulica aplicada a los abastecimientos de agua* (pp. 80-108). Ingeniería hidráulica en los

abastecimientos de agua. Valencia España: Grupo multidisciplinar de modelación de fluidos.

Loubet, B. (s.f.). *Excel: Herramienta Solver. Facultad de ciencias económicas- Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.* Recuperado de <http://www1.frm.utn.edu.ar/ioperativa/Manual-Solver.pdf>

Martínez, F., Fuertes, V., y Sancho, H. (1996). *Estaciones de bombeo de inyección directa a red. En ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua.* Unidad de docente de mecánica de fluidos. Universidad politécnica de Valencia, España.

Montesinos, M. P., García-Guzmán, A., y Ayuso, J.L. (1996). Optimización de redes de distribución de agua utilizando un algoritmo genético. *Ingeniería del agua. Volumen (4), número 1. 71-77.*

Mora, D. (2012). *Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos. Análisis de eficiencia* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos* (6.^a ed.). México: Pearson Educación de México de C.V.

Palisade Corporation (2015). *Evolver, Solver de algoritmo genético para Microsoft Excel.* Recuperado de <https://www.palisade-lta.com/evolver/>

Palomino, K. (2012). *Riego por aspersión.* Madrid, España: StarBook.

- Payá, I. (2007). *Optimización heurística de pórticos de hormigón armado* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Pereira, L., J. de Juan Valero, Picornell, M., y Tarjuelo, J.M. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Albacete, España: CREA-UCLM.
- Pérez, R. (1993). *Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Pino, E., Valle, A., Condori, F., Mejía, J., Chavarri, E., y Alfaro, L. (2017). Diseño óptimo de redes de distribución de agua usando un software basado en micro algoritmos genéticos multiobjetivos. *Ribagua. Volumen (4)*. 7-9.
- Planells, P., Ortega, F., Valiente, M., Montero, J., y Tarjuelo, J.M. (1999). Criterios para el diseño de redes colectivas de riego. *Ingeniería del agua*. 6 (1). 27-36.
- Planells, P., Tarjuelo, J.M., y Ortega, J.F. (2005). Redes colectivas de riego. *Ingeniería del agua*. En J.M. Tarjuelo (Ed.), *El riego por aspersión y su tecnología* (pp. 437-490). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Ramírez, V. (2010). *Propuesta de un criterio de análisis y optimización de una red de riego por aspersión, previo al empleo del programa de Epanet* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ranald, V., Jack, B., y Cheng, L. (2003). *Mecánica de los fluidos e hidráulica* (3.^a ed.). Aravaca, España: McGraw Hill Edigrados S.A.

- Rocamora, Y. (2016). *Optimización energética de bombeos de inyección directa a redes colectivas de distribución de agua* (tesis de maestría). Universidad Miguel Hernández, España.
- Rossman, L. (2000). *Epanet 2, Manual de usuario*. National Risk Management Research Laboratory, OH 45268, USA. Recuperado de https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes y riego*. Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- Sánchez, C. (2013). *Diseño de alternativas técnicas la transformación del riego superficial por inundación a riego tecnificado modular. Caso de análisis. Ovalo Tunga, sistema de riego Mochahuachi* (tesina de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020). *Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Villalba, G., y Saldarriaga, J. (2005). Algoritmos de optimización combinatoria (AOC) aplicados al diseño de redes de distribución de agua potable. *Revista de ingeniería. Volumen (22)*. 118-125.

ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

ANEXO B: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

ANEXO C: PROPIEDADES EDAFOLÓGICAS DE LAS YARAS

ANEXO D: ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA

ANEXO E: PLANO TOPOGRÁFICO DEL PROYECTO

ANEXO F: PLANO DE LA RED HIDRÁULICA DEL PROYECTO

ANEXO G: INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DEL SENAMHI

ANEXO H: CAUDAL FICTICIO CONTINUO POR PARCELA

ANEXO I: PLIEGO TARIFARIO DE ELECTROSUR S.A. (2019)

ANEXO J: CATÁLOGO DE TUBERIAS NICOLL

ANEXO K: RESULTADOS DEL MODELO DE ÚNICA HB

ANEXO L: CÓDIGO DE MACRO DEL MODELO DE UNICA HB

ANEXO M: RESULTADOS DEL MODELO DE DIFERENTES HB

ANEXO N: CÓDIGO DE MACROS DEL MODELO DE DIFERENTES HB

ANEXO Ñ: PLANO DE DIÁMETROS ÓPTIMOS DE LA RED HIDRÁULICA

ANEXO A:

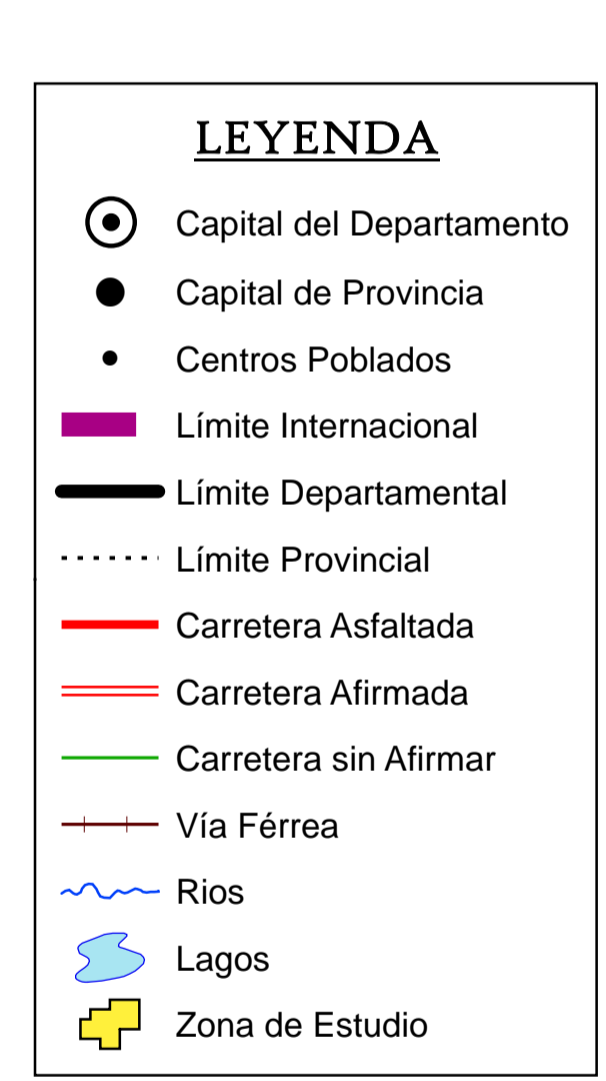
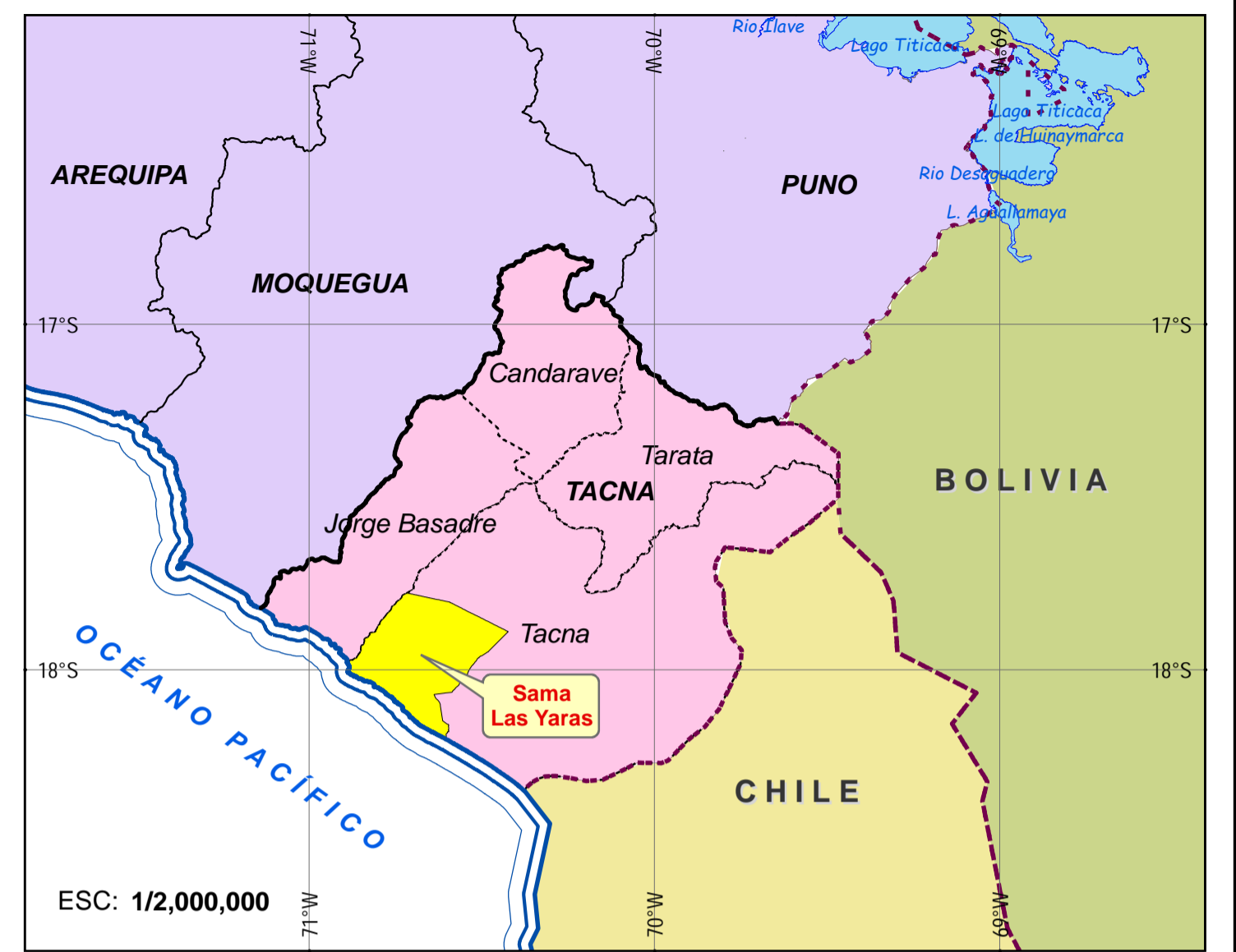
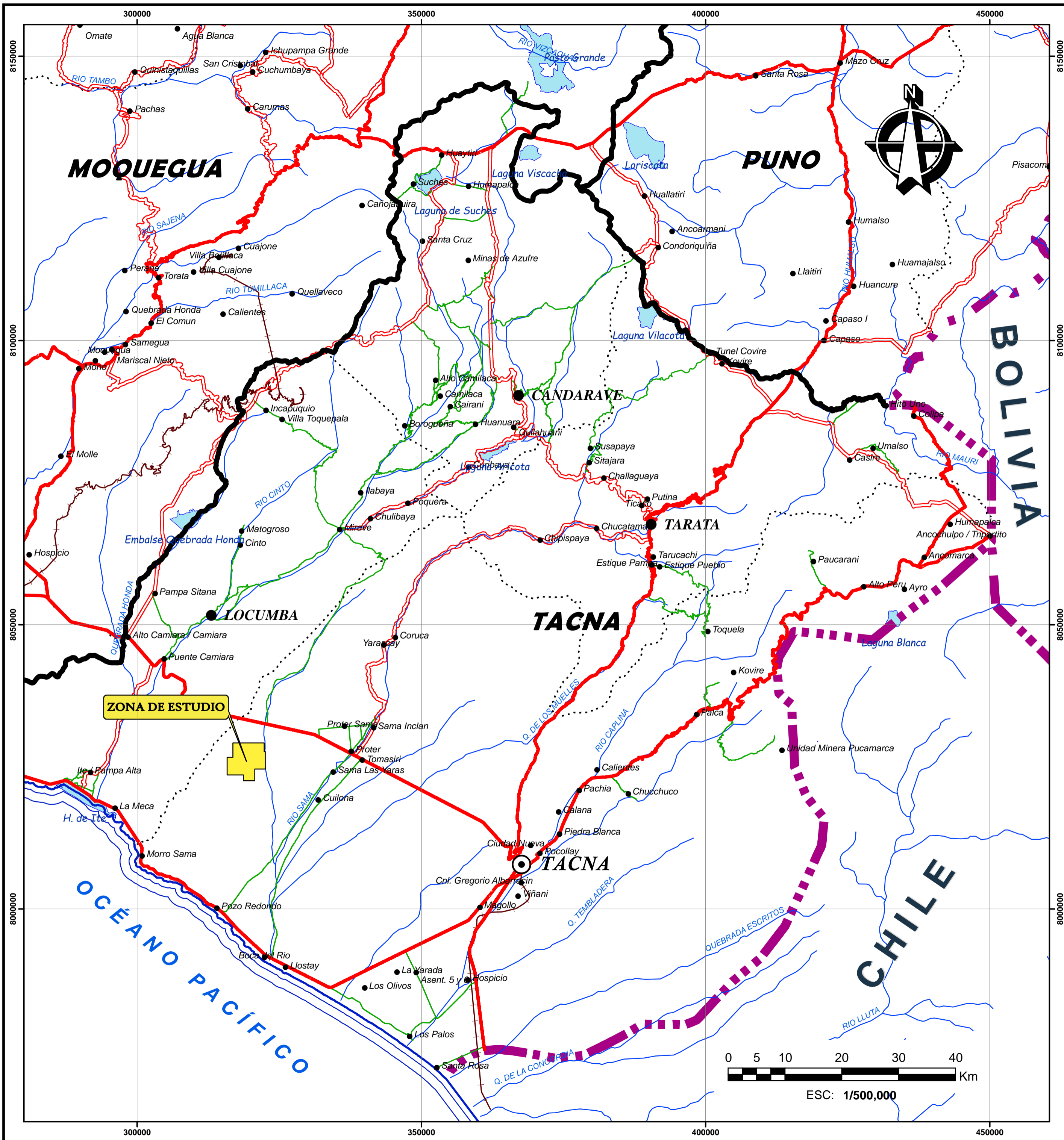
MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACION

MATRIZ DE CONSISTENCIA

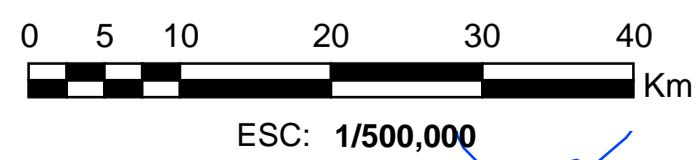
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTO
<p>PG ¿Cómo optimizar el diseño de sistemas de riego presurizado con estación de bombeo funcionando a turnos, usando un método híbrido? Caso Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Tacna</p> <p>PE1 ¿Cómo implementar un modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga?</p> <p>PE2 ¿Cómo implementar un modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga?</p> <p>PE3 ¿Cuál modelo híbrido propuesto obtiene la mejor solución en términos económicos y técnicos?</p>	<p>OG Optimizar el diseño de sistemas de riego presurizado con estación de bombeo funcionando a turnos, usando un método híbrido. Caso Asociación Agroindustrial 1° de Abril, Tacna.</p> <p>OE1 Implementar un primer modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga</p> <p>OE2 Implementar un segundo modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga.</p> <p>OE3 Comparar económicamente y técnicamente los resultados de los modelos híbridos propuestos.</p>	<p>HG La aplicación de un método híbrido optimizará el diseño de sistemas de riego presurizado con estación de bombeo funcionando a turnos. Caso: Asoc. Agro industrial 1° de abril, Tacna.</p> <p>HE1 La implementación de un modelo híbrido considerando una única altura de bombeo para múltiples estados de carga optimiza el diseño de un sistema de riego con estación de bombeo.</p> <p>HE2 La implementación de un modelo híbrido considerando diferentes alturas de bombeo para múltiples estados de carga optimiza el diseño de un sistema de riego con estación de bombeo.</p> <p>HE3 El modelo híbrido que considera diferentes alturas de bombeo obtiene la mejor solución en términos económicos y técnicos, respecto al modelo híbrido que considera una única altura de bombeo.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE -Método híbrido</p> <p>VARIABLES DEPENDIENTE -Diseño Optimo</p>	<p>DISEÑO OPTIMO -Costo mínimo (s/.) -Cumplimiento de restricciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud parcial (m) • Presión (m.c.a) • Velocidad (m/s) • No negatividad de variables 	<p>COSTO MÍNIMO -Mayor a cero nuevos soles</p> <p>CUMPLIMIENTO DE RESTRICCIONES</p> <p>LONGITUD PARCIAL -Mayor a cero metros</p> <p>PRESIÓN MINIMA: -Mayor a 25 mca.</p> <p>VELOCIDAD -Mayor a 0.6 m/s -Menor a 3.0 m/s</p> <p>NO NEGATIVIDAD DE VARIABLES -Mayor o igual a cero unidades</p>	<p>-Software MS Excel -Aplicación Solver -Aplicación Evolver -Software Cropwat 8.0 -Software Epanet v.2 -Computador de buena capacidad y memoria. -Manuales y catálogos -Registros meteorológicos -Tarifas eléctricas</p>

ANEXO B:

PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL		
PLANO DE: UBICACION Y LOCALIZACION DE LA ASOCIACION AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL		
ASESOR: Ph.D. EDWIN E. PINO VARGAS	CADISTA: A.G.P.H.	01
RESPONSABLE: Bach. ALFREDO G. PANTI HUACCA	CODIGO: 2012 - 37065	
UBICACION: SAMA LAS YARAS - TACNA	FECHA: JULIO - 2020	
ESCALA: INDICADA	ANOTACION: METRO	



ANEXO C:

PROPIEDADES EDAFOLOGICAS DE LAS YARAS

SERIE LAS YARAS (LY)

Zona	: Localidad Las Yaras
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (1999): Torrifluent
Fisiografía	: Terraza aluvial
Pendiente	: 0 - 2 %
Altitud	: 434 m.s.n.m.
Clima	: Semi cálido muy seco o desértico
Zona de vida	: Desierto superárido templado cálido
Material madre	: Aluvial
Vegetación	: Alfalfa, maíz, pastos
Pedregosidad Superf.	: 00 %

<u>Horizonte</u>	<u>Prof./cm</u>	<u>Descripción</u>
Ap1	00 – 10	Franco arenosa; pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; granular fina débil; muy friable; reacción neutra (pH 6.7); contenido bajo de materia orgánica (1.07%); presencia de grava y gravilla en un 30 %; permeabilidad moderadamente rápida. Límite de horizonte claro al
A12	10 - 20	Franco arenosa; pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; granular fina débil; friable; reacción ligeramente ácida (pH 6.5); contenido bajo de materia orgánica (0.75 %); presencia de grava y gravilla en un 30 %; permeabilidad rápida. Límite de horizonte claro al
AC	20 - 35	Arena franca; pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; grano simple; suelto; reacción ligeramente ácida (pH 6.10); contenido bajo de materia orgánica (0.25 %); presencia de grava y gravilla en una 30 %; permeabilidad rápida. Límite de horizonte claro al
C1	35 + 60	Arena; pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; grano simple; suelto; reacción ligeramente ácida (pH 6.05); contenido bajo de materia orgánica (0.15 %); presencia de grava y gravilla en una 40 %; permeabilidad muy rápida.

FIG. 22 Serie Las Yaras



a) Cultivo de alfalfa en la Serie Las Yaras

b) Perfil modal de la serie Las Yaras de la cuenca del Valle sama

ANEXO D:

ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD HIDRICA SUBTERRANEA



“ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL”

**AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO
ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA
(FORMATO ANEXO N° 05 - ANA - 2015)**

TACNA, SETIEMBRE DEL 2018

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

1. La zona de Estudio presenta formaciones geológicas con edades que datan desde el Pre-Cámbrico hasta Depósitos Recientes, que podrían conformar un acuífero potencialmente explotable según el detalle siguiente:
 - **COMPLEJO BASAL DE LA COSTA**, Conjunto de rocas tanto volcánicas de las Formaciones Chocolate y Guaneros del Jurásico Superior; como rocas intrusivas; constituido fundamentalmente por aglomerados volcánicos, andesitas, tufos, granodiorita y diorita. Estas formaciones geológicas constituirían el basamento rocoso del acuífero.
 - **FORMACIÓN MOQUEGUA**, Yace en contacto directo sobre el Complejo Basal de la Costa y presenta pobres condiciones hidrogeológicas, por la presencia de materiales finos que bajan la permeabilidad y transmisividad. El miembro Inferior, constituido por arcilla y limo constituye el Basamento Impermeable del acuífero en la zona de estudio.
 - **DEPÓSITOS CLÁSTICOS RECIENTES**, Relacionados a materiales que se han depositado a lo ancho y largo del Valle de Sama y Pampas adyacentes; que podrían presentar materiales permeables y semipermeables, con capacidad portante de agua subterránea con posibilidades de explotación.
2. La alimentación de aguas subterráneas a la zona de estudio, podría provenir de las filtraciones laterales del Río Sama hacia las pampas El Arrojadero y Cerro del Medio de la Asociación Agro -Industrial 1º de Abril (por comprobar).
3. Existen remotas posibilidades de una recarga secundaria por el centro de las pampas El Arrojadero y Cerro del Medio, relacionados a la alimentación de las partes altas donde se originan las pequeñas quebradas entre ellas Quebrada Honda; así como una probable interconexión estructural con el Río Locumba (por comprobar).
4. Los estudios de sondajes eléctricos verticales han determinado la secuencia de los diferentes horizontes geoelectrónicos que conformarían el probable acuífero de la zona de estudio, hasta interceptar el Basamento Impermeable, según el detalle siguiente:
 - **PRIMER HORIZONTE - SUPERFICIAL**: Constituido por materiales permeables de granulometría variada de origen aluvial; compuesto por arena, grava, limo y bolonería en estado seco, superficialmente carbonatado (caliche), del Cuaternario Reciente.
 - **SEGUNDO HORIZONTE - SUB SUPERFICIAL**: Constituido por materiales de regular permeabilidad, de granulometría variada de origen aluvial; compuesto por arena, gravilla y limo, en estado seco, del Cuaternario Reciente.

- **TERCER HORIZONTE - ACUIFERO PROBABLE:** Constituido por materiales de baja permeabilidad, de estratos intercalados de arena fina, arcilla y limo, en estado húmedo y/o saturados, pertenecientes al Cuaternario Aluvial.
 - **CUARTO HORIZONTE - BASAMENTO IMPERMEABLE:** Estaría compuesto por limo y arcilla compactados, perteneciente a la Formación Moquegua Inferior.
5. Con los resultados de la Prospección Geofísica por Resistividad, se ha podido identificar la configuración del subsuelo, determinándose que en la zona de estudio existe un medio probable para el almacenamiento y circulación del agua subterránea mediante una recarga remota lateral proveniente del río Sama y de Quebrada Honda.
 6. De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente Estudio Hidrogeológico se ha determinado que en la zona de estudio podrían existir recursos hídricos subterráneos a partir de los 75 m y que estos fluyen en un medio poroso de baja permeabilidad hasta los 120m de profundidad; teniendo como basamento impermeable la Formación Moquegua Inferior constituido por arcillas y/o el Basamento Rocoso de rocas intrusivas del Terciario Superior.
 7. Del análisis de las Cartas Geofísicas y Secciones Geológicas - Geofísicas se ha identificado la Zona con posibilidades para ubicar un pozo de exploración de aguas subterráneas que permita evaluar la cantidad y calidad del agua de subsuelo en el punto relacionado con la ubicación del SEV 03, por presentar valores medios bajos de resistividad de 23 Ohm-m, y mayores espesores del acuífero semipermeable, de 45m.

3.2 RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente Estudio Hidrogeológico se recomienda la perforación de 01 pozo de EXPLORACIÓN en el siguiente punto:

POZO PE - 1: Relacionado con la ubicación del SEV-03, con coordenadas UTM WGS-84: 320,630 Este - 8'025,678 Norte. Ubicado a 12.5 km del Cauce del río Sama. El pozo exploratorio a perforar tendrá una profundidad de 120 m y un diámetro de 12".

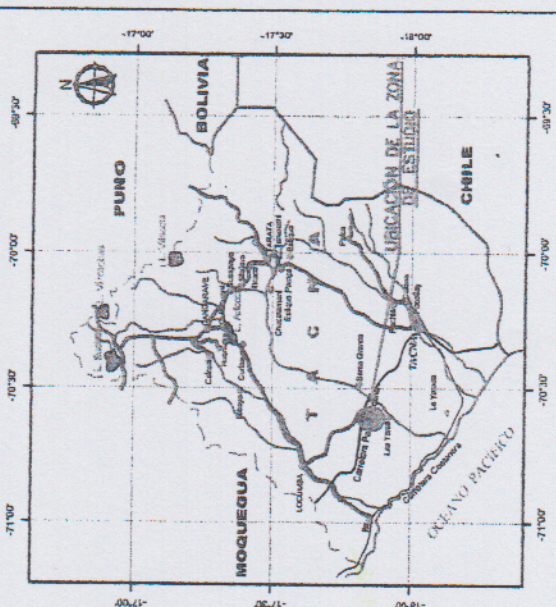
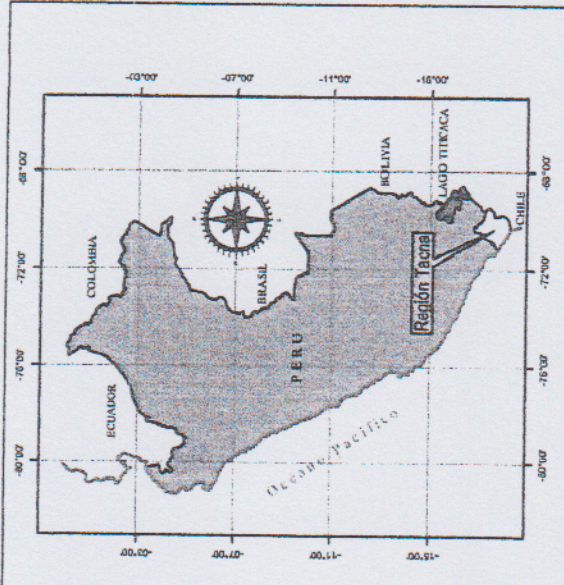
- Las características detalladas del pozo exploratorio recomendado son las siguientes:

Antepozo

0.00m a 75.00m. : Excavación de antepozo diámetro 1.20m. x 3m.
75.00m a 120.00m. : Perforación mecánica diámetro 21".

Entubado

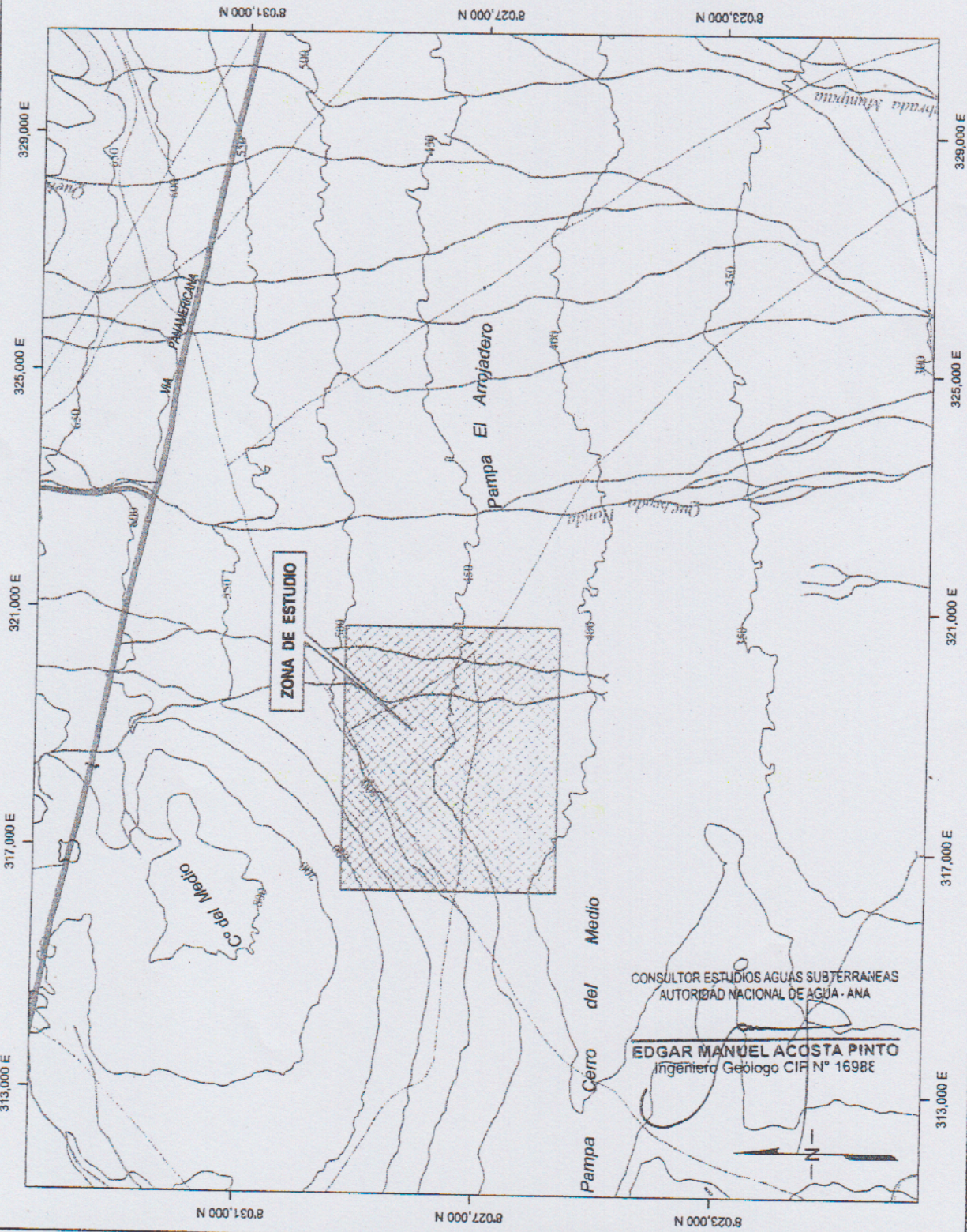
00.00m. a 75.00m. : Tubería ciega 12" diámetro de 6mm. espesor acero negro



LEYENDA

- Unidad Departamental
- Capital de Provincia
- Capital de Distrito
- Límite Intercomunal

ILUSTRACIÓN	N° 01
	UBICACIÓN Región : Tarma Prov. : Tarma
AUTORIZACION DE EJECUCION DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HIDRICA SUBTERRANEA CON PERFORACION DE POZO EXPLORATORIO ASOCIACION AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMBA LAS YARAS - TARMA	
UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	
Consultor	Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
FECHA	1982.11
DISEÑO	BECALIA
DATUM	



CLIENTE:	ASOCIACION AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL
-----------------	---------------------------------------

SIMBOLOGIA	Vía panamericana	Vía carrozable	Curva menor
	Vía asfaltada	Curva mayor	Quebrada

LEYENDA	Zona de estudio
----------------	-----------------

CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRANEAS
 AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA
EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
 Ingeniero Geólogo CIF N° 1698E

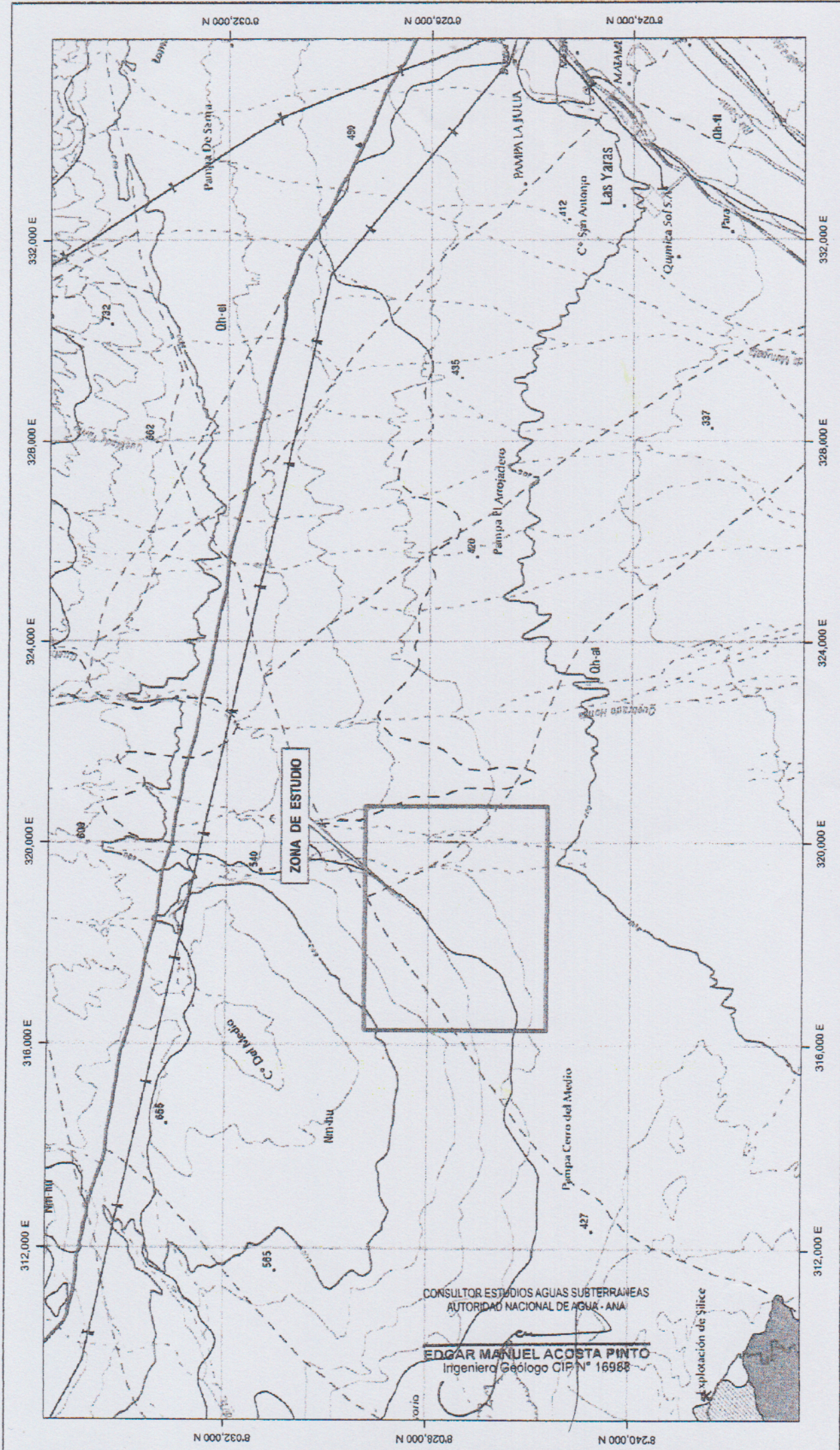
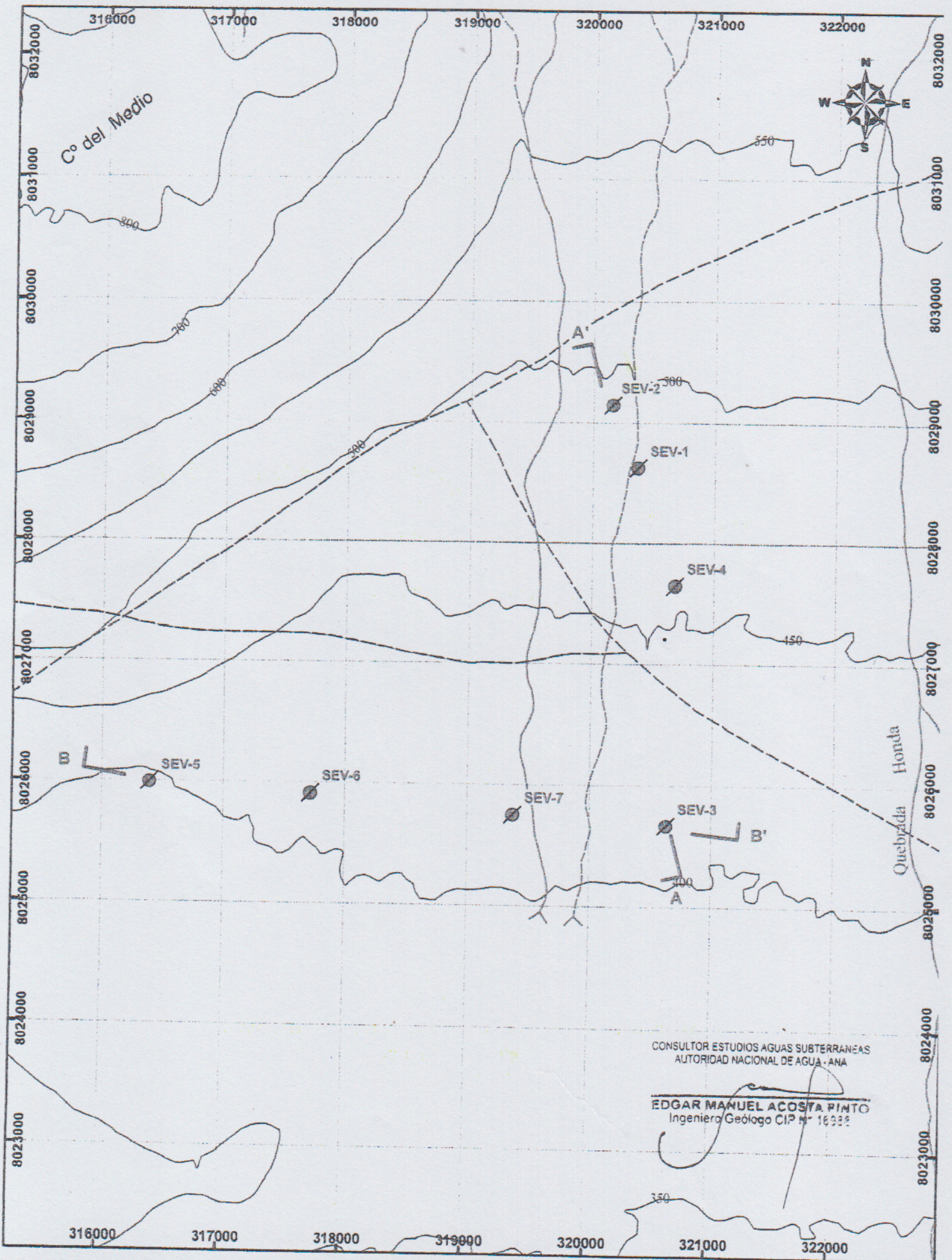




ILUSTRACIÓN N° 02	
UBICACIÓN Región I TACNA Prov. I TACNA	
AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA	
PLANO GEOLÓGICO	
Consultor:	Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
FECHA:	Tercer A. N. O.
CLIENTE: ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL	
SIMBOLOGÍA	
Vía Panamericana	Curva de nivel
Vía afirmada	Río
Zona de estudio	Quebrada
LEYENDA	
Depósito edílico	Depósito aluvial
Depósito fluvial	Formación Huayillas
Granodiorita-Diorita	Formación Chocolate
CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRÁNEAS AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO Ingeniero Geólogo CIP N° 16988	



CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRANEAS
 AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA

EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
 Ingeniero Geólogo CIP N° 16335

SIMBOLOGIA:

-  SEV
-  SECCIÓN GEOFÍSICA

CLIENTE:

ASOCIACIÓN
 AGROINDUSTRIAL
 1° DE ABRIL

AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD
 HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO
 ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA

UBICACIÓN DE SEVs Y SECCIONES GEOFÍSICAS

Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO

FECHA: AGOSTO 2018

DISENYO: Ing. F. COARITAA

ESCALA: 1/40,000

PUERTE: PROPIA

ILUSTRACIÓN:

N°03

UBICACIÓN:

Región : Tacna
 Prov. : Tacna
 Dist. : Sama L. Yaras

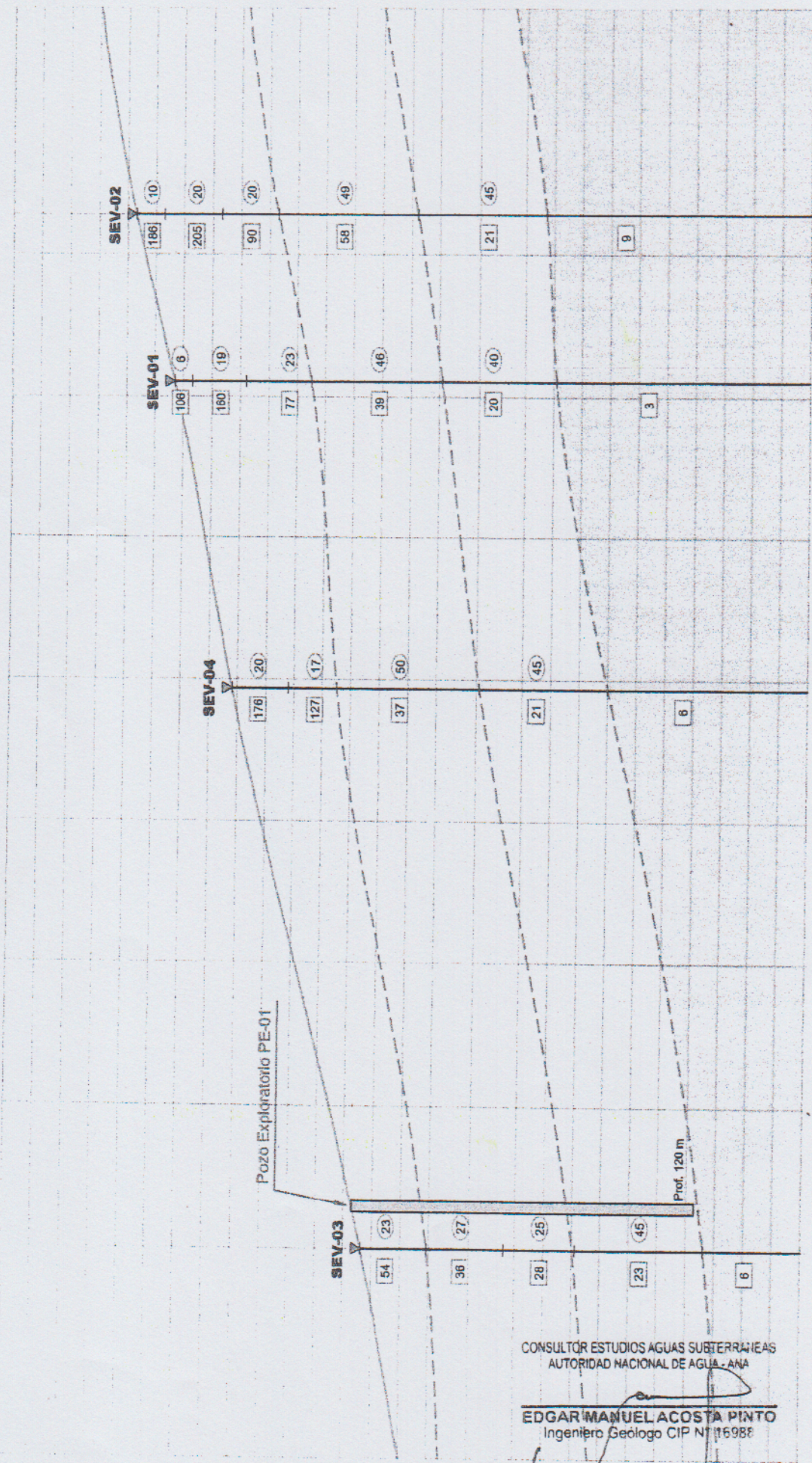
SECCIÓN GEOLÓGICA - GEOFÍSICA A-A' ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL

ALTURA
S
A

540
520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260

ALTURA
N
A'

540
520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260



DISTANCIA (metros) 0 500 1,000 1,500 2,000 2,500 3,000 3,500 3,637

LEYENDA

[Symbol]	Área, grava, limo y bolsones, en estado seco, superficialmente carbonatado (caliche), Buena permeabilidad.
[Symbol]	Área, grava y limo, en estado seco. Regular permeabilidad.
[Symbol]	Área fina, arena y limo, en estado húmedo y saturado. Buja permeabilidad.
[Symbol]	Área y limo compactos.

SIMBOLOGÍA

SEV-01	▼	Sondaje Eléctrico Vertical
[Symbol]	—	Superficie del terreno
[Symbol]	—	Contacto geoelectrico
[Symbol]	⊙	Resistividad en ohmios - metro
[Symbol]	⊙	Espesor en metros

CLIENTE:
ASOCIACIÓN
AGROINDUSTRIAL
1° DE ABRIL

**AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD
HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO
ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SANJA LAS YARAS - TACNA**

SECCIÓN GEOELÉCTRICA A-A'

Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO

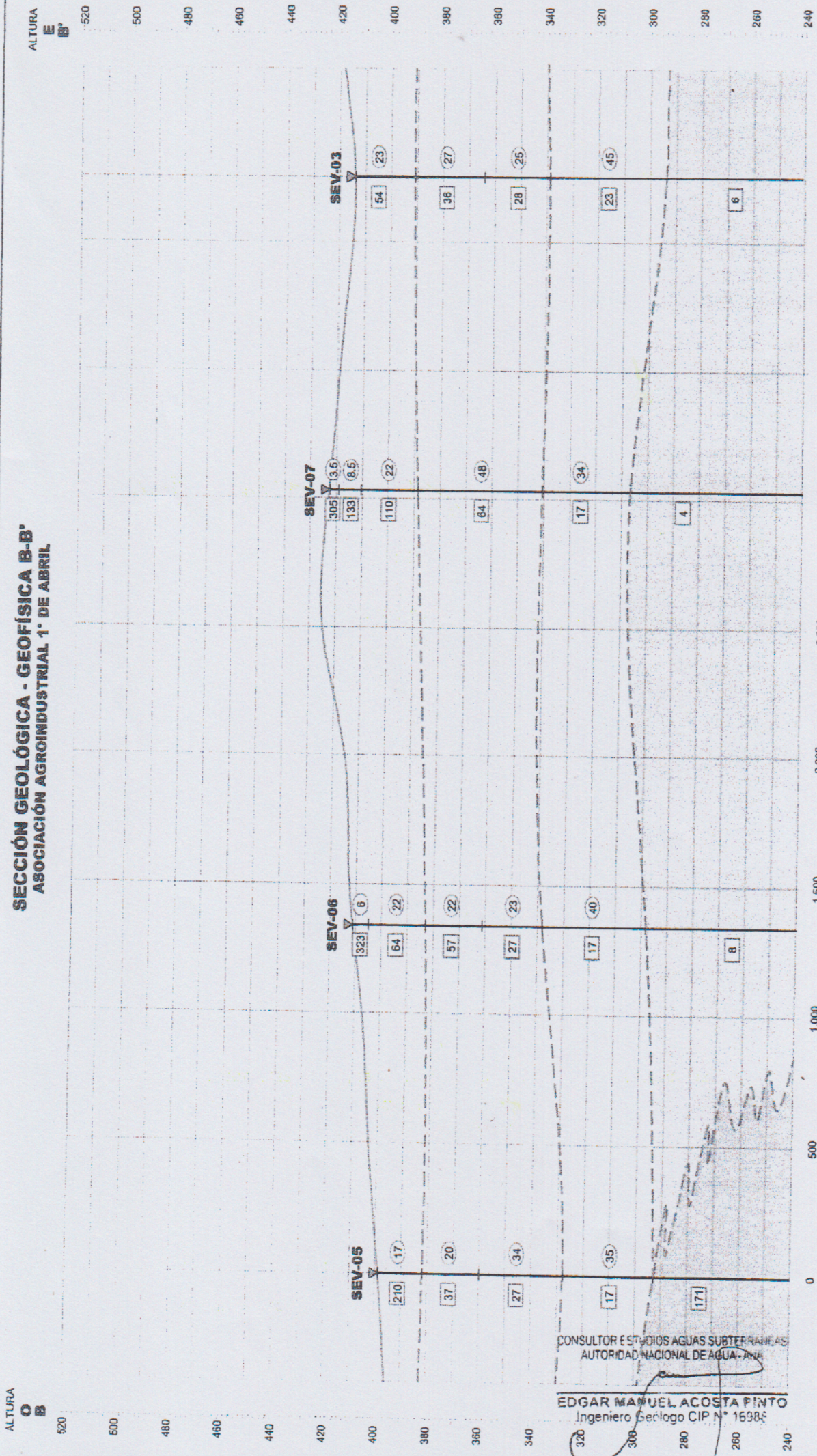
ILUSTRACIÓN
N° 04

UBICACIÓN
Región de TACNA
Prov. de TACNA

CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRÁNEAS
AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA

EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
Ingeniero Geólogo CIP N° 16988

SECCIÓN GEOLÓGICA - GEOFÍSICA B-B' ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL



CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRÁNEAS
AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA
EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
Ingeniero Geólogo CIP N° 16986

- LEYENDA**
- Arena, grava, limo y húmeda, en estado seco, superficialmente carbonatado (caliza). Buena permeabilidad.
 - Arena, grava y limo, en estado seco.
 - Regulár permeabilidad.
 - Arena fina, arcilla y limo, en estado húmedo y/o saturados.
 - Baja permeabilidad.
 - Arcilla y limo compactados.
 - Impermeable.

- SIMBOLOGÍA**
- SEV-01 ∇ Sondaje Eléctrico Vertical
 - \square Resistividad en ohmios - metro
 - \odot Espesor en metros
 - Superficie del terreno
 - Contacto geoelectrónico

CLIENTE:
ASOCIACIÓN
AGROINDUSTRIAL
1° DE ABRIL

**AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD
HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO
ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - BAMA LAS YARAS - TACRA**

SECCIÓN GEOELÉCTRICA B-B'

Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
FECHA: [] / [] / []

ILUSTRACIÓN N° 05

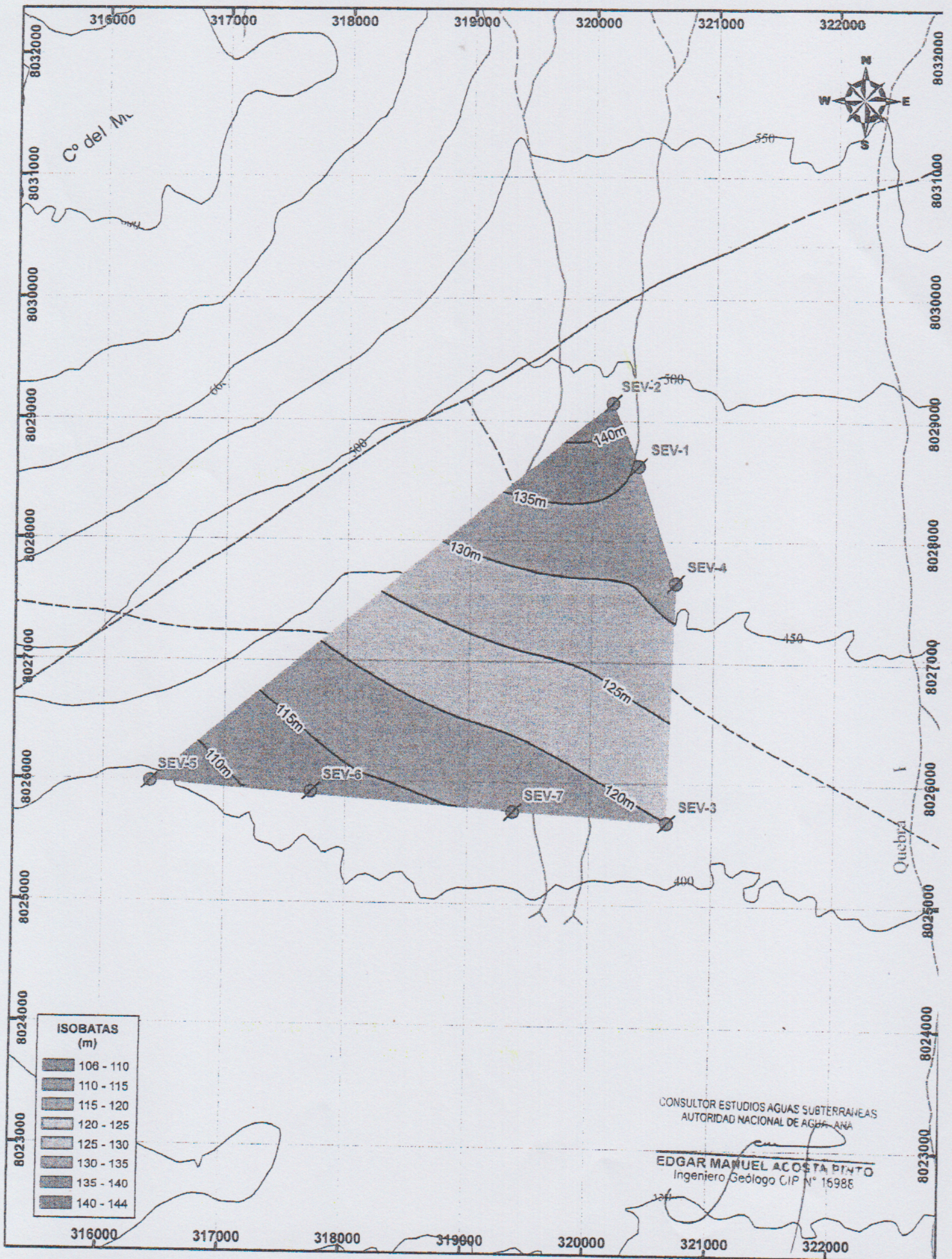
UBICACIÓN:
Región: TACRA
Prov.: TACRA

ALTURA
E
B'

520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240

DISTANCIA (metros)

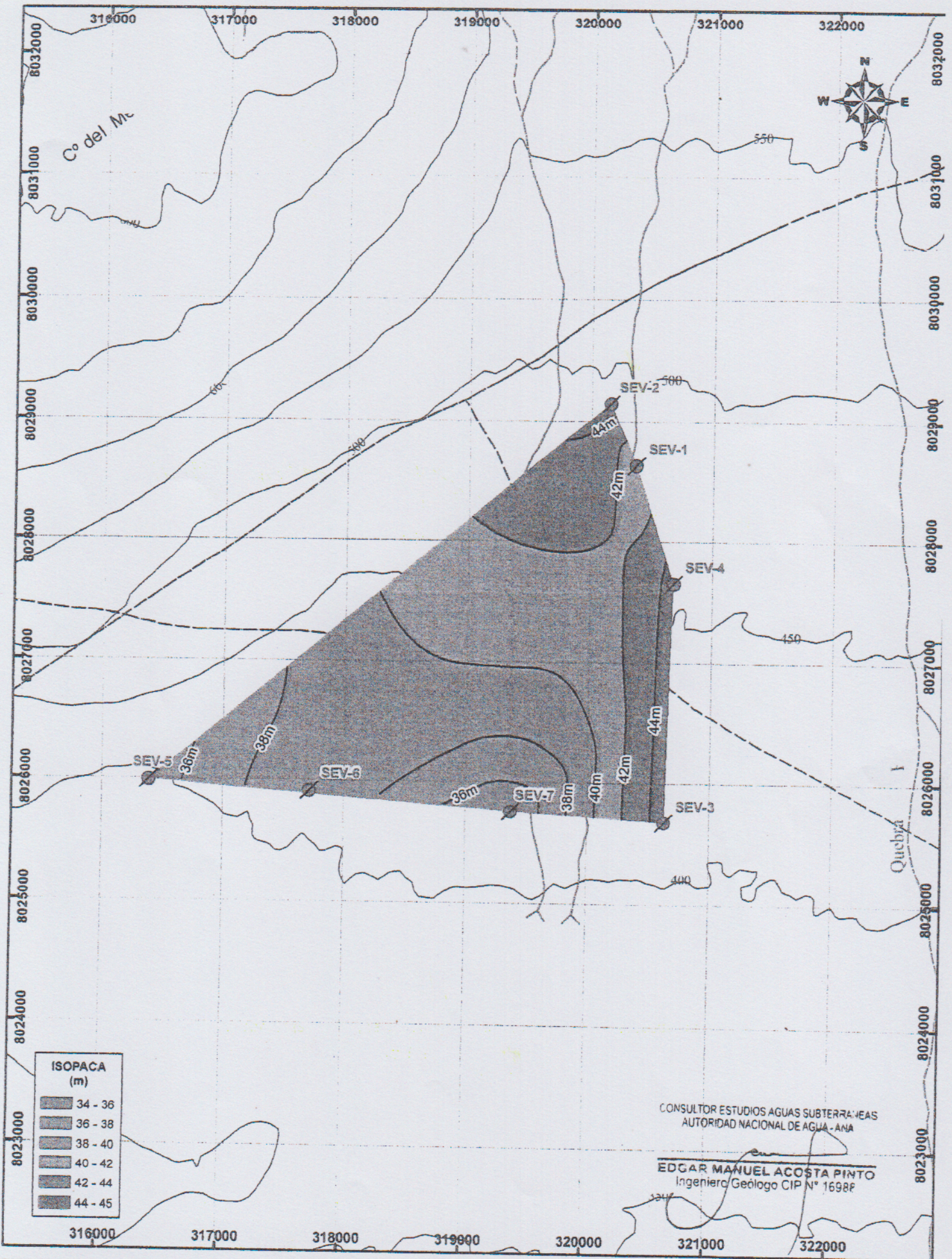
0 500 1,000 1,500 2,000 2,500 3,000 3,500 4,000 4,247



ISOBATAS (m)	
[Shaded Box]	106 - 110
[Shaded Box]	110 - 115
[Shaded Box]	115 - 120
[Shaded Box]	120 - 125
[Shaded Box]	125 - 130
[Shaded Box]	130 - 135
[Shaded Box]	135 - 140
[Shaded Box]	140 - 144


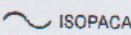
CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRANEAS
 AUTORIDAD NACIONAL DE AGUAS ANA
 EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
 Ingeniero Geólogo C.I.P. N° 16986

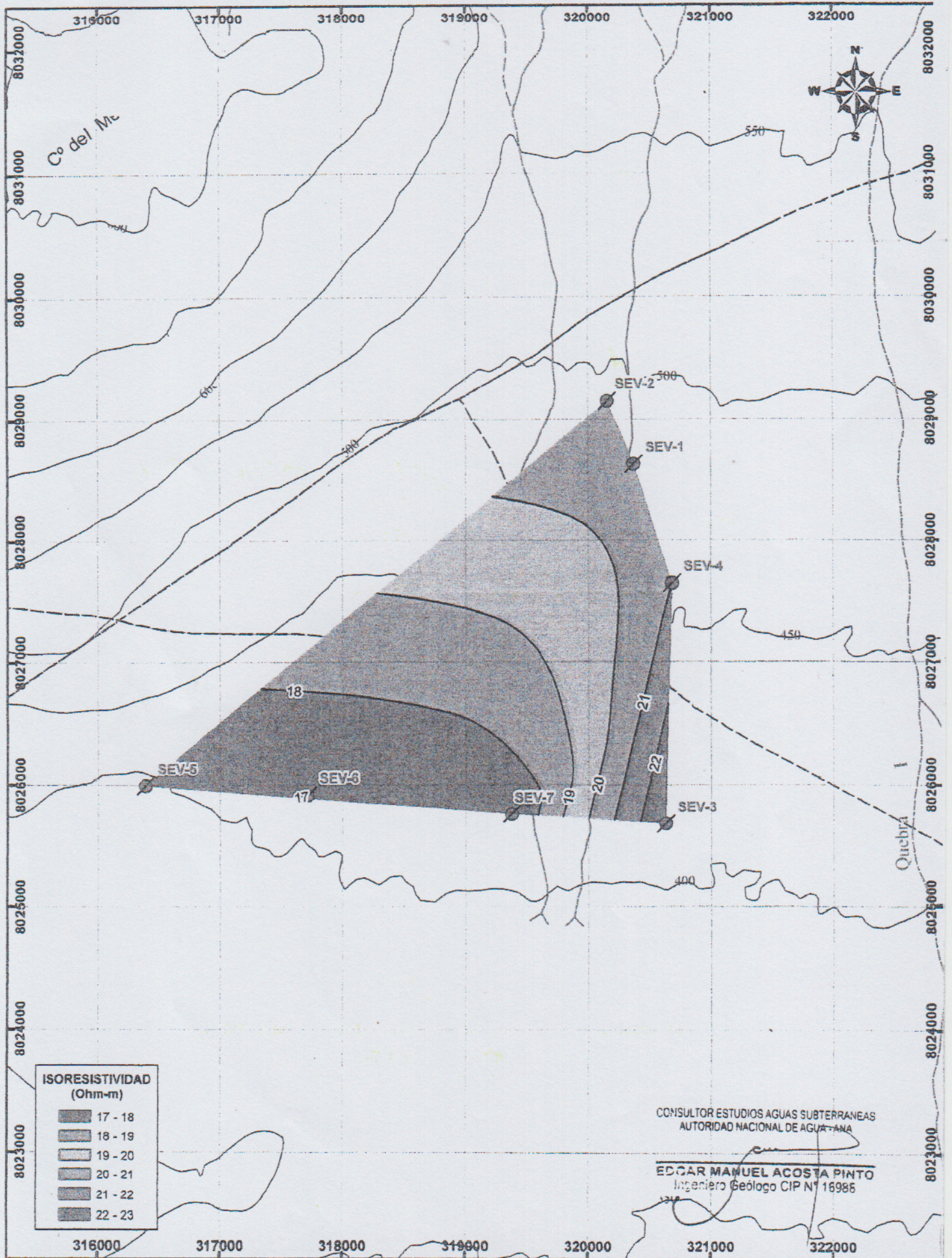
SIMBOLOGIA: SEV ISOBATA	CLIENTE: ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL	AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA		ILUSTRACIÓN: N°06 UBICACIÓN: Región : Tacna Prov. : Tacna Dist. : Sama L. Yaras		
		TECHO DEL BASAMENTO IMPERMEABLE				
		Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO	FECHA: AGOSTO 2018	DISEÑO: Ing. F. COARITAA	ESCALA: 1/40,000	FUENTE: PROPIA



CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRANEAS
AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA

EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
Ingeniero Geólogo CIP N° 1698P

SIMBOLOGIA:  SEV  ISOPACA	CLIENTE: ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL	AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA			ILUSTRACION: N°07
		ESPESOR DEL HORIZONTE PERMEABLE SATURADO Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO			UBICACIÓN: Región : Tacna Prov. : Tacna Dist. : Sama L. Yaras
		FECHA: AGOSTO 2018	DISEÑO: Ing. F. COARITA A	ESCALA: 1/40,000	FUENTE: PROPIA





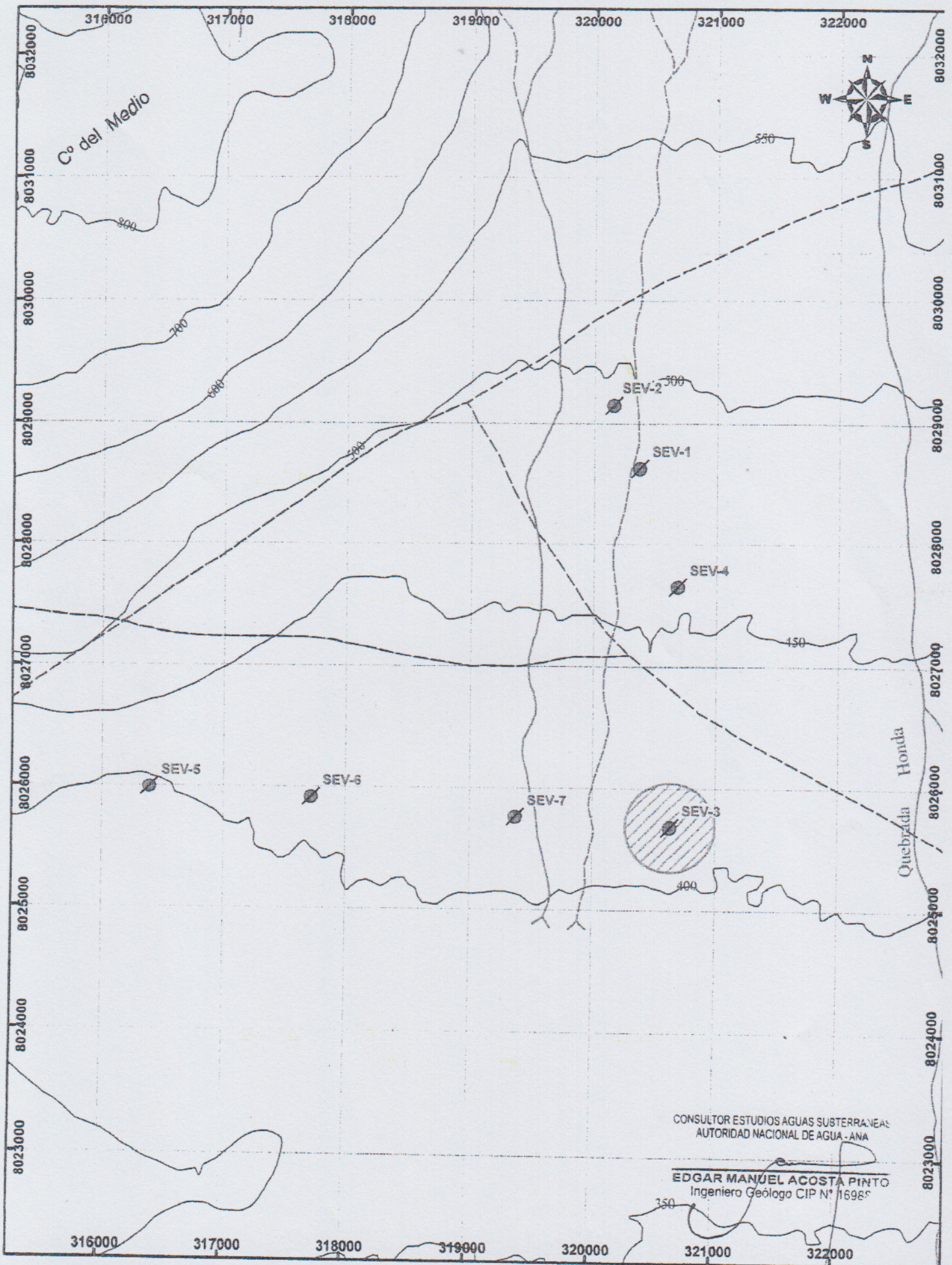
ISORESISTIVIDAD (Ohm-m)

17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23

CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRANEAS
AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA-TANA



EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
Ingeniero Geólogo CIP N° 16986

SIMBOLOGIA:  SEV  ISORESISTIVIDAD	CLIENTE: ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL.	AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACHA			ILUSTRACIÓN: N°08 UBICACIÓN: Región : Tona Prov. : Tacha Dist. : Sama L. Yaras		
		RESISTIVIDAD DEL HORIZONTE SATURADO Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO					
FECHA: AGOSTO 2018		DISEÑO: Ing. F. COARITA A		ESCALA: 1/40,000		FUENTE: PROPIA	



CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRÁNEAS
AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA - ANA

EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
Ingeniero Geólogo CIP N° 16988

<p>SIMBOLOGIA:</p>  SEV  SECTOR FAVORABLE	<p>CLIENTE:</p> <p>ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL</p>	<p>AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA</p> <p>SECTOR CON CONDICIONES GEOFÍSICAS FAVORABLES</p> <p>Consultor: Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO</p> <table border="1"> <tr> <td>FECHA: AGOSTO 2018</td> <td>DISEÑO: Ing. F. COARITA A</td> <td>ESCALA: 1/40,000</td> <td>FUENTE: PROPIA</td> </tr> </table>	FECHA: AGOSTO 2018	DISEÑO: Ing. F. COARITA A	ESCALA: 1/40,000	FUENTE: PROPIA	<p>ILUSTRACION:</p> <p>N°09</p> <p>UBICACIÓN:</p> <p>Región : Tacna Prov. : Tacna Dist. : Sama L. Yaras</p>
FECHA: AGOSTO 2018	DISEÑO: Ing. F. COARITA A	ESCALA: 1/40,000	FUENTE: PROPIA				

DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO POZO EXPLORATORIO PE-01

Ubicación : Quebrada Honda - Sama Las Yaras

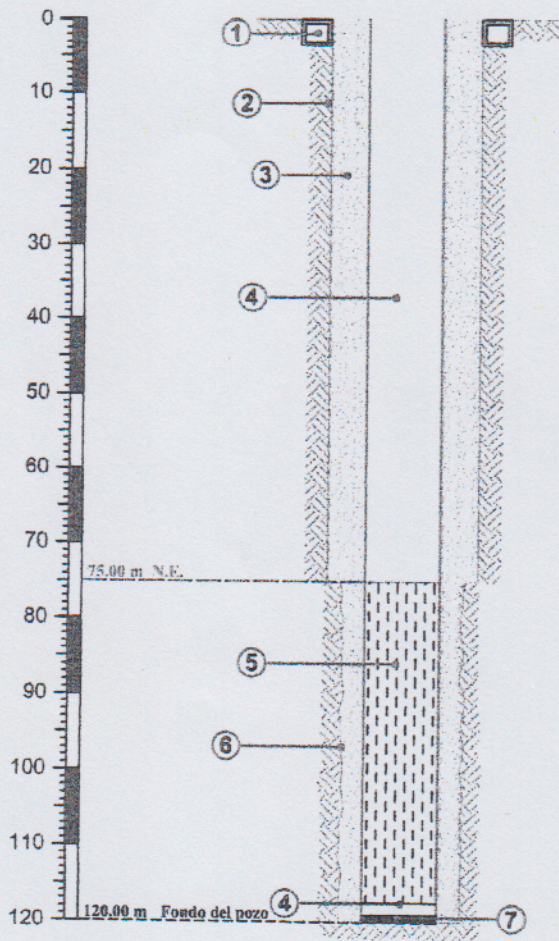
Escala : 1/1,000

Pozo : PE-01

Fecha : Agosto - 2018

SEV : SEV - 03

PROF.	DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO	COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE
-------	--------------------------	-----------------------------



	Buena permeabilidad.
	Arena, gravilla y limo, en estado seco. Regular permeabilidad.
	NIVEL ESTÁTICO PROBABLE
	Intercalaciones de arena fina, arcilla y limo en estado húmedo y/o saturado. Baja permeabilidad.
	Arcilla y limo compactados.

ESPECIFICACIONES

- | | |
|---|--|
| 1. Anillo de concreto 1.5 x 3.0 m | 5. Tubería filtro de acero negro, tipo puente trapezoidal
12" diámetro, SLOT 0.5 - 1.0 mm |
| 2. Antepozo de profundidad = 75.00 m | 6. Perforación a pared desnuda 21" diámetro |
| 3. Grava seleccionada de 1/2" a 1" | 7. Sello de fondo de cemento (1m) |
| 4. Tubería ciega de acero negro de 12" diámetro | |

CONSULTOR ESTUDIOS AGUAS SUBTERRANEAS
AUTORIDAD NACIONAL DE AGUAS
EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO
Ingeniero/Geólogo CIP N° 16988

CLIENTE:

ASOCIACIÓN
AGROINDUSTRIAL
1° DE ABRIL

**AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE DISPONIBILIDAD
HÍDRICA SUBTERRÁNEA CON PERFORACIÓN DE POZO EXPLORATORIO
ASOCIACIÓN AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL - SAMA LAS YARAS - TACNA**

DISEÑO TÉCNICO PROBABLE POZO EXPLORATORIO PE-01

Consultor:

Ing. EDGAR MANUEL ACOSTA PINTO

FECHA:

AGOSTO 2018

DISEÑO:

Ing. F. COARITA A.

ESCALA:

1/1,000

ILUSTRACIÓN

N° 10

UBICACIÓN

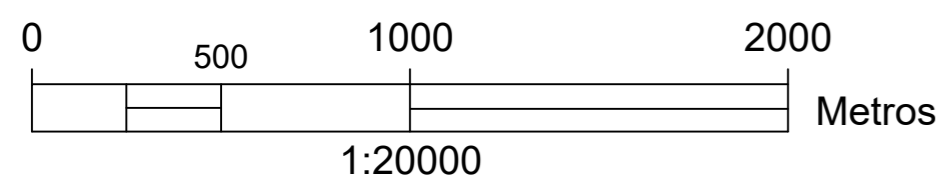
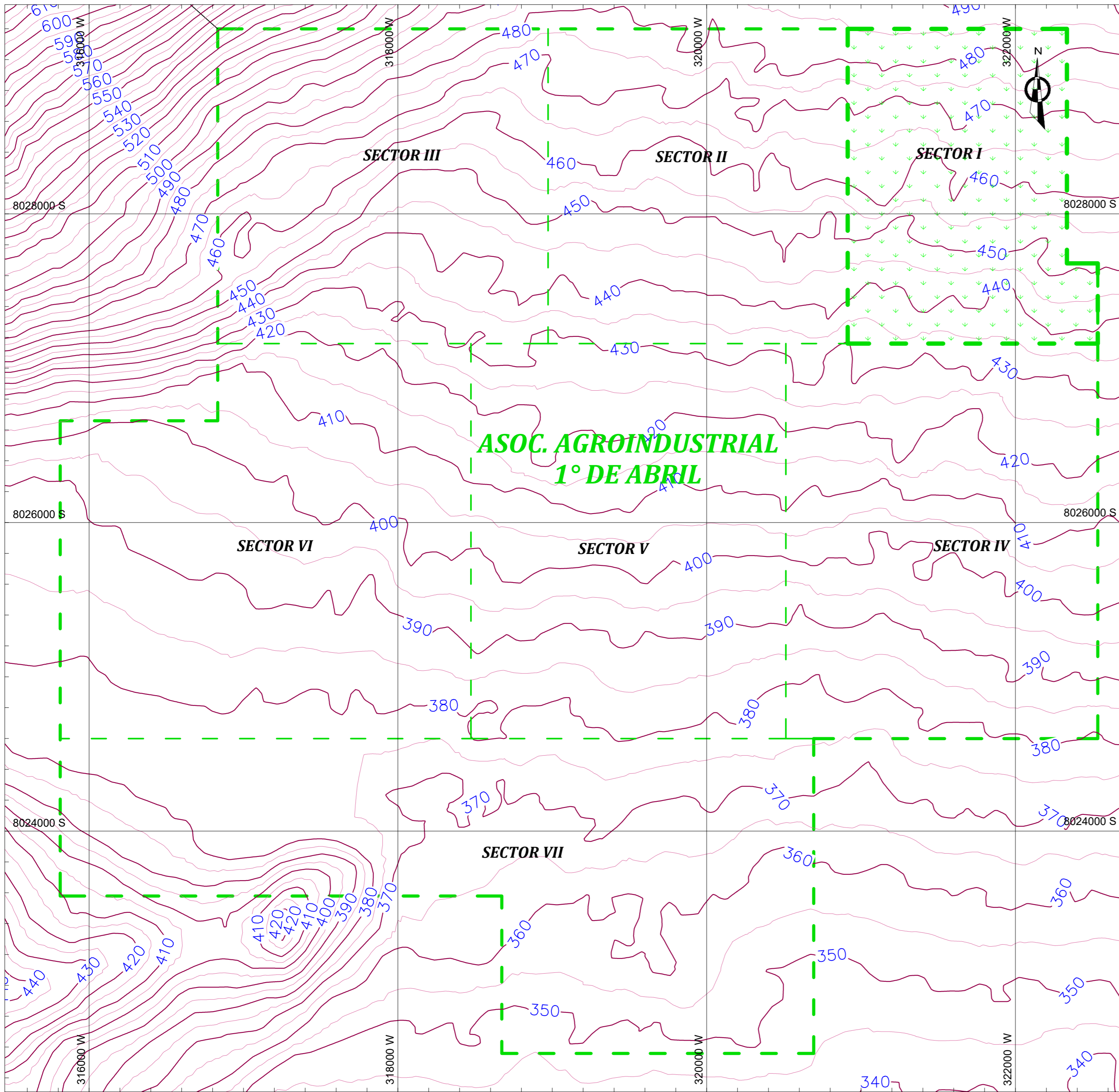
Región : TACNA

Prov. : TACNA

Dist. : SAMA L. YARAS

ANEXO E:

PLANO TOPOGRAFICO DEL PROYECTO



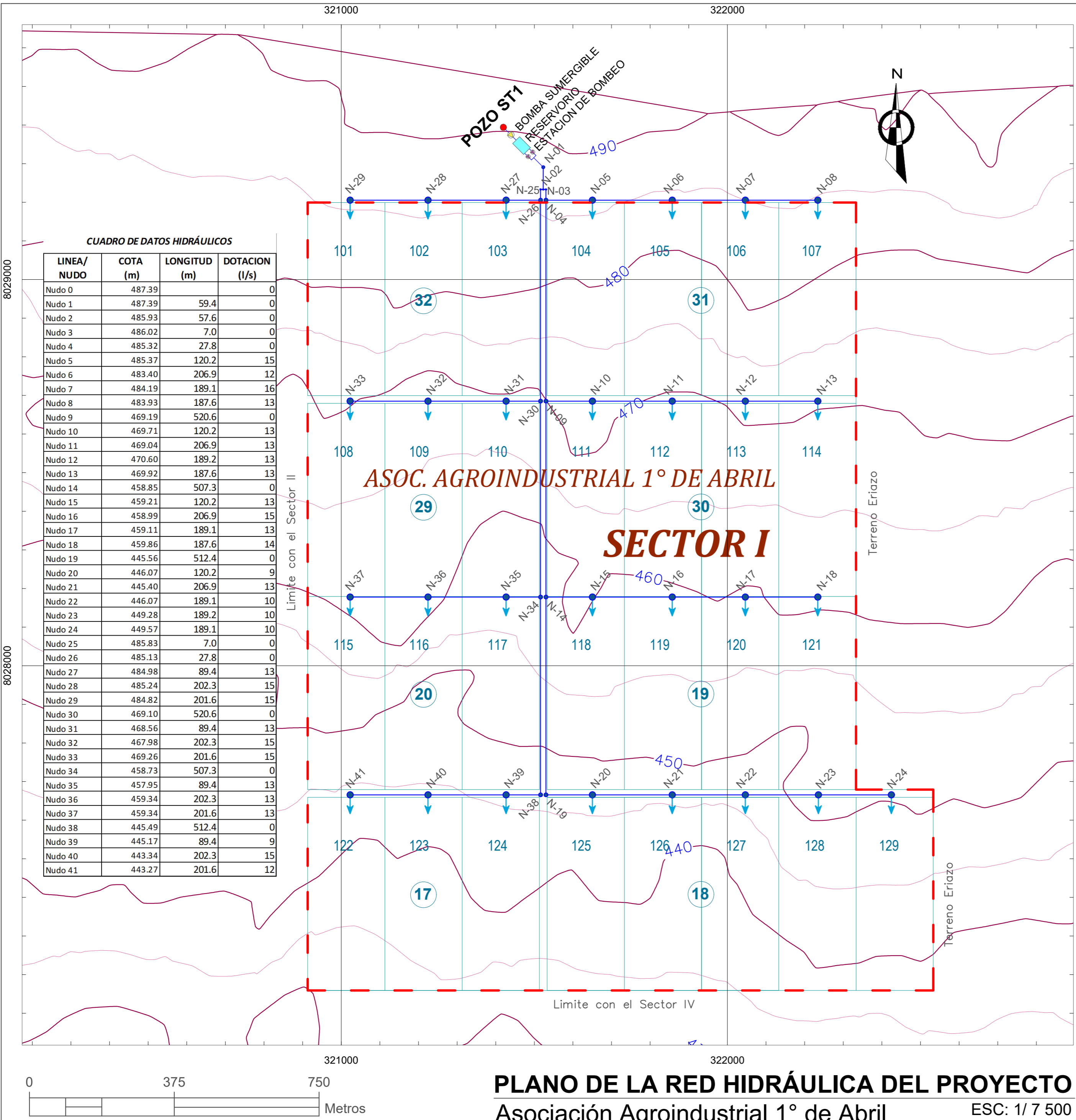
PLANO DE TOPOGRAFIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
 ESC: 1/ 20000



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
PLANO DE: <p align="center">TOPOGRAFIA DE LA ZONA DE ESTUDIO</p>		
ASESOR: Ph.D. EDWIN E. PINO VARGAS	CADISTA: A.G.P.H.	02
RESPONSABLE: Bach. ALFREDO G. PANTI HUACCA	CODIGO: 2012 - 37065	
UBICACION: SAMA LAS YARAS - TACNA	FECHA: JULIO - 2020	
ESCALA: INDICADA	ANOTACION: METRO	

ANEXO F:

PLANO DE LA RED HIDRAULICA DEL PROYECTO



POZO ST1
 BOMBA SUMERGIBLE
 RESERVIORIO
 ESTACION DE BOMBEO



CUADRO DE DATOS HIDRÁULICOS

LINEA/NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	DOTACION (l/s)
Nudo 0	487.39		0
Nudo 1	487.39	59.4	0
Nudo 2	485.93	57.6	0
Nudo 3	486.02	7.0	0
Nudo 4	485.32	27.8	0
Nudo 5	485.37	120.2	15
Nudo 6	483.40	206.9	12
Nudo 7	484.19	189.1	16
Nudo 8	483.93	187.6	13
Nudo 9	469.19	520.6	0
Nudo 10	469.71	120.2	13
Nudo 11	469.04	206.9	13
Nudo 12	470.60	189.2	13
Nudo 13	469.92	187.6	13
Nudo 14	458.85	507.3	0
Nudo 15	459.21	120.2	13
Nudo 16	458.99	206.9	15
Nudo 17	459.11	189.1	13
Nudo 18	459.86	187.6	14
Nudo 19	445.56	512.4	0
Nudo 20	446.07	120.2	9
Nudo 21	445.40	206.9	13
Nudo 22	446.07	189.1	10
Nudo 23	449.28	189.2	10
Nudo 24	449.57	189.1	10
Nudo 25	485.83	7.0	0
Nudo 26	485.13	27.8	0
Nudo 27	484.98	89.4	13
Nudo 28	485.24	202.3	15
Nudo 29	484.82	201.6	15
Nudo 30	469.10	520.6	0
Nudo 31	468.56	89.4	13
Nudo 32	467.98	202.3	15
Nudo 33	469.26	201.6	15
Nudo 34	458.73	507.3	0
Nudo 35	457.95	89.4	13
Nudo 36	459.34	202.3	13
Nudo 37	459.34	201.6	13
Nudo 38	445.49	512.4	0
Nudo 39	445.17	89.4	9
Nudo 40	443.34	202.3	15
Nudo 41	443.27	201.6	12

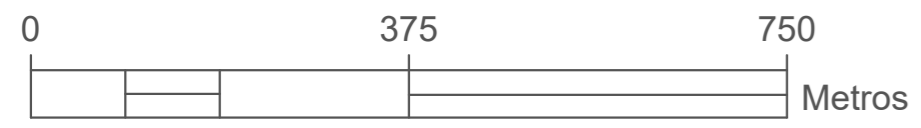
ASOC. AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL
SECTOR I

Limite con el Sector II

Terreno Eriazo

Limite con el Sector IV

Terreno Eriazo



PLANO DE LA RED HIDRÁULICA DEL PROYECTO
 Asociación Agroindustrial 1° de Abril
 ESC: 1/ 7 500



LEYENDA

- Pozo
- Bombeo
- ◆ Reservorio
- Tuberia
- ↙ Hidrante
- Parcela
- Cotas
- Nudos
- Zona estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
PLANO DE: RED HIDRÁULICA DEL PROYECTO		
ASESOR: Ph.D. EDWIN E. PINO VARGAS	CADISTA: A.G.P.H.	03
RESPONSABLE: Bach. ALFREDO G. PANTI HUACCA	CODIGO: 2012 - 37065	
UBICACION: SAMA LAS YARAS - TACNA	FECHA: JULIO - 2020	
ESCALA: INDICADA	DATUM: UTM WGS84 - ZONA 19 SUR	

ANEXO G:

INFORMACION METEOROLOGICA DEL SENAMHI

DATOS DEL TIEMPO DE LA ESTACION DE SAMA GRANDE - TIPO CONVENCIONAL METEOROLOGICA

(2015 - 2020)

Estación : SAMA GRANDE , Tipo Convencional - Meteorológica

Dpto. : TACNA

Provincia : TACNA

Distrito : INCLAN

Latitud : 17° 47' 15.3"

Longitud : 70° 29' 22.6"

Altitud : 529

Meteorología	Tem. Mínima (°C)	Tem. Máxima (°C)	Tem. Media (°C)	Humedad Relativa (%)	Vel. Viento (m/s)	Vel. Viento (Km/dia)	Insolación (Cropwat) (horas)	Precipitación Media (mm/mes)
Enero	17.00	29.12	23.06	90.95	4	345.6	8.9	3.61
Febrero	17.66	30.08	23.87	89.68	4	345.6	8.9	1.83
Marzo	16.05	28.76	22.41	90.97	4	345.6	8.8	0.53
Abril	14.39	27.12	20.76	90.89	4	345.6	8.4	1.11
Mayo	12.84	24.70	18.77	90.81	4	345.6	7.6	1.67
Junio	11.77	22.48	17.13	90.50	4	345.6	6.7	2.92
Julio	11.33	21.22	16.28	90.80	4	345.6	6.2	3.29
Agosto	11.00	22.39	16.70	90.68	4	345.6	7.3	5.07
Setiembre	11.52	23.38	17.45	90.52	4	345.6	7.9	7.26
Octubre	12.37	24.71	18.54	90.80	4	345.6	8.4	3.00
Noviembre	13.58	26.45	20.02	90.89	4	345.6	9.1	2.47
Diciembre	14.75	27.77	21.26	90.70	4	345.6	9.4	2.04
Promedio	13.69	25.68	19.69	90.68	4	345.6	8.1	2.90

ANEXO H:

CAUDAL FICTICIO CONTINUO POR PARCELA

Caudal ficticio continuo critico ponderado por parcela

PARCELA	AREA TOTAL (Has)	AREA DE CULTIVOS (ha)				AREA EFECT. (ha)	OTROS USOS (ha)	q critico pond. (l/s.ha)
		TARA	OLIVO	CITRICOS	AGUACATE			
101	10	6.0	2.0	0.5	0.0	8.5	1.5	0.30
102	10	6.0	0.0	1.2	1.0	8.2	1.8	0.31
103	10	5.0	1.7	0.5	1.0	8.2	1.8	0.33
104	10	6.0	1.5	1.0	0.0	8.5	1.5	0.30
105	10	4.5	2.8	0.0	0.5	7.8	2.2	0.32
106	10	4.5	2.0	1.0	0.5	8.0	2.0	0.33
107	10	5.5	1.0	1.3	0.5	8.3	1.7	0.32
108	10	5.5	1.5	0.0	1.0	8.0	2.0	0.31
109	10	6.0	2.0	0.5	0.0	8.5	1.5	0.30
110	10	5.7	1.2	0.0	1.5	8.4	1.6	0.32
111	10	4.0	0.0	1.5	1.8	7.3	2.7	0.36
112	10	5.0	1.5	0.0	1.4	7.9	2.1	0.33
113	10	7.0	1.2	1.0	0.0	9.2	0.8	0.29
114	10	6.0	1.7	1.0	0.0	8.7	1.3	0.30
115	10	6.0	1.5	0.0	1.0	8.5	1.5	0.31
116	10	6.0	1.0	0.0	1.5	8.5	1.5	0.32
117	10	6.0	1.6	0.0	1.0	8.6	1.4	0.31
118	10	4.5	1.2	0.0	2.0	7.7	2.3	0.35
119	10	5.5	1.0	0.0	1.5	8.0	2.0	0.32
120	10	7.0	1.0	0.0	1.0	9.0	1.0	0.30
121	10	7.0	1.0	0.5	0.0	8.5	1.5	0.28
122	10	6.0	1.0	0.0	1.0	8.0	2.0	0.30
123	10	6.5	1.0	0.0	1.0	8.5	1.5	0.30
124	10	5.0	0.0	1.5	0.0	6.5	3.5	0.29
125	10	5.0	1.5	0.0	0.0	6.5	3.5	0.29
126	10	6.0	1.0	1.0	0.5	8.5	1.5	0.31
127	10	6.7	1.0	0.0	0.0	7.7	2.3	0.27
128	10	6.0	1.5	0.0	0.0	7.5	2.5	0.28
129	10	6.0	1.5	0.0	0.0	7.5	2.5	0.28
TOTAL	290	165.9	36.9	12.5	19.7	235	55	
		71%	16%	5%	8%	100.0%		

ANEXO I:

PLIEGO TARIFARIO DE ELECTROSUR S.A. (2019)

Calculado de acuerdo a Factores de Actualización Tarifaria de OSINERGMIN

PLIEGO Nro. 009-2019-ELS
INCLUYE FOSE, NO INCLUYE IGV

	Unidad	TACNA	MOQUEGUA	ILO	YARADA	PUQUINA OMAËTE	TOMASRI	ICHUË	MOQUEGUA RURAL	TARATA	SER TORATA	SER INCLAN
		I2	I3	I3	I3	I4	I5	I5	I5	I5	SER	SER
TARIFAS PARA SUMINISTRO EN MEDIA TENSIÓN												
MT2 :	MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA Y POTENCIA ACTIVA 2E 2P											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	14.82	14.82	16.34	16.34	16.34	17.94	17.94
Cargo por energía activa en horas de punta	Cent.S./AWh	25.31	24.65	24.84	25.42	25.16	25.50	25.58	25.15	25.49	24.73	25.49
Cargo por energía activa en horas fuera de punta	Cent.S./AWh	20.46	19.99	20.10	20.55	20.33	20.63	20.67	20.40	20.91	20.05	20.61
Cargo por potencia activa de generación en horas de punta	S/AW-mes	57.51	56.70	56.70	57.48	60.65	60.28	56.94	55.82	56.60	53.09	53.84
Cargo por potencia activa de distribución en horas de punta	S/AW-mes	11.14	13.45	13.45	13.45	14.04	14.04	12.84	12.84	12.84	12.84	12.84
Cargo por exceso de potencia de distribución en horas fuera de punta	S/AW-mes	12.84	14.55	14.55	14.55	13.95	13.95	17.53	17.53	17.53	17.03	17.03
Cargo por energía reactiva	Cent.S./KVARh	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
MT3 :	MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA Y SIMPLE DE POTENCIA ACTIVA 2E 1P											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	13.49	13.49	14.54	14.54	14.54	17.94	17.94
Cargo por energía activa en horas de punta	Cent.S./AWh	25.31	24.65	24.84	25.42	25.16	25.50	25.58	25.15	25.49	24.73	25.49
Cargo por energía activa en horas fuera de punta	Cent.S./AWh	20.46	19.99	20.10	20.55	20.33	20.63	20.67	20.40	20.91	20.05	20.61
Cargo por potencia activa de generación:												
Presente en punta	S/AW-mes	53.56	48.89	48.89	49.57	56.80	56.46	59.08	57.92	58.72	56.96	57.74
Presente fuera de punta	S/AW-mes	26.44	30.47	30.47	30.89	36.65	36.43	37.62	36.88	37.39	36.23	36.72
Cargo por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	S/AW-mes	12.17	14.57	14.57	14.57	14.48	14.48	15.41	15.41	15.41	14.74	14.74
Presente fuera de punta	S/AW-mes	12.52	14.56	14.56	14.56	14.25	14.25	16.13	16.13	16.13	15.84	15.84
Cargo por energía reactiva	Cent.S./KVARh	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
MT4 :	MEDICION SIMPLE DE ENERGIA Y POTENCIA ACTIVA 1E 1P											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	13.49	13.49	14.54	14.54	14.54	17.94	17.94
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	21.63	21.11	21.24	21.73	21.50	21.80	21.85	21.55	22.01	21.18	21.79
Cargo por potencia activa de generación:												
Presente en punta	S/AW-mes	53.56	48.89	48.89	49.57	56.80	56.46	59.08	57.92	58.72	56.96	57.74
Presente fuera de punta	S/AW-mes	26.44	30.47	30.47	30.89	36.65	36.43	37.62	36.88	37.39	36.23	36.72
Cargo por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	S/AW-mes	12.17	14.57	14.57	14.57	14.48	14.48	15.41	15.41	15.41	14.74	14.74
Presente fuera de punta	S/AW-mes	12.52	14.56	14.56	14.56	14.25	14.25	16.13	16.13	16.13	15.84	15.84
Cargo por energía reactiva	Cent.S./KVARh	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
TARIFAS PARA SUMINISTRO EN BAJA TENSIÓN												
BT2 :	MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA Y POTENCIA ACTIVA 2E 2P											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	14.82	14.82	16.34	16.34	16.34	17.94	17.94
Cargo por energía activa en horas de punta	Cent.S./AWh	27.43	26.76	26.96	27.59	26.99	27.36	27.30	26.84	27.21	26.28	27.09
Cargo por energía activa en horas fuera de punta	Cent.S./AWh	22.18	21.70	21.82	22.31	21.81	22.13	22.06	21.77	22.31	21.31	21.91
Cargo por potencia activa de generación en horas de punta	S/AW-mes	57.69	58.20	58.20	59.01	57.36	57.02	59.58	58.41	59.22	55.26	56.03
Cargo por potencia activa de distribución en horas de punta	S/AW-mes	53.21	64.09	64.09	64.09	62.20	62.20	63.70	63.70	63.70	63.64	63.64
Cargo por exceso de potencia de distribución en horas fuera de punta	S/AW-mes	36.50	47.95	47.95	47.95	48.55	48.55	47.95	47.95	47.95	47.95	47.95
Cargo por energía reactiva	Cent.S./KVARh	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
BT3 :	MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA Y SIMPLE DE POTENCIA ACTIVA 2E 1P											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	13.49	13.49	14.54	14.54	14.54	17.94	17.94
Cargo por energía activa en horas de punta	Cent.S./AWh	27.43	26.76	26.96	27.59	26.99	27.36	27.30	26.84	27.21	26.28	27.09
Cargo por energía activa en horas fuera de punta	Cent.S./AWh	22.18	21.70	21.82	22.31	21.81	22.13	22.06	21.77	22.31	21.31	21.91
Cargo por potencia activa de generación:												
Presente en punta	S/AW-mes	48.66	43.83	43.83	44.45	37.12	36.90	37.52	36.79	37.30	34.80	35.29
Presente fuera de punta	S/AW-mes	31.88	39.30	39.30	39.84	39.80	39.56	40.23	39.43	39.98	37.32	37.84
Cargo por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	S/AW-mes	52.64	63.70	63.70	63.70	60.91	60.91	60.47	60.47	60.47	60.44	60.44
Presente fuera de punta	S/AW-mes	47.01	60.76	60.76	60.76	60.98	60.98	60.56	60.56	60.56	60.52	60.52
Cargo por energía reactiva	Cent.S./KVARh	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
BT4 :	MEDICION SIMPLE DE ENERGIA Y POTENCIA ACTIVA 1E 1P											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	13.49	13.49	14.54	14.54	14.54	17.94	17.94
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	23.45	22.92	23.05	23.58	23.05	23.39	23.31	22.99	23.49	22.51	23.16
Cargo por potencia activa de generación:												
Presente en punta	S/AW-mes	48.66	43.83	43.83	44.45	37.12	36.90	37.52	36.79	37.30	34.80	35.29
Presente fuera de punta	S/AW-mes	31.88	39.30	39.30	39.84	39.80	39.56	40.23	39.43	39.98	37.32	37.84
Cargo por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	S/AW-mes	52.64	63.70	63.70	63.70	60.91	60.91	60.47	60.47	60.47	60.44	60.44
Presente fuera de punta	S/AW-mes	47.01	60.76	60.76	60.76	60.98	60.98	60.56	60.56	60.56	60.52	60.52
Cargo por energía reactiva	Cent.S./KVARh	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38
BT5A :	MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA 2E											
a) Demanda máxima mensual hasta 20 kW en HP y HFP												
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	13.49	13.49	14.54	14.54	14.54	17.94	17.94
Cargo por energía activa en horas de punta	Cent.S./AWh	150.82	162.33	162.53	164.06	163.20	163.98	163.98	162.23	163.50	158.11	159.78
Cargo por energía activa en horas fuera de punta	Cent.S./AWh	22.18	21.70	21.82	22.31	21.81	22.13	22.06	21.77	22.31	21.31	21.91
Cargo por exceso de potencia en horas punta y/o fuera de punta	S/AW-mes	49.10	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52
b) Demanda máxima mensual hasta 20 kW en HP y 50 kW en HFP												
Cargo fijo mensual	S/ cliente	6.75	8.72	8.72	8.72	13.49	13.49	14.54	14.54	14.54	17.94	17.94
Cargo por energía activa en horas de punta	Cent.S./AWh	178.08	192.29	192.49	194.21	193.30	193.18	194.18	192.13	193.60	187.23	189.09
Cargo por energía activa en horas fuera de punta	Cent.S./AWh	22.18	21.70	21.82	22.31	21.81	22.13	22.06	21.77	22.31	21.31	21.91
Cargo por exceso de potencia en horas punta y/o fuera de punta	S/AW-mes	49.10	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52	58.52
BT5B :	MEDICION SIMPLE DE ENERGIA ACTIVA 1E											
a) Residencial con consumo menor o igual a 30 kWh por mes												
Cargo fijo 1 : Lectura mensual	S/ cliente	3.12	3.22	3.22	3.22	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
Cargo fijo 2 : Lectura semestral	S/ cliente	-	-	-	-	2.05	2.05	2.19	2.19	2.19	2.93	2.93
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	42.80	45.70	45.80	46.37	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96
b) Residencial con consumo mayor a 30 y menor o igual a 100 kWh por mes												
Cargo fijo 1 : Lectura mensual	S/ cliente	3.12	3.22	3.22	3.22	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
Cargo fijo 2 : Lectura semestral	S/ cliente	-	-	-	-	2.05	2.05	2.19	2.19	2.19	2.93	2.93
Cargo por energía activa - Primeros 30 kWh	S/ cliente	12.84	13.71	13.74	13.91	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59	9.59
Cargo por energía activa - Exceso de 30 kWh	Cent.S./AWh	57.07	60.93	61.06	61.83	63.91	63.91	63.91	63.91	63.91	63.91	63.91
c) Residencial con consumo mayor a 100 kWh por mes												
Cargo fijo 1 : Lectura mensual	S/ cliente	3.24	3.34	3.34	3.34	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
Cargo fijo 2 : Lectura semestral	S/ cliente	-	-	-	-	2.13	2.13	2.27	2.27	2.27	3.04	3.04
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	59.24	63.25	63.38	64.18	66.34	66.34	66.34	66.34	66.34	66.34	66.34
d) No Residencial												
Cargo fijo 1 : Lectura mensual	S/ cliente	3.24	3.34	3.34	3.34	3.94	3.94	4.21	4.21	4.21	5.64	5.64
Cargo fijo 2 : Lectura semestral	S/ cliente	-	-	-	-	2.13	2.13	2.27	2.27	2.27	3.04	3.04
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	59.24	63.25	63.38	64.18	69.95	70.15	78.10	77.25	78.11	89.06	90.14
BT5C :	MEDICION SIMPLE DE ENERGIA ACTIVA - ILUMINACION ADICIONAL 1E											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	3.24	3.34	3.34	3.34	3.94	3.94	4.21	4.21	4.21	5.64	5.64
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	59.44	62.47	62.60	63.38	67.99	63.00	63.18	62.48	63.23	60.96	61.85
BT5CAP :	MEDICION SIMPLE DE ENERGIA ACTIVA - ALUMBRADO PUBLICO 1E											
Cargo fijo mensual	S/ cliente	3.38	5.68	5.68	5.68	3.80	3.80	4.06	4.06	4.06	5.43	5.43
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh	57.26	60.18	60.31	61.06	60.49	60.69	60.87	60.19	60.92	58.73	59.59
BT5D :	MEDICION SIMPLE DE ENERGIA ACTIVA - MEDICION COLECTIVA 1E											
a) Residencial con consumo menor o igual a 30 kWh por mes												
Cargo fijo mensual	S/ cliente	3.12	3.22	3.22	3.22	3.80	3.80	4.06	4.06	4.06	3.74	3.74
Cargo por energía activa	Cent.S./AWh											

ANEXO J:

CATALOGO DE TUBERIAS NICOLL



TUBOS PVC-U

para agua, drenaje y alcantarillado enterrado o aéreo con presión NTP ISO 1452

CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS

- Agua potable
- Riego tecnificado
- Instalaciones industriales
- Norma de fabricación: NTP-ISO 1452
- Gama de diámetros: de 63mm a 630mm
- Sistema de empalme: Unión Flexible (UF)
- El estabilizante utilizado en nuestras formulaciones para las tuberías de PVC-U es de Calcio- Zinc (Ca-Zn) la misma que es considerado del tipo ecológico.
- Color: Gris

PROPIEDADES FÍSICAS

- Peso específico 1,44 g/cm³ a 25°C
- Resistencia al impacto 0,09
- Absorción de agua: <40 g/m²
- Estabilidad dimensional a 150°C <5%
- Coeficiente de fricción:
n=0,009 Manning
c=150 hazen-Williams
- Punto Vicat >80°C
- Resistencia a ácidos: Excelente
- Resistencia a álcalis: Excelente
- Resistencia al H₂SO₄: Excelente

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

- Tensión de diseño: 100 kgf/cm²
- Resistencia a la tracción: 560 kgf/cm²
- Resistencia a la flexión: 750-780 kgf/cm²
- Resistencia a compresión: 610-650 kgf/cm²
- Módulo de elasticidad: 30,000 kg/cm²

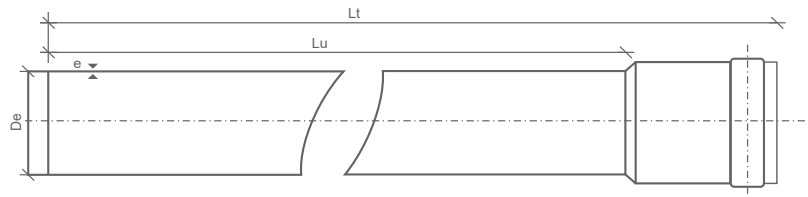
CERTIFICACIONES E ISOS

- Contamos con el **Sello A** de Calidad de Sedapal.
- Sistema de Gestión de Calidad **ISO 9001**.
- Sistema de Gestión Medioambiental **ISO 14001**.
- Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo **OHSAS 18001**.

SISTEMA PRESIÓN NTP-ISO 1452



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Diámetro Nominal (mm)	Lt (m)	Lu (m)	e (mm)	D int. (mm)	Peso Neto Aprox (Kg)	Diámetro Nominal (mm)	Lt (m)	Lu (m)	e (mm)	D int. (mm)	Peso Neto Aprox (Kg)
PN 5 (S 20; SDR 41)						PN 7,5 bar (S 13,3; SDR 28)					
63	6,00	5,88	1,60	59,80	2,876	63	6,00	5,88	2,30	58,40	3,898
75	6,00	5,87	1,90	71,20	3,897	75	6,00	5,87	2,80	69,40	5,520
90	6,00	5,86	2,20	85,60	5,458	90	6,00	5,86	3,30	83,40	7,809
110	6,00	5,85	2,70	104,60	8,037	110	6,00	5,85	4,00	102,00	11,576
140	6,00	5,84	3,50	133,00	13,171	140	6,00	5,84	5,10	129,80	18,782
160	6,00	5,83	4,00	152,00	17,226	160	6,00	5,83	5,80	148,40	24,411
200	6,00	5,81	4,90	190,20	26,119	200	6,00	5,81	7,30	185,40	38,391
250	6,00	5,78	6,20	237,60	41,300	250	6,00	5,78	9,10	231,80	59,835
315	6,00	5,76	7,70	299,60	64,654	315	6,00	5,76	11,40	292,20	94,468
355	6,00	5,75	8,70	337,60	82,317	355	6,00	5,75	12,90	329,20	120,448
400	6,00	5,73	9,80	380,40	104,474	400	6,00	5,73	14,50	371,00	152,556
450	6,00	5,70	11,00	428,00	126,602	450	6,00	5,70	16,30	417,40	184,678
500	6,00	5,65	12,30	475,40	163,890	500	6,00	5,65	18,10	463,80	238,005
630	6,00	5,62	15,40	599,20	247,519	630	6,00	5,62	22,80	584,40	361,059

PN 10 bar (S 10; SDR 21)					
63	6,00	5,88	3,00	57,00	5,044
75	6,00	5,87	3,60	67,80	7,059
90	6,00	5,86	4,30	81,40	10,099
110	6,00	5,85	5,30	99,40	15,133
140	6,00	5,84	6,70	126,60	24,356
160	6,00	5,83	7,70	144,60	31,972
200	6,00	5,81	9,60	180,80	49,832
250	6,00	5,78	11,90	226,20	77,257
315	6,00	5,76	15,00	285,00	122,698
355	6,00	5,75	16,90	321,20	155,790
400	6,00	5,73	19,10	361,80	198,346
450	6,00	5,70	21,50	407,00	240,165
500	6,00	5,65	23,90	452,20	299,367
630	6,00	5,62	30,00	570,00	468,659

PN 15 bar (S 6,6; SDR 14,2)					
63	6,00	5,88	4,4	54,2	
75	6,00	5,87	5,3	64,4	
90	6,00	5,86	6,3	77,4	
110	6,00	5,85	7,7	94,6	
140	6,00	5,84	9,8	120,4	
160	6,00	5,83	11,2	137,6	
200	6,00	5,81	14,0	172,0	
250	6,00	5,78	17,5	215,0	
315	6,00	5,76	22,0	271,0	

FACTOR DE SEGURIDAD F=2,5

Nicoll Perú S.A.

an Aliaxis company

LIMA

Ca. Venancio Ávila 1990, Urb. Chacra Ríos Lima 01
Central Telefónica: (01) 219-4500

LURÍN

Carretera Panamericana Sur Km. 31

AREQUIPA

Variante de Uchumayo, Km 1.5 - Distrito de Sachaca

HUANCAYO

Calle Real Nro. 1595 Azapampa - Chilca

LAMBAYEQUE

Carretera Panamericana Norte Km. 779

www.nicoll.com.pe

ventas@alixis-la.com

Síguenos en: /Nicoll Perú Oficial

ANEXO K:

RESULTADOS DEL MODELO DE UNICA HB

0

DATOS GENERALES

Velocidad max. (m ² /s) = 3.0	días de los meses= 30
Velocidad min. (m ² /s) = 0.6	Eficiencia de bomba (n ₁)= 0.75
Presion maxima (mca) = 75.0	Eficiencia del motor (n ₂)= 0.80
Presion minima (mca) = 25	tasa de interes (%)= 8.50%
Densidad fluido (kg/m ³)= 997	periodo de diseño (años)= 30
viscosidad Cinemat. (Pa.s) = 0.000001	Factor anual de consumo energetico= 0.75
rugosidad absoluta (mm)= 0.0015	c.u. de energia en HP (s./Kwh)= 0.2550
Aceleracion gravedad (m/s ²)= 9.81	c. de potencia en HP (s./Kw.mes) 70.94
Perdidas Locales (%L)= 10%	c.u. de energia HFP (s./Kwh)= 0.2063
Periodo de bombeo (hrs) = 5	c. de potencia HFP (s./Kw.mes)= 50.90
	UND:TOMASIRI/TARIFA MT3

1

DATOS DE NUDOS DE CONSUMO Y TURNOS

NH	Nudo	Hidrante	Variable Turno	Area (ha)	Q (l/s)
1	5	1	2	8.5	15
2	6	1	2	7.8	12
3	7	1	3	8.0	16
4	8	1	1	8.3	13
5	10	1	2	7.3	13
6	11	1	1	7.9	13
7	12	1	1	9.2	13
8	13	1	2	8.7	13
9	15	1	3	7.7	13
10	16	1	1	8.0	15
11	17	1	2	9.0	13
12	18	1	3	8.5	14
13	20	1	1	6.5	9
14	21	1	2	8.5	13
15	22	1	3	7.7	10
16	23	1	1	7.5	10
17	24	1	2	7.5	10
18	27	1	3	8.2	13
19	28	1	1	8.2	15
20	29	1	2	8.5	15
21	31	1	1	8.4	13
22	32	1	1	8.5	15
23	33	1	2	8.0	15
24	35	1	3	8.6	13
25	36	1	1	8.5	13
26	37	1	2	8.5	13
27	39	1	3	6.5	9
28	40	1	1	8.5	15
29	41	1	2	8.0	12

CAUDALES TOTALES	QTT1	QTT2	QTT3
	144	144	88

SQTT
376.00

NH	NUDO	QT1	QT2	QT3
1	5	0	15	0
2	6	0	12	0
3	7	0	0	16
4	8	13	0	0
5	10	0	13	0
6	11	13	0	0
7	12	13	0	0
8	13	0	13	0
9	15	0	0	13
10	16	15	0	0
11	17	0	13	0
12	18	0	0	14
13	20	9	0	0
14	21	0	13	0
15	22	0	0	10
16	23	10	0	0
17	24	0	10	0
18	27	0	0	13
19	28	15	0	0
20	29	0	15	0
21	31	13	0	0
22	32	15	0	0
23	33	0	15	0
24	35	0	0	13
25	36	13	0	0
26	37	0	13	0
27	39	0	0	9
28	40	15	0	0
29	41	0	12	0

TURNO 1			
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	Q_T1 (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.3	144
Nudo 1	487.39	44.1	144
Nudo 2	485.93	57.6	144
Nudo 3	486.02	7.0	73
Nudo 4	485.32	27.8	73
Nudo 5	485.37	120.2	13
Nudo 6	483.40	206.9	13
Nudo 7	484.19	189.1	13
Nudo 8	483.93	187.6	13
Nudo 9	469.19	520.6	60
Nudo 10	469.71	120.2	26
Nudo 11	469.04	206.9	26
Nudo 12	470.60	189.2	13
Nudo 13	469.92	187.6	0
Nudo 14	458.85	507.3	34
Nudo 15	459.21	120.2	15
Nudo 16	458.99	206.9	15
Nudo 17	459.11	189.1	0
Nudo 18	459.86	187.6	0
Nudo 19	445.56	512.4	19
Nudo 20	446.07	120.2	19
Nudo 21	445.40	206.9	10
Nudo 22	446.07	189.1	10
Nudo 23	449.28	189.2	10
Nudo 24	449.57	189.1	0
Nudo 25	485.83	7.0	71
Nudo 26	485.13	27.8	71
Nudo 27	484.98	89.4	15
Nudo 28	485.24	202.3	15
Nudo 29	484.82	201.6	0
Nudo 30	469.10	520.6	56
Nudo 31	468.56	89.4	28
Nudo 32	467.98	202.3	15
Nudo 33	469.26	201.6	0
Nudo 34	458.73	507.3	28
Nudo 35	457.95	89.4	13
Nudo 36	459.34	202.3	13
Nudo 37	459.34	201.6	0
Nudo 38	445.49	512.4	15
Nudo 39	445.17	89.4	15
Nudo 40	443.34	202.3	15
Nudo 41	443.27	201.6	0

TURNO 2			
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.3	144
Nudo 1	487.39	44.1	144
Nudo 2	485.93	57.6	144
Nudo 3	486.02	7.0	89
Nudo 4	485.32	27.8	89
Nudo 5	485.37	120.2	27
Nudo 6	483.40	206.9	12
Nudo 7	484.19	189.1	0
Nudo 8	483.93	187.6	0
Nudo 9	469.19	520.6	62
Nudo 10	469.71	120.2	26
Nudo 11	469.04	206.9	13
Nudo 12	470.60	189.2	13
Nudo 13	469.92	187.6	13
Nudo 14	458.85	507.3	36
Nudo 15	459.21	120.2	13
Nudo 16	458.99	206.9	13
Nudo 17	459.11	189.1	13
Nudo 18	459.86	187.6	0
Nudo 19	445.56	512.4	23
Nudo 20	446.07	120.2	23
Nudo 21	445.40	206.9	23
Nudo 22	446.07	189.1	10
Nudo 23	449.28	189.2	10
Nudo 24	449.57	189.1	10
Nudo 25	485.83	7.0	55
Nudo 26	485.13	27.8	55
Nudo 27	484.98	89.4	15
Nudo 28	485.24	202.3	15
Nudo 29	484.82	201.6	15
Nudo 30	469.10	520.6	40
Nudo 31	468.56	89.4	15
Nudo 32	467.98	202.3	15
Nudo 33	469.26	201.6	15
Nudo 34	458.73	507.3	25
Nudo 35	457.95	89.4	13
Nudo 36	459.34	202.3	13
Nudo 37	459.34	201.6	13
Nudo 38	445.49	512.4	12
Nudo 39	445.17	89.4	12
Nudo 40	443.34	202.3	12
Nudo 41	443.27	201.6	12

TURNO 3			
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.3	88
Nudo 1	487.39	44.1	88
Nudo 2	485.93	57.6	88
Nudo 3	486.02	7.0	53
Nudo 4	485.32	27.8	53
Nudo 5	485.37	120.2	16
Nudo 6	483.40	206.9	16
Nudo 7	484.19	189.1	16
Nudo 8	483.93	187.6	0
Nudo 9	469.19	520.6	37
Nudo 10	469.71	120.2	0
Nudo 11	469.04	206.9	0
Nudo 12	470.60	189.2	0
Nudo 13	469.92	187.6	0
Nudo 14	458.85	507.3	37
Nudo 15	459.21	120.2	27
Nudo 16	458.99	206.9	14
Nudo 17	459.11	189.1	14
Nudo 18	459.86	187.6	14
Nudo 19	445.56	512.4	10
Nudo 20	446.07	120.2	10
Nudo 21	445.40	206.9	10
Nudo 22	446.07	189.1	10
Nudo 23	449.28	189.2	0
Nudo 24	449.57	189.1	0
Nudo 25	485.83	7.0	35
Nudo 26	485.13	27.8	35
Nudo 27	484.98	89.4	13
Nudo 28	485.24	202.3	0
Nudo 29	484.82	201.6	0
Nudo 30	469.10	520.6	22
Nudo 31	468.56	89.4	0
Nudo 32	467.98	202.3	0
Nudo 33	469.26	201.6	0
Nudo 34	458.73	507.3	22
Nudo 35	457.95	89.4	13
Nudo 36	459.34	202.3	0
Nudo 37	459.34	201.6	0
Nudo 38	445.49	512.4	9
Nudo 39	445.17	89.4	9
Nudo 40	443.34	202.3	0
Nudo 41	443.27	201.6	0

TURNO 2				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)														
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63.00	75.00	90.00	110.00	140.00	160.00	200.00	250.00	315.00	355.00	400.00	450.00	500.00	630.00	
				57.00	67.80	81.40	99.40	126.60	144.60	180.80	226.20	285.00	321.20	361.80	407.00	452.20	570.00	
RESERVORIO	487.39																	
BOMBA	487.39	15.3	144	56.43	39.89	27.67	18.56	11.44	8.77	5.61	3.58	2.26	1.78	1.40	1.11	0.90	0.56	
Nudo 1	487.39	44.1	144	56.43	39.89	27.67	18.56	11.44	8.77	5.61	3.58	2.26	1.78	1.40	1.11	0.90	0.56	
Nudo 2	485.93	57.6	144	56.43	39.89	27.67	18.56	11.44	8.77	5.61	3.58	2.26	1.78	1.40	1.11	0.90	0.56	
Nudo 3	486.02	7.0	89	34.88	24.65	17.10	11.47	7.07	5.42	3.47	2.21	1.40	1.10	0.87	0.68	0.55	0.35	
Nudo 4	485.32	27.8	89	34.88	24.65	17.10	11.47	7.07	5.42	3.47	2.21	1.40	1.10	0.87	0.68	0.55	0.35	
Nudo 5	485.37	120.2	27	10.58	7.48	5.19	3.48	2.14	1.64	1.05	0.67	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.11	
Nudo 6	483.40	206.9	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 7	484.19	189.1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nudo 8	483.93	187.6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nudo 9	469.19	520.6	62	24.30	17.17	11.91	7.99	4.93	3.78	2.41	1.54	0.97	0.77	0.60	0.48	0.39	0.24	
Nudo 10	469.71	120.2	26	10.19	7.20	5.00	3.35	2.07	1.58	1.01	0.65	0.41	0.32	0.25	0.20	0.16	0.10	
Nudo 11	469.04	206.9	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 12	470.60	189.2	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 13	469.92	187.6	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 14	458.85	507.3	36	14.11	9.97	6.92	4.64	2.86	2.19	1.40	0.90	0.56	0.44	0.35	0.28	0.22	0.14	
Nudo 15	459.21	120.2	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 16	458.99	206.9	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 17	459.11	189.1	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nudo 19	445.56	512.4	23	9.01	6.37	4.42	2.96	1.83	1.40	0.90	0.57	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.09	
Nudo 20	446.07	120.2	23	9.01	6.37	4.42	2.96	1.83	1.40	0.90	0.57	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.09	
Nudo 21	445.40	206.9	23	9.01	6.37	4.42	2.96	1.83	1.40	0.90	0.57	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.09	
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.92	2.77	1.92	1.29	0.79	0.61	0.39	0.25	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	
Nudo 23	449.28	189.2	10	3.92	2.77	1.92	1.29	0.79	0.61	0.39	0.25	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	
Nudo 24	449.57	189.1	10	3.92	2.77	1.92	1.29	0.79	0.61	0.39	0.25	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	
Nudo 25	485.83	7.0	55	21.55	15.23	10.57	7.09	4.37	3.35	2.14	1.37	0.86	0.68	0.53	0.42	0.34	0.22	
Nudo 26	485.13	27.8	55	21.55	15.23	10.57	7.09	4.37	3.35	2.14	1.37	0.86	0.68	0.53	0.42	0.34	0.22	
Nudo 27	484.98	89.4	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 28	485.24	202.3	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 29	484.82	201.6	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 30	469.10	520.6	40	15.68	11.08	7.69	5.15	3.18	2.44	1.56	1.00	0.63	0.49	0.39	0.31	0.25	0.16	
Nudo 31	468.56	89.4	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 32	467.98	202.3	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 33	469.26	201.6	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 34	458.73	507.3	25	9.80	6.92	4.80	3.22	1.99	1.52	0.97	0.62	0.39	0.31	0.24	0.19	0.16	0.10	
Nudo 35	457.95	89.4	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 36	459.34	202.3	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 37	459.34	201.6	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 38	445.49	512.4	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 39	445.17	89.4	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 40	443.34	202.3	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 41	443.27	201.6	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	

Variable Longitudes Parciales				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													Longitud Total	
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s) NO SE USA	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500		630
RESERV.	487.39		(no se usa)	57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
BOMBA	487.39	15.3	133	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3
Nudo 1	487.39	44.1	133	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1
Nudo 2	485.93	57.6	133	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
Nudo 3	486.02	7.0	75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 4	485.32	27.8	75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 5	485.37	120.2	28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 6	483.40	206.9	13	0.0	0.0	0.0	0.0	104.5	102.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 7	484.19	189.1	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 8	483.93	187.6	13	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	171.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 9	469.19	520.6	47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	235.2	285.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6
Nudo 10	469.71	120.2	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 11	469.04	206.9	13	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 12	470.60	189.2	13	0.0	0.0	0.0	0.0	189.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.2
Nudo 13	469.92	187.6	0	0.0	0.0	0.0	152.3	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 14	458.85	507.3	34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	507.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	507.3
Nudo 15	459.21	120.2	15	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 16	458.99	206.9	15	0.0	0.0	0.0	195.4	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 17	459.11	189.1	0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.0	0.0	0.0	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 19	445.56	512.4	19	0.0	0.0	0.0	0.0	343.1	169.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	512.4
Nudo 20	446.07	120.2	19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 21	445.40	206.9	10	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 22	446.07	189.1	10	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 23	449.28	189.2	10	0.0	0.0	0.0	189.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.2
Nudo 24	449.57	189.1	0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 25	485.83	7.0	58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 26	485.13	27.8	58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 27	484.98	89.4	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 28	485.24	202.3	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 29	484.82	201.6	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
Nudo 30	469.10	520.6	43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6
Nudo 31	468.56	89.4	15	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 32	467.98	202.3	15	0.0	0.0	0.0	112.1	90.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 33	469.26	201.6	0	0.0	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
Nudo 34	458.73	507.3	28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	507.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	507.3
Nudo 35	457.95	89.4	13	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 36	459.34	202.3	13	0.0	0.0	0.0	202.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 37	459.34	201.6	0	0.0	0.0	66.9	134.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
Nudo 38	445.49	512.4	15	0.0	0.0	0.0	512.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	512.4
Nudo 39	445.17	89.4	15	0.0	0.0	0.0	7.0	82.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 40	443.34	202.3	15	0.0	0.0	0.0	202.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 41	443.27	201.6	0	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6

Variable Alturas de

Bombeo

ALTURA	HB
BOMBEO	26.85

TURNO 1				Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)							
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	144	0.19	0.19	25	75	26.85	514.04	26.65
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.56	0.75	25	75	26.85	513.48	26.09
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.73	1.48	25	75	26.85	512.76	26.83
Nudo 3	486.02	7.0	73	0.08	1.56	25	75	26.85	512.68	26.66
Nudo 4	485.32	27.8	73	0.31	1.87	25	75	26.85	512.37	27.05
Nudo 5	485.37	120.2	13	0.51	2.38	25	75	26.85	511.86	26.49
Nudo 6	483.40	206.9	13	1.27	3.65	25	75	26.85	510.59	27.19
Nudo 7	484.19	189.1	13	0.80	4.45	25	75	26.85	509.78	25.59
Nudo 8	483.93	187.6	13	0.85	5.31	25	75	26.85	508.93	25.00
Nudo 9	469.19	520.6	60	7.65	9.52	25	75	26.85	504.71	35.52
Nudo 10	469.71	120.2	26	1.78	11.30	25	75	26.85	502.93	33.22
Nudo 11	469.04	206.9	26	5.82	17.12	25	75	26.85	497.12	28.08
Nudo 12	470.60	189.2	13	1.52	18.64	25	75	26.85	495.60	25.00
Nudo 13	469.92	187.6	0	0.00	18.64	25	75	26.85	495.60	25.68
Nudo 14	458.85	507.3	34	4.16	13.68	25	75	26.85	500.55	41.70
Nudo 15	459.21	120.2	15	1.25	14.93	25	75	26.85	499.30	40.09
Nudo 16	458.99	206.9	15	6.62	21.55	25	75	26.85	492.68	33.69
Nudo 17	459.11	189.1	0	0.00	21.55	25	75	26.85	492.68	33.57
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.00	21.55	25	75	26.85	492.68	32.82
Nudo 19	445.56	512.4	19	6.88	20.57	25	75	26.85	493.67	48.11
Nudo 20	446.07	120.2	19	1.01	21.58	25	75	26.85	492.66	46.59
Nudo 21	445.40	206.9	10	1.04	22.61	25	75	26.85	491.62	46.22
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.03	25.64	25	75	26.85	488.60	42.53
Nudo 23	449.28	189.2	10	3.03	28.66	25	75	26.85	485.57	36.29
Nudo 24	449.57	189.1	0	0.00	28.66	25	75	26.85	485.57	36.00
Nudo 25	485.83	7.0	71	0.07	1.55	25	75	26.85	512.68	26.85
Nudo 26	485.13	27.8	71	0.30	1.85	25	75	26.85	512.39	27.26
Nudo 27	484.98	89.4	15	0.49	2.34	25	75	26.85	511.90	26.92
Nudo 28	485.24	202.3	15	1.11	3.45	25	75	26.85	510.79	25.55
Nudo 29	484.82	201.6	0	0.00	3.45	25	75	26.85	510.79	25.97
Nudo 30	469.10	520.6	56	10.58	12.43	25	75	26.85	501.80	32.70
Nudo 31	468.56	89.4	28	2.88	15.31	25	75	26.85	498.93	30.37
Nudo 32	467.98	202.3	15	4.67	19.98	25	75	26.85	494.26	26.28
Nudo 33	469.26	201.6	0	0.00	19.98	25	75	26.85	494.26	25.00
Nudo 34	458.73	507.3	28	8.59	21.03	25	75	26.85	493.21	34.48
Nudo 35	457.95	89.4	13	2.30	23.32	25	75	26.85	490.91	32.96
Nudo 36	459.34	202.3	13	5.20	28.52	25	75	26.85	485.72	26.38
Nudo 37	459.34	201.6	0	0.00	28.52	25	75	26.85	485.72	26.38
Nudo 38	445.49	512.4	15	17.05	38.08	25	75	26.85	476.16	30.67
Nudo 39	445.17	89.4	15	1.09	39.16	25	75	26.85	475.07	29.90
Nudo 40	443.34	202.3	15	6.73	45.90	25	75	26.85	468.34	25.00
Nudo 41	443.27	201.6	0	0.00	45.90	25	75	26.85	468.34	25.07

TURNO 2				Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)							
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	144	0.19	0.19	25	75	26.85	514.04	26.65
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.56	0.75	25	75	26.85	513.48	26.09
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.73	1.48	25	75	26.85	512.76	26.83
Nudo 3	486.02	7.0	89	0.11	1.59	25	75	26.85	512.64	26.62
Nudo 4	485.32	27.8	89	0.45	2.04	25	75	26.85	512.20	26.88
Nudo 5	485.37	120.2	27	1.91	3.94	25	75	26.85	510.29	24.92
Nudo 6	483.40	206.9	12	1.10	5.05	25	75	26.85	509.19	25.79
Nudo 7	484.19	189.1	0	0.00	5.05	25	75	26.85	509.19	25.00
Nudo 8	483.93	187.6	0	0.00	5.05	25	75	26.85	509.19	25.26
Nudo 9	469.19	520.6	62	8.12	10.16	25	75	26.85	504.07	34.88
Nudo 10	469.71	120.2	26	1.78	11.94	25	75	26.85	502.29	32.58
Nudo 11	469.04	206.9	13	1.66	13.60	25	75	26.85	500.63	31.59
Nudo 12	470.60	189.2	13	1.52	15.12	25	75	26.85	499.12	28.52
Nudo 13	469.92	187.6	13	4.20	19.32	25	75	26.85	494.92	25.00
Nudo 14	458.85	507.3	36	4.62	14.78	25	75	26.85	499.46	40.61
Nudo 15	459.21	120.2	13	0.96	15.74	25	75	26.85	498.49	39.28
Nudo 16	458.99	206.9	13	5.11	20.86	25	75	26.85	493.38	34.39
Nudo 17	459.11	189.1	13	4.86	25.71	25	75	26.85	488.52	29.41
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.00	25.71	25	75	26.85	488.52	28.66
Nudo 19	445.56	512.4	23	9.73	24.51	25	75	26.85	489.73	44.17
Nudo 20	446.07	120.2	23	1.43	25.93	25	75	26.85	488.30	42.23
Nudo 21	445.40	206.9	23	4.66	30.59	25	75	26.85	483.65	38.25
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.03	33.61	25	75	26.85	480.62	34.55
Nudo 23	449.28	189.2	10	3.03	36.64	25	75	26.85	477.60	28.32
Nudo 24	449.57	189.1	10	3.03	39.67	25	75	26.85	474.57	25.00
Nudo 25	485.83	7.0	55	0.05	1.53	25	75	26.85	512.71	26.88
Nudo 26	485.13	27.8	55	0.19	1.71	25	75	26.85	512.52	27.39
Nudo 27	484.98	89.4	15	0.49	2.20	25	75	26.85	512.03	27.05
Nudo 28	485.24	202.3	15	1.11	3.31	25	75	26.85	510.92	25.68
Nudo 29	484.82	201.6	15	1.10	4.42	25	75	26.85	509.82	25.00
Nudo 30	469.10	520.6	40	5.74	7.45	25	75	26.85	506.79	37.69
Nudo 31	468.56	89.4	15	0.93	8.38	25	75	26.85	505.86	37.30
Nudo 32	467.98	202.3	15	4.67	13.04	25	75	26.85	501.19	33.21
Nudo 33	469.26	201.6	15	6.71	19.75	25	75	26.85	494.48	25.22
Nudo 34	458.73	507.3	25	7.00	14.44	25	75	26.85	499.79	41.06
Nudo 35	457.95	89.4	13	2.30	16.74	25	75	26.85	497.49	39.54
Nudo 36	459.34	202.3	13	5.20	21.94	25	75	26.85	492.30	32.96
Nudo 37	459.34	201.6	13	7.96	29.90	25	75	26.85	484.34	25.00
Nudo 38	445.49	512.4	12	11.39	25.83	25	75	26.85	488.40	42.91
Nudo 39	445.17	89.4	12	0.73	26.56	25	75	26.85	487.67	42.50
Nudo 40	443.34	202.3	12	4.50	31.06	25	75	26.85	483.18	39.84
Nudo 41	443.27	201.6	12	11.73	42.79	25	75	26.85	471.45	28.18

TURNO 3				Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)							
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	88	0.08	0.08	25	75	26.85	514.16	26.77
Nudo 1	487.39	44.1	88	0.23	0.31	25	75	26.85	513.93	26.54
Nudo 2	485.93	57.6	88	0.30	0.60	25	75	26.85	513.63	27.70
Nudo 3	486.02	7.0	53	0.04	0.65	25	75	26.85	513.59	27.57
Nudo 4	485.32	27.8	53	0.17	0.82	25	75	26.85	513.42	28.10
Nudo 5	485.37	120.2	16	0.74	1.56	25	75	26.85	512.68	27.31
Nudo 6	483.40	206.9	16	1.85	3.41	25	75	26.85	510.83	27.43
Nudo 7	484.19	189.1	16	1.16	4.57	25	75	26.85	509.66	25.47
Nudo 8	483.93	187.6	0	0.00	4.57	25	75	26.85	509.66	25.73
Nudo 9	469.19	520.6	37	3.18	4.00	25	75	26.85	510.24	41.05
Nudo 10	469.71	120.2	0	0.00	4.00	25	75	26.85	510.24	40.53
Nudo 11	469.04	206.9	0	0.00	4.00	25	75	26.85	510.24	41.20
Nudo 12	470.60	189.2	0	0.00	4.00	25	75	26.85	510.24	39.64
Nudo 13	469.92	187.6	0	0.00	4.00	25	75	26.85	510.24	40.32
Nudo 14	458.85	507.3	37	4.85	8.85	25	75	26.85	505.39	46.54
Nudo 15	459.21	120.2	27	3.62	12.47	25	75	26.85	501.77	42.56
Nudo 16	458.99	206.9	14	5.84	18.31	25	75	26.85	495.92	36.93
Nudo 17	459.11	189.1	14	5.55	23.87	25	75	26.85	490.37	31.26
Nudo 18	459.86	187.6	14	5.51	29.38	25	75	26.85	484.86	25.00
Nudo 19	445.56	512.4	10	2.17	11.01	25	75	26.85	503.22	57.66
Nudo 20	446.07	120.2	10	0.32	11.33	25	75	26.85	502.90	56.83
Nudo 21	445.40	206.9	10	1.04	12.37	25	75	26.85	501.87	56.47
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.03	15.39	25	75	26.85	498.84	52.77
Nudo 23	449.28	189.2	0	0.00	15.39	25	75	26.85	498.84	49.56
Nudo 24	449.57	189.1	0	0.00	15.39	25	75	26.85	498.84	49.27
Nudo 25	485.83	7.0	35	0.02	0.62	25	75	26.85	513.61	27.78
Nudo 26	485.13	27.8	35	0.08	0.70	25	75	26.85	513.53	28.40
Nudo 27	484.98	89.4	13	0.38	1.08	25	75	26.85	513.15	28.17
Nudo 28	485.24	202.3	0	0.00	1.08	25	75	26.85	513.15	27.91
Nudo 29	484.82	201.6	0	0.00	1.08	25	75	26.85	513.15	28.33
Nudo 30	469.10	520.6	22	1.94	2.65	25	75	26.85	511.59	42.49
Nudo 31	468.56	89.4	0	0.00	2.65	25	75	26.85	511.59	43.03
Nudo 32	467.98	202.3	0	0.00	2.65	25	75	26.85	511.59	43.61
Nudo 33	469.26	201.6	0	0.00	2.65	25	75	26.85	511.59	42.33
Nudo 34	458.73	507.3	22	5.55	8.20	25	75	26.85	506.04	47.31
Nudo 35	457.95	89.4	13	2.30	10.49	25	75	26.85	503.74	45.79
Nudo 36	459.34	202.3	0	0.00	10.49	25	75	26.85	503.74	44.40
Nudo 37	459.34	201.6	0	0.00	10.49	25	75	26.85	503.74	44.40
Nudo 38	445.49	512.4	9	6.78	14.98	25	75	26.85	499.26	53.77
Nudo 39	445.17	89.4	9	0.43	15.41	25	75	26.85	498.82	53.65
Nudo 40	443.34	202.3	0	0.00	15.41	25	75	26.85	498.82	55.48
Nudo 41	443.27	201.6	0	0.00	15.41	25	75	26.85	498.82	55.55

TURNO 1				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	144	63.02	5.00	315.08

TURNO 2				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	144	63.02	5.00	315.08

TURNO 3				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	88	38.51	3.00	115.53
26.85	88	38.51	2.00	77.02

Max. Pot. FHP=	63.02	Energia FHP=	745.69
MAX. Pot. HP=	38.51	Energia HP=	77.02
Costo/mes=	5939.40	Costo /mes=	5204.28
factor energ. anual=	0.75	factor anual=	0.75
Costo de Potencia Anual=	53454.64	Energ. Anual=	46838.49

Datos Topologicos				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)														SUB TOTAL
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500	630	
				57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
RESERVORIO			(no se usa)															
BOMBA	15.3	15.3	144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2619.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2619.08
Nudo 1	44.1	44.1	144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7549.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7549.11
Nudo 2	57.6	57.6	144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9860.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9860.06
Nudo 3	7.0	7.0	73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88
Nudo 4	27.8	27.8	73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05
Nudo 5	120.2	120.2	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45
Nudo 6	206.9	206.9	13	0.00	0.00	0.00	0.00	4760.42	5792.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10552.44
Nudo 7	189.1	189.1	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10698.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10698.55
Nudo 8	187.6	187.6	13	0.00	0.00	0.00	0.00	713.84	9726.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10440.76
Nudo 9	520.6	520.6	60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19155.92	33515.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52671.12
Nudo 10	120.2	120.2	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45
Nudo 11	206.9	206.9	26	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98
Nudo 12	189.2	189.2	13	0.00	0.00	0.00	0.00	8616.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8616.86
Nudo 13	187.6	187.6	0	0.00	0.00	0.00	4674.40	1607.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6282.03
Nudo 14	507.3	507.3	34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41325.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41325.89
Nudo 15	120.2	120.2	15	0.00	0.00	0.00	0.00	5474.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5474.35
Nudo 16	206.9	206.9	15	0.00	0.00	0.00	5998.49	521.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6520.29
Nudo 17	189.1	189.1	0	0.00	0.00	0.00	5803.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5803.82
Nudo 18	187.6	187.6	0	0.00	0.00	0.00	5757.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5757.78
Nudo 19	512.4	512.4	19	0.00	0.00	0.00	0.00	15625.71	9578.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25204.44
Nudo 20	120.2	120.2	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45
Nudo 21	206.9	206.9	10	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98
Nudo 22	189.1	189.1	10	0.00	0.00	0.00	5803.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5803.82
Nudo 23	189.2	189.2	10	0.00	0.00	0.00	5806.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5806.88
Nudo 24	189.1	189.1	0	0.00	0.00	0.00	5803.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5803.82
Nudo 25	7.0	7.0	71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88
Nudo 26	27.8	27.8	71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05
Nudo 27	89.4	89.4	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5057.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5057.91
Nudo 28	202.3	202.3	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11445.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11445.35
Nudo 29	201.6	201.6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11405.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11405.75
Nudo 30	520.6	520.6	56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42409.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42409.34
Nudo 31	89.4	89.4	28	0.00	0.00	0.00	0.00	4071.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4071.60
Nudo 32	202.3	202.3	15	0.00	0.00	0.00	3439.93	4108.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7548.88
Nudo 33	201.6	201.6	0	0.00	0.00	0.00	6187.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6187.46
Nudo 34	507.3	507.3	28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28701.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28701.08
Nudo 35	89.4	89.4	13	0.00	0.00	0.00	2743.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2743.85
Nudo 36	202.3	202.3	13	0.00	0.00	0.00	6208.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6208.95
Nudo 37	201.6	201.6	0	0.00	0.00	1481.13	4135.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5616.66
Nudo 38	512.4	512.4	15	0.00	0.00	0.00	15726.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15726.47
Nudo 39	89.4	89.4	15	0.00	0.00	0.00	213.55	3754.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3968.27
Nudo 40	202.3	202.3	15	0.00	0.00	0.00	6208.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6208.95
Nudo 41	201.6	201.6	0	0.00	0.00	4466.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4466.25
Costo Total=																		435977.03
Factor de amortizacion=																		0.09
Costo Anual Amortizado=																		40567.91

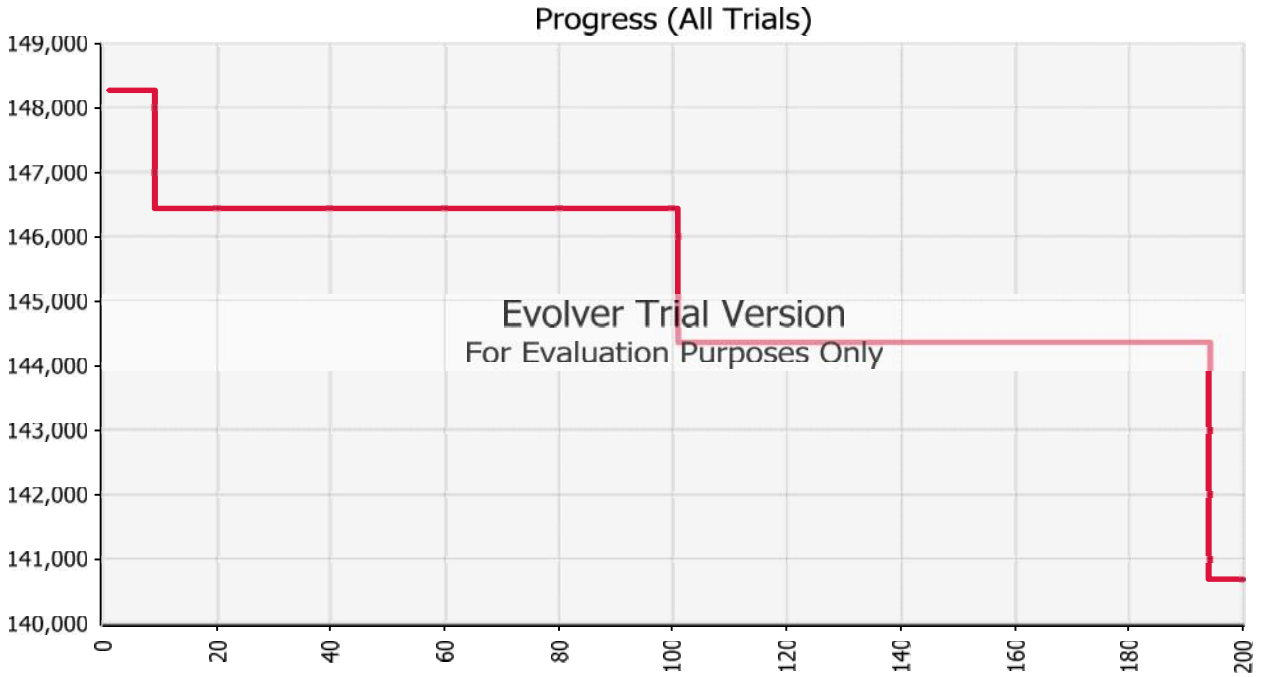
Costo de Potencia=	53454.64
Costo de Energetico=	46838.49
Costo de Operación Anual=	100293.13
Costo Amort. de Instalacion=	40567.91
Funcion Objetivo=	140861.05

Evolver: Optimization Summary

Performed By: ALFREDO PRISMANN

Date: domingo, 16 de Agosto de 2020 21:00:07

Model: MODELACION_REDES_HIDRAULICAS_CON MACRO_4VAR_HBFIJO2.xlsm



Goal	
Cell to Optimize	'modelo'!F948
Type of Goal	Minimum

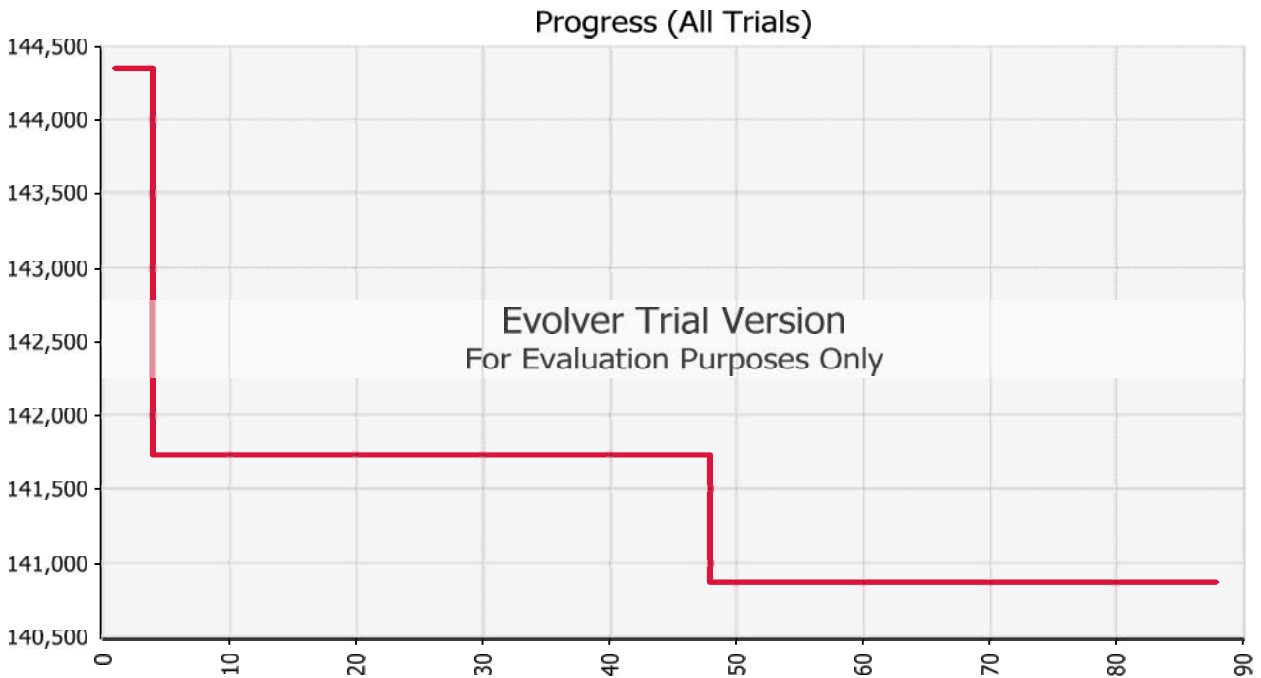
Results	
Valid Trials	200
Total Trials	200
Original Value	148277.27
+ soft constraint penalties	0.00
= result	148277.27
Best Value Found	140675.41
+ soft constraint penalties	0.00
= result	140675.41
Best Trial Number	194
Time to Find Best Value	0:29:07
Reason Optimization Stopped	Elapsed time
Time Optimization Started	16/08/2020 20:29
Time Optimization Finished	16/08/2020 20:59
Total Optimization Time	0:30:01

Evolver: Optimization Summary

Performed By: ALFREDO PRISMANN

Date: lunes, 17 de Agosto de 2020 16:10:20

Model: MODELACION_REDES_HIDRAULICAS_CON MACRO_4VAR_HBFIJO2.xlsm



Evolver Trial Version
For Evaluation Purposes Only

Goal	
Cell to Optimize	'modelo'!F948
Type of Goal	Minimum

Results	
Valid Trials	88
Total Trials	88
Original Value	144334.78
+ soft constraint penalties	0.00
= result	144334.78
Best Value Found	140861.05
+ soft constraint penalties	0.00
= result	140861.05
Best Trial Number	48
Time to Find Best Value	0:08:21
Reason Optimization Stopped	Elapsed time
Time Optimization Started	17/08/2020 15:54
Time Optimization Finished	17/08/2020 16:09
Total Optimization Time	0:15:09

Evolver: Log of Progress Steps

Performed By: ALFREDO PRISMANN

Date: lunes, 17 de Agosto de 2020 16:10:27

Model: MODELACION_REDES_HIDRAULICAS_CON MACRO_4VAR_HBFIJO2.xlsm

Trial	Elapsed Time	Result	Adjustable Cells																												
			F20	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34	F35	F36	F37	F38	F39	F40	F41	F42	F43	F44	F45	F46	F47	F48
1	00:00:17	144334.78	2	2	3	1	2	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
4	00:00:49	141723.65	2	2	3	1	2	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	1	2	3	1	2
48	00:08:21	140861.05	2	2	3	1	2	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	1	2	3	1	2

ANEXO L:

CODIGO DE MACRO DEL MODELO DE UNICA HB

```

1 Sub SOLVERALF()
2 '
3 ' Solveralf Macro
4 ' MACRO QUE CALCULA LA HB Y LAS LI DE DIAMETROS OPTIMOS CON MOTOR SIMPLEX LP
5 ' Acceso directo: Ctrl+Mayús+D
6 ' Configuracion de celda objetivo, celdas ajsutables y metodo de calculo
7
8 SolverReset
9
10 SolverOK SetCell:="$F$948", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:= _
11 "$K$96:$N$137,$K$138", Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
12
13 'RESTRICCIONES DE LONGITUDES PARCIALES Y LIMITES SUP/INF
14 SolverAdd CellRef:="$E$531:$E$572", Relation:=2, FormulaText:="$U$531:$U$572"
15
16 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 1
17 SolverAdd CellRef:="$I$736", Relation:=1, FormulaText:="$M$736"
18 SolverAdd CellRef:="$I$737", Relation:=1, FormulaText:="$M$737"
19 SolverAdd CellRef:="$I$741", Relation:=1, FormulaText:="$M$741"
20 SolverAdd CellRef:="$I$742", Relation:=1, FormulaText:="$M$742"
21 SolverAdd CellRef:="$I$746", Relation:=1, FormulaText:="$M$746"
22 SolverAdd CellRef:="$I$747", Relation:=1, FormulaText:="$M$747"
23 SolverAdd CellRef:="$I$751", Relation:=1, FormulaText:="$M$751"
24 SolverAdd CellRef:="$I$752", Relation:=1, FormulaText:="$M$752"
25 SolverAdd CellRef:="$I$753", Relation:=1, FormulaText:="$M$753"
26 SolverAdd CellRef:="$I$757", Relation:=1, FormulaText:="$M$757"
27 SolverAdd CellRef:="$I$758", Relation:=1, FormulaText:="$M$758"
28 SolverAdd CellRef:="$I$761", Relation:=1, FormulaText:="$M$761"
29 SolverAdd CellRef:="$I$762", Relation:=1, FormulaText:="$M$762"
30 SolverAdd CellRef:="$I$765", Relation:=1, FormulaText:="$M$765"
31 SolverAdd CellRef:="$I$766", Relation:=1, FormulaText:="$M$766"
32 SolverAdd CellRef:="$I$769", Relation:=1, FormulaText:="$M$769"
33 SolverAdd CellRef:="$I$770", Relation:=1, FormulaText:="$M$770"
34 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 2
35 SolverAdd CellRef:="$I$783", Relation:=1, FormulaText:="$M$783"
36 SolverAdd CellRef:="$I$784", Relation:=1, FormulaText:="$M$784"
37 SolverAdd CellRef:="$I$788", Relation:=1, FormulaText:="$M$788"
38 SolverAdd CellRef:="$I$789", Relation:=1, FormulaText:="$M$789"
39 SolverAdd CellRef:="$I$793", Relation:=1, FormulaText:="$M$793"
40 SolverAdd CellRef:="$I$794", Relation:=1, FormulaText:="$M$794"
41 SolverAdd CellRef:="$I$798", Relation:=1, FormulaText:="$M$798"
42 SolverAdd CellRef:="$I$799", Relation:=1, FormulaText:="$M$799"
43 SolverAdd CellRef:="$I$800", Relation:=1, FormulaText:="$M$800"
44 SolverAdd CellRef:="$I$804", Relation:=1, FormulaText:="$M$804"
45 SolverAdd CellRef:="$I$805", Relation:=1, FormulaText:="$M$805"
46 SolverAdd CellRef:="$I$808", Relation:=1, FormulaText:="$M$808"
47 SolverAdd CellRef:="$I$809", Relation:=1, FormulaText:="$M$809"
48 SolverAdd CellRef:="$I$812", Relation:=1, FormulaText:="$M$812"
49 SolverAdd CellRef:="$I$813", Relation:=1, FormulaText:="$M$813"
50 SolverAdd CellRef:="$I$816", Relation:=1, FormulaText:="$M$816"
51 SolverAdd CellRef:="$I$817", Relation:=1, FormulaText:="$M$817"
52 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 3
53 SolverAdd CellRef:="$I$830", Relation:=1, FormulaText:="$M$830"
54 SolverAdd CellRef:="$I$831", Relation:=1, FormulaText:="$M$831"
55 SolverAdd CellRef:="$I$835", Relation:=1, FormulaText:="$M$835"
56 SolverAdd CellRef:="$I$836", Relation:=1, FormulaText:="$M$836"
57 SolverAdd CellRef:="$I$840", Relation:=1, FormulaText:="$M$840"
58 SolverAdd CellRef:="$I$841", Relation:=1, FormulaText:="$M$841"
59 SolverAdd CellRef:="$I$845", Relation:=1, FormulaText:="$M$845"
60 SolverAdd CellRef:="$I$846", Relation:=1, FormulaText:="$M$846"
61 SolverAdd CellRef:="$I$847", Relation:=1, FormulaText:="$M$847"
62 SolverAdd CellRef:="$I$851", Relation:=1, FormulaText:="$M$851"
63 SolverAdd CellRef:="$I$852", Relation:=1, FormulaText:="$M$852"
64 SolverAdd CellRef:="$I$855", Relation:=1, FormulaText:="$M$855"
65 SolverAdd CellRef:="$I$856", Relation:=1, FormulaText:="$M$856"
66 SolverAdd CellRef:="$I$859", Relation:=1, FormulaText:="$M$859"
67 SolverAdd CellRef:="$I$860", Relation:=1, FormulaText:="$M$860"
68 SolverAdd CellRef:="$I$863", Relation:=1, FormulaText:="$M$863"
69 SolverAdd CellRef:="$I$864", Relation:=1, FormulaText:="$M$864"
70 'LIMITE DE ALTURA DE BOMBEO
71 SolverAdd CellRef:="$D$576", Relation:=1, FormulaText:="$80"
72 SolverAdd CellRef:="$D$576", Relation:=3, FormulaText:="$0"
73

```

```
74 'configuracion de opciones de los motores de calculo
75
76 SolverOptions MaxTime:=60, Iterations:=0, Precision:=0.0001, Convergence:= _
77 0.000001, StepThru:=False, Scaling:=True, AssumeNonNeg:=True, Derivatives:=1
78
79 SolverOptions PopulationSize:=100, RandomSeed:=0, MutationRate:=0.075,
Multistart _
80 :=False, RequireBounds:=False, MaxSubproblems:=0, MaxIntegerSols:=0, _
81 IntTolerance:=0, SolveWithout:=False, MaxTimeNoImp:=60
82
83 SolverSolve UserFinish:=True
84 SolverFinish KeepFinal:=1
85
86 End Sub
87
88
89
```

ANEXO M:

RESULTADOS DEL MODELO DE DIFERENTES HB

0

DATOS GENERALES

Velocidad max. (m ² /s) = 3.0	dias de los meses= 30
Velocidad min. (m ² /s) = 0.6	Eficiencia de bomba (n ₁)= 0.75
Presion maxima (mca) = 75.0	Eficiencia del motor (n ₂)= 0.80
Presion minima (mca) = 25	tasa de interes (%)= 8.50%
Densidad fluido (kg/m ³)= 997	periodo de diseño (años)= 30
viscosidad Cinemat. (Pa.s) = 0.000001	Factor anual de consumo energetico= 0.75
rugosidad absoluta (mm)= 0.0015	c.u. de energia en HP (s./Kwh)= 0.2550
Aceleracion gravedad (m/s ²)= 9.81	c. de potencia en HP (s./Kw.mes) 70.94
Perdidas Locales (%L)= 10%	c.u. de energia HFP (s./Kwh)= 0.2063
Periodo de bombeo (hrs) = 5	c. de potencia HFP (s./Kw.mes)= 50.90
	UND:TOMASIRI/TARIFA MT3

1

DATOS DE NUDOS DE CONSUMO Y TURNOS

NH	Nudo	Hidrante	Variable Turno	Area (ha)	Q (l/s)
1	5	1	2	8.5	15
2	6	1	2	7.8	12
3	7	1	3	8.0	16
4	8	1	1	8.3	13
5	10	1	2	7.3	13
6	11	1	1	7.9	13
7	12	1	1	9.2	13
8	13	1	2	8.7	13
9	15	1	1	7.7	13
10	16	1	1	8.0	15
11	17	1	2	9.0	13
12	18	1	3	8.5	14
13	20	1	1	6.5	9
14	21	1	2	8.5	13
15	22	1	3	7.7	10
16	23	1	1	7.5	10
17	24	1	2	7.5	10
18	27	1	3	8.2	13
19	28	1	1	8.2	15
20	29	1	2	8.5	15
21	31	1	3	8.4	13
22	32	1	1	8.5	15
23	33	1	2	8.0	15
24	35	1	3	8.6	13
25	36	1	1	8.5	13
26	37	1	2	8.5	13
27	39	1	3	6.5	9
28	40	1	1	8.5	15
29	41	1	2	8.0	12

CAUDALES TOTALES	QTT1	QTT2	QTT3
	144	144	88

SQTT
376.00

NH	NUDO	QT1	QT2	QT3
1	5	0	15	0
2	6	0	12	0
3	7	0	0	16
4	8	13	0	0
5	10	0	13	0
6	11	13	0	0
7	12	13	0	0
8	13	0	13	0
9	15	13	0	0
10	16	15	0	0
11	17	0	13	0
12	18	0	0	14
13	20	9	0	0
14	21	0	13	0
15	22	0	0	10
16	23	10	0	0
17	24	0	10	0
18	27	0	0	13
19	28	15	0	0
20	29	0	15	0
21	31	0	0	13
22	32	15	0	0
23	33	0	15	0
24	35	0	0	13
25	36	13	0	0
26	37	0	13	0
27	39	0	0	9
28	40	15	0	0
29	41	0	12	0

TURNO 1.00			
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	Q_T1 (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.30	144
Nudo 1	487.39	44.10	144
Nudo 2	485.93	57.60	144
Nudo 3	486.02	7.00	86
Nudo 4	485.32	27.80	86
Nudo 5	485.37	120.20	13
Nudo 6	483.40	206.90	13
Nudo 7	484.19	189.10	13
Nudo 8	483.93	187.60	13
Nudo 9	469.19	520.60	73
Nudo 10	469.71	120.20	26
Nudo 11	469.04	206.90	26
Nudo 12	470.60	189.20	13
Nudo 13	469.92	187.60	0
Nudo 14	458.85	507.30	47
Nudo 15	459.21	120.20	28
Nudo 16	458.99	206.90	15
Nudo 17	459.11	189.10	0
Nudo 18	459.86	187.60	0
Nudo 19	445.56	512.40	19
Nudo 20	446.07	120.20	19
Nudo 21	445.40	206.90	10
Nudo 22	446.07	189.10	10
Nudo 23	449.28	189.20	10
Nudo 24	449.57	189.10	0
Nudo 25	485.83	7.00	58
Nudo 26	485.13	27.80	58
Nudo 27	484.98	89.40	15
Nudo 28	485.24	202.30	15
Nudo 29	484.82	201.60	0
Nudo 30	469.10	520.60	43
Nudo 31	468.56	89.40	15
Nudo 32	467.98	202.30	15
Nudo 33	469.26	201.60	0
Nudo 34	458.73	507.30	28
Nudo 35	457.95	89.40	13
Nudo 36	459.34	202.30	13
Nudo 37	459.34	201.60	0
Nudo 38	445.49	512.40	15
Nudo 39	445.17	89.40	15
Nudo 40	443.34	202.30	15
Nudo 41	443.27	201.60	0

TURNO		2.00	
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.30	144
Nudo 1	487.39	44.10	144
Nudo 2	485.93	57.60	144
Nudo 3	486.02	7.00	89
Nudo 4	485.32	27.80	89
Nudo 5	485.37	120.20	27
Nudo 6	483.40	206.90	12
Nudo 7	484.19	189.10	0
Nudo 8	483.93	187.60	0
Nudo 9	469.19	520.60	62
Nudo 10	469.71	120.20	26
Nudo 11	469.04	206.90	13
Nudo 12	470.60	189.20	13
Nudo 13	469.92	187.60	13
Nudo 14	458.85	507.30	36
Nudo 15	459.21	120.20	13
Nudo 16	458.99	206.90	13
Nudo 17	459.11	189.10	13
Nudo 18	459.86	187.60	0
Nudo 19	445.56	512.40	23
Nudo 20	446.07	120.20	23
Nudo 21	445.40	206.90	23
Nudo 22	446.07	189.10	10
Nudo 23	449.28	189.20	10
Nudo 24	449.57	189.10	10
Nudo 25	485.83	7.00	55
Nudo 26	485.13	27.80	55
Nudo 27	484.98	89.40	15
Nudo 28	485.24	202.30	15
Nudo 29	484.82	201.60	15
Nudo 30	469.10	520.60	40
Nudo 31	468.56	89.40	15
Nudo 32	467.98	202.30	15
Nudo 33	469.26	201.60	15
Nudo 34	458.73	507.30	25
Nudo 35	457.95	89.40	13
Nudo 36	459.34	202.30	13
Nudo 37	459.34	201.60	13
Nudo 38	445.49	512.40	12
Nudo 39	445.17	89.40	12
Nudo 40	443.34	202.30	12
Nudo 41	443.27	201.60	12

TURNO		3.00	
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)
RESERVORIO	487.39		
BOMBA	487.39	15.30	88
Nudo 1	487.39	44.10	88
Nudo 2	485.93	57.60	88
Nudo 3	486.02	7.00	40
Nudo 4	485.32	27.80	40
Nudo 5	485.37	120.20	16
Nudo 6	483.40	206.90	16
Nudo 7	484.19	189.10	16
Nudo 8	483.93	187.60	0
Nudo 9	469.19	520.60	24
Nudo 10	469.71	120.20	0
Nudo 11	469.04	206.90	0
Nudo 12	470.60	189.20	0
Nudo 13	469.92	187.60	0
Nudo 14	458.85	507.30	24
Nudo 15	459.21	120.20	14
Nudo 16	458.99	206.90	14
Nudo 17	459.11	189.10	14
Nudo 18	459.86	187.60	14
Nudo 19	445.56	512.40	10
Nudo 20	446.07	120.20	10
Nudo 21	445.40	206.90	10
Nudo 22	446.07	189.10	10
Nudo 23	449.28	189.20	0
Nudo 24	449.57	189.10	0
Nudo 25	485.83	7.00	48
Nudo 26	485.13	27.80	48
Nudo 27	484.98	89.40	13
Nudo 28	485.24	202.30	0
Nudo 29	484.82	201.60	0
Nudo 30	469.10	520.60	35
Nudo 31	468.56	89.40	13
Nudo 32	467.98	202.30	0
Nudo 33	469.26	201.60	0
Nudo 34	458.73	507.30	22
Nudo 35	457.95	89.40	13
Nudo 36	459.34	202.30	0
Nudo 37	459.34	201.60	0
Nudo 38	445.49	512.40	9
Nudo 39	445.17	89.40	9
Nudo 40	443.34	202.30	0
Nudo 41	443.27	201.60	0

TURNO 2.00				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)														
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63.00	75.00	90.00	110.00	140.00	160.00	200.00	250.00	315.00	355.00	400.00	450.00	500.00	630.00	
				57.00	67.80	81.40	99.40	126.60	144.60	180.80	226.20	285.00	321.20	361.80	407.00	452.20	570.00	
RESERVORIO	487.39																	
BOMBA	487.39	15.30	144	56.43	39.89	27.67	18.56	11.44	8.77	5.61	3.58	2.26	1.78	1.40	1.11	0.90	0.56	
Nudo 1	487.39	44.10	144	56.43	39.89	27.67	18.56	11.44	8.77	5.61	3.58	2.26	1.78	1.40	1.11	0.90	0.56	
Nudo 2	485.93	57.60	144	56.43	39.89	27.67	18.56	11.44	8.77	5.61	3.58	2.26	1.78	1.40	1.11	0.90	0.56	
Nudo 3	486.02	7.00	89	34.88	24.65	17.10	11.47	7.07	5.42	3.47	2.21	1.40	1.10	0.87	0.68	0.55	0.35	
Nudo 4	485.32	27.80	89	34.88	24.65	17.10	11.47	7.07	5.42	3.47	2.21	1.40	1.10	0.87	0.68	0.55	0.35	
Nudo 5	485.37	120.20	27	10.58	7.48	5.19	3.48	2.14	1.64	1.05	0.67	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.11	
Nudo 6	483.40	206.90	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 7	484.19	189.10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nudo 8	483.93	187.60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nudo 9	469.19	520.60	62	24.30	17.17	11.91	7.99	4.93	3.78	2.41	1.54	0.97	0.77	0.60	0.48	0.39	0.24	
Nudo 10	469.71	120.20	26	10.19	7.20	5.00	3.35	2.07	1.58	1.01	0.65	0.41	0.32	0.25	0.20	0.16	0.10	
Nudo 11	469.04	206.90	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 12	470.60	189.20	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 13	469.92	187.60	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 14	458.85	507.30	36	14.11	9.97	6.92	4.64	2.86	2.19	1.40	0.90	0.56	0.44	0.35	0.28	0.22	0.14	
Nudo 15	459.21	120.20	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 16	458.99	206.90	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 17	459.11	189.10	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 18	459.86	187.60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Nudo 19	445.56	512.40	23	9.01	6.37	4.42	2.96	1.83	1.40	0.90	0.57	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.09	
Nudo 20	446.07	120.20	23	9.01	6.37	4.42	2.96	1.83	1.40	0.90	0.57	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.09	
Nudo 21	445.40	206.90	23	9.01	6.37	4.42	2.96	1.83	1.40	0.90	0.57	0.36	0.28	0.22	0.18	0.14	0.09	
Nudo 22	446.07	189.10	10	3.92	2.77	1.92	1.29	0.79	0.61	0.39	0.25	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	
Nudo 23	449.28	189.20	10	3.92	2.77	1.92	1.29	0.79	0.61	0.39	0.25	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	
Nudo 24	449.57	189.10	10	3.92	2.77	1.92	1.29	0.79	0.61	0.39	0.25	0.16	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	
Nudo 25	485.83	7.00	55	21.55	15.23	10.57	7.09	4.37	3.35	2.14	1.37	0.86	0.68	0.53	0.42	0.34	0.22	
Nudo 26	485.13	27.80	55	21.55	15.23	10.57	7.09	4.37	3.35	2.14	1.37	0.86	0.68	0.53	0.42	0.34	0.22	
Nudo 27	484.98	89.40	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 28	485.24	202.30	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 29	484.82	201.60	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 30	469.10	520.60	40	15.68	11.08	7.69	5.15	3.18	2.44	1.56	1.00	0.63	0.49	0.39	0.31	0.25	0.16	
Nudo 31	468.56	89.40	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 32	467.98	202.30	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 33	469.26	201.60	15	5.88	4.15	2.88	1.93	1.19	0.91	0.58	0.37	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.06	
Nudo 34	458.73	507.30	25	9.80	6.92	4.80	3.22	1.99	1.52	0.97	0.62	0.39	0.31	0.24	0.19	0.16	0.10	
Nudo 35	457.95	89.40	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 36	459.34	202.30	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 37	459.34	201.60	13	5.09	3.60	2.50	1.68	1.03	0.79	0.51	0.32	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.05	
Nudo 38	445.49	512.40	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 39	445.17	89.40	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 40	443.34	202.30	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	
Nudo 41	443.27	201.60	12	4.70	3.32	2.31	1.55	0.95	0.73	0.47	0.30	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	

Variable Longitudes Parciales				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)													Longitud Total		
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500		630	
RESERV.	487.39		(no se usa)	57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0		
BOMBA	487.39	15.3	144	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
Nudo 3	486.02	7.0	86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 4	485.32	27.8	86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 5	485.37	120.2	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 6	483.40	206.9	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 7	484.19	189.1	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 8	483.93	187.6	13	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	184.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 9	469.19	520.6	73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6
Nudo 10	469.71	120.2	26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 11	469.04	206.9	26	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 12	470.60	189.2	13	0.0	0.0	0.0	78.9	110.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.2
Nudo 13	469.92	187.6	0	0.0	0.0	52.0	135.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 14	458.85	507.3	47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.5	402.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	507.3
Nudo 15	459.21	120.2	28	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 16	458.99	206.9	15	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 17	459.11	189.1	0	0.0	0.0	113.3	75.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.0	0.0	0.0	187.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	187.6
Nudo 19	445.56	512.4	19	0.0	0.0	0.0	0.0	512.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	512.4
Nudo 20	446.07	120.2	19	0.0	0.0	0.0	0.0	50.3	69.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
Nudo 21	445.40	206.9	10	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.9
Nudo 22	446.07	189.1	10	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 23	449.28	189.2	10	0.0	0.0	0.0	189.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.2
Nudo 24	449.57	189.1	0	0.0	0.0	0.0	189.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	189.1
Nudo 25	485.83	7.0	58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
Nudo 26	485.13	27.8	58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
Nudo 27	484.98	89.4	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 28	485.24	202.3	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 29	484.82	201.6	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
Nudo 30	469.10	520.6	43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	520.6
Nudo 31	468.56	89.4	15	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 32	467.98	202.3	15	0.0	0.0	0.0	32.4	169.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 33	469.26	201.6	0	0.0	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
Nudo 34	458.73	507.3	28	0.0	0.0	0.0	0.0	105.5	401.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	507.3
Nudo 35	457.95	89.4	13	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 36	459.34	202.3	13	0.0	0.0	0.0	202.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 37	459.34	201.6	0	0.0	0.0	35.4	166.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6
Nudo 38	445.49	512.4	15	0.0	0.0	0.0	512.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	512.4
Nudo 39	445.17	89.4	15	0.0	0.0	0.0	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.4
Nudo 40	443.34	202.3	15	0.0	0.0	0.0	202.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	202.3
Nudo 41	443.27	201.6	0	0.0	0.0	201.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.6

Variable Alturas de Bombeo

ALTURA	HB	HB_T2	HB_T3
BOMBEO	26.18	26.85	25.62

TURNO 1				Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)							
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	144	0.19	0.19	25	50	26.18	513.38	25.99
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.56	0.75	25	50	26.18	512.82	25.43
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.73	1.48	25	50	26.18	512.09	26.16
Nudo 3	486.02	7.0	86	0.03	1.51	25	50	26.18	512.06	26.04
Nudo 4	485.32	27.8	86	0.14	1.65	25	50	26.18	511.92	26.60
Nudo 5	485.37	120.2	13	0.51	2.16	25	50	26.18	511.41	26.04
Nudo 6	483.40	206.9	13	0.88	3.04	25	50	26.18	510.54	27.14
Nudo 7	484.19	189.1	13	0.80	3.84	25	50	26.18	509.74	25.55
Nudo 8	483.93	187.6	13	0.81	4.64	25	50	26.18	508.93	25.00
Nudo 9	469.19	520.6	73	5.82	7.47	25	50	26.18	506.11	36.92
Nudo 10	469.71	120.2	26	1.78	9.25	25	50	26.18	504.33	34.62
Nudo 11	469.04	206.9	26	5.82	15.06	25	50	26.18	498.51	29.47
Nudo 12	470.60	189.2	13	2.91	17.97	25	50	26.18	495.60	25.00
Nudo 13	469.92	187.6	0	0.00	17.97	25	50	26.18	495.60	25.68
Nudo 14	458.85	507.3	47	10.50	17.96	25	50	26.18	495.61	36.76
Nudo 15	459.21	120.2	28	3.87	21.83	25	50	26.18	491.74	32.53
Nudo 16	458.99	206.9	15	6.88	28.71	25	50	26.18	484.86	25.87
Nudo 17	459.11	189.1	0	0.00	28.71	25	50	26.18	484.86	25.75
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.00	28.71	25	50	26.18	484.86	25.00
Nudo 19	445.56	512.4	19	8.16	26.12	25	50	26.18	487.45	41.89
Nudo 20	446.07	120.2	19	1.39	27.51	25	50	26.18	486.07	40.00
Nudo 21	445.40	206.9	10	1.04	28.54	25	50	26.18	485.03	39.63
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.03	31.57	25	50	26.18	482.01	35.94
Nudo 23	449.28	189.2	10	3.03	34.59	25	50	26.18	478.98	29.70
Nudo 24	449.57	189.1	0	0.00	34.59	25	50	26.18	478.98	29.41
Nudo 25	485.83	7.0	58	0.05	1.53	25	50	26.18	512.04	26.21
Nudo 26	485.13	27.8	58	0.20	1.74	25	50	26.18	511.84	26.71
Nudo 27	484.98	89.4	15	0.49	2.23	25	50	26.18	511.35	26.37
Nudo 28	485.24	202.3	15	1.11	3.33	25	50	26.18	510.24	25.00
Nudo 29	484.82	201.6	0	0.00	3.33	25	50	26.18	510.24	25.42
Nudo 30	469.10	520.6	43	6.54	8.28	25	50	26.18	505.30	36.20
Nudo 31	468.56	89.4	15	2.97	11.25	25	50	26.18	502.32	33.76
Nudo 32	467.98	202.3	15	2.84	14.10	25	50	26.18	499.48	31.50
Nudo 33	469.26	201.6	0	0.00	14.10	25	50	26.18	499.48	30.22
Nudo 34	458.73	507.3	28	10.20	18.48	25	50	26.18	495.10	36.37
Nudo 35	457.95	89.4	13	2.30	20.77	25	50	26.18	492.80	34.85
Nudo 36	459.34	202.3	13	5.20	25.97	25	50	26.18	487.60	28.26
Nudo 37	459.34	201.6	0	0.00	25.97	25	50	26.18	487.60	28.26
Nudo 38	445.49	512.4	15	17.05	35.53	25	50	26.18	478.05	32.56
Nudo 39	445.17	89.4	15	2.97	38.50	25	50	26.18	475.07	29.90
Nudo 40	443.34	202.3	15	6.73	45.23	25	50	26.18	468.34	25.00
Nudo 41	443.27	201.6	0	0.00	45.23	25	50	26.18	468.34	25.07

TURNO 2				Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)							
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	144	0.19	0.19	25	50	26.85	514.04	26.65
Nudo 1	487.39	44.1	144	0.56	0.75	25	50	26.85	513.48	26.09
Nudo 2	485.93	57.6	144	0.73	1.48	25	50	26.85	512.76	26.83
Nudo 3	486.02	7.0	89	0.04	1.52	25	50	26.85	512.72	26.70
Nudo 4	485.32	27.8	89	0.15	1.66	25	50	26.85	512.57	27.25
Nudo 5	485.37	120.2	27	1.91	3.57	25	50	26.85	510.67	25.30
Nudo 6	483.40	206.9	12	0.76	4.33	25	50	26.85	509.91	26.51
Nudo 7	484.19	189.1	0	0.00	4.33	25	50	26.85	509.91	25.72
Nudo 8	483.93	187.6	0	0.00	4.33	25	50	26.85	509.91	25.98
Nudo 9	469.19	520.6	62	4.32	5.98	25	50	26.85	508.25	39.06
Nudo 10	469.71	120.2	26	1.78	7.76	25	50	26.85	506.47	36.76
Nudo 11	469.04	206.9	13	1.66	9.42	25	50	26.85	504.81	35.77
Nudo 12	470.60	189.2	13	2.91	12.33	25	50	26.85	501.90	31.30
Nudo 13	469.92	187.6	13	6.98	19.32	25	50	26.85	494.92	25.00
Nudo 14	458.85	507.3	36	6.46	12.44	25	50	26.85	501.79	42.94
Nudo 15	459.21	120.2	13	0.96	13.41	25	50	26.85	500.83	41.62
Nudo 16	458.99	206.9	13	5.31	18.72	25	50	26.85	495.51	36.52
Nudo 17	459.11	189.1	13	9.57	28.29	25	50	26.85	485.95	26.84
Nudo 18	459.86	187.6	0	0.00	28.29	25	50	26.85	485.95	26.09
Nudo 19	445.56	512.4	23	11.53	23.97	25	50	26.85	490.26	44.70
Nudo 20	446.07	120.2	23	1.96	25.93	25	50	26.85	488.30	42.23
Nudo 21	445.40	206.9	23	4.66	30.59	25	50	26.85	483.65	38.25
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.03	33.61	25	50	26.85	480.62	34.55
Nudo 23	449.28	189.2	10	3.03	36.64	25	50	26.85	477.60	28.32
Nudo 24	449.57	189.1	10	3.03	39.67	25	50	26.85	474.57	25.00
Nudo 25	485.83	7.0	55	0.05	1.53	25	50	26.85	512.71	26.88
Nudo 26	485.13	27.8	55	0.19	1.71	25	50	26.85	512.52	27.39
Nudo 27	484.98	89.4	15	0.49	2.20	25	50	26.85	512.03	27.05
Nudo 28	485.24	202.3	15	1.11	3.31	25	50	26.85	510.92	25.68
Nudo 29	484.82	201.6	15	1.10	4.42	25	50	26.85	509.82	25.00
Nudo 30	469.10	520.6	40	5.74	7.45	25	50	26.85	506.79	37.69
Nudo 31	468.56	89.4	15	2.97	10.42	25	50	26.85	503.81	35.25
Nudo 32	467.98	202.3	15	2.84	13.27	25	50	26.85	500.97	32.99
Nudo 33	469.26	201.6	15	6.71	19.98	25	50	26.85	494.26	25.00
Nudo 34	458.73	507.3	25	8.30	15.75	25	50	26.85	498.48	39.75
Nudo 35	457.95	89.4	13	2.30	18.05	25	50	26.85	496.19	38.24
Nudo 36	459.34	202.3	13	5.20	23.24	25	50	26.85	490.99	31.65
Nudo 37	459.34	201.6	13	6.65	29.90	25	50	26.85	484.34	25.00
Nudo 38	445.49	512.4	12	11.39	27.14	25	50	26.85	487.09	41.60
Nudo 39	445.17	89.4	12	1.99	29.13	25	50	26.85	485.11	39.94
Nudo 40	443.34	202.3	12	4.50	33.62	25	50	26.85	480.61	37.27
Nudo 41	443.27	201.6	12	11.73	45.36	25	50	26.85	468.88	25.61

TURNO 3				Hf por tramo	Hftotal	P min	P max	H bombeo	Alt. Piez. (mca)	Presion (mca)
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)							
RESERVORIO	487.39									
BOMBA	487.39	15.3	88	0.08	0.08	25	50	25.62	512.93	25.54
Nudo 1	487.39	44.1	88	0.23	0.31	25	50	25.62	512.71	25.32
Nudo 2	485.93	57.6	88	0.30	0.60	25	50	25.62	512.41	26.48
Nudo 3	486.02	7.0	40	0.01	0.61	25	50	25.62	512.40	26.38
Nudo 4	485.32	27.8	40	0.03	0.64	25	50	25.62	512.37	27.05
Nudo 5	485.37	120.2	16	0.74	1.38	25	50	25.62	511.63	26.26
Nudo 6	483.40	206.9	16	1.27	2.66	25	50	25.62	510.35	26.95
Nudo 7	484.19	189.1	16	1.16	3.82	25	50	25.62	509.19	25.00
Nudo 8	483.93	187.6	0	0.00	3.82	25	50	25.62	509.19	25.26
Nudo 9	469.19	520.6	24	0.78	1.42	25	50	25.62	511.59	42.40
Nudo 10	469.71	120.2	0	0.00	1.42	25	50	25.62	511.59	41.88
Nudo 11	469.04	206.9	0	0.00	1.42	25	50	25.62	511.59	42.55
Nudo 12	470.60	189.2	0	0.00	1.42	25	50	25.62	511.59	40.99
Nudo 13	469.92	187.6	0	0.00	1.42	25	50	25.62	511.59	41.67
Nudo 14	458.85	507.3	24	3.10	4.52	25	50	25.62	508.49	49.64
Nudo 15	459.21	120.2	14	1.10	5.62	25	50	25.62	507.39	48.18
Nudo 16	458.99	206.9	14	6.08	11.70	25	50	25.62	501.32	42.33
Nudo 17	459.11	189.1	14	10.95	22.64	25	50	25.62	490.37	31.26
Nudo 18	459.86	187.6	14	5.51	28.15	25	50	25.62	484.86	25.00
Nudo 19	445.56	512.4	10	2.57	7.08	25	50	25.62	505.93	60.37
Nudo 20	446.07	120.2	10	0.44	7.52	25	50	25.62	505.49	59.42
Nudo 21	445.40	206.9	10	1.04	8.56	25	50	25.62	504.46	59.06
Nudo 22	446.07	189.1	10	3.03	11.58	25	50	25.62	501.43	55.36
Nudo 23	449.28	189.2	0	0.00	11.58	25	50	25.62	501.43	52.15
Nudo 24	449.57	189.1	0	0.00	11.58	25	50	25.62	501.43	51.86
Nudo 25	485.83	7.0	48	0.04	0.64	25	50	25.62	512.37	26.54
Nudo 26	485.13	27.8	48	0.14	0.78	25	50	25.62	512.23	27.10
Nudo 27	484.98	89.4	13	0.38	1.16	25	50	25.62	511.85	26.87
Nudo 28	485.24	202.3	0	0.00	1.16	25	50	25.62	511.85	26.61
Nudo 29	484.82	201.6	0	0.00	1.16	25	50	25.62	511.85	27.03
Nudo 30	469.10	520.6	35	4.50	5.29	25	50	25.62	507.73	38.63
Nudo 31	468.56	89.4	13	2.30	7.58	25	50	25.62	505.43	36.87
Nudo 32	467.98	202.3	0	0.00	7.58	25	50	25.62	505.43	37.45
Nudo 33	469.26	201.6	0	0.00	7.58	25	50	25.62	505.43	36.17
Nudo 34	458.73	507.3	22	6.59	11.87	25	50	25.62	501.14	42.41
Nudo 35	457.95	89.4	13	2.30	14.17	25	50	25.62	498.84	40.89
Nudo 36	459.34	202.3	0	0.00	14.17	25	50	25.62	498.84	39.50
Nudo 37	459.34	201.6	0	0.00	14.17	25	50	25.62	498.84	39.50
Nudo 38	445.49	512.4	9	6.78	18.65	25	50	25.62	494.36	48.87
Nudo 39	445.17	89.4	9	1.18	19.84	25	50	25.62	493.18	48.01
Nudo 40	443.34	202.3	0	0.00	19.84	25	50	25.62	493.18	49.84
Nudo 41	443.27	201.6	0	0.00	19.84	25	50	25.62	493.18	49.91

TURNO 1				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.18	144	61.46	5.00	307.32

TURNO 2				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
26.85	144	63.02	5.00	315.08

TURNO 3				
HB turno	Qcabecera	POT. (KW)	Ti	ENERGIA (KWh)
25.62	88	36.76	3.00	110.27
25.62	88	36.76	2.00	73.51

Max. Pot. FHP=	63.02	Energia FHP=	732.66
MAX. Pot. HP=	36.76	Energia HP=	73.51
Costo/mes)=	5814.95	Costo /mes=	5096.82
factor energ. anual=	0.75	factor anual=	0.75
Costo de Potencia Anual=	52334.56	Energ. Anual=	45871.39

Datos Topologicos				DIAMETROS DE TUBERIAS NICOLL NTP-ISO 4422 (mm)														SUB
LINEA/ NUDO	COTA (m)	LONGITUD (m)	CAUDAL (l/s)	63	75	90	110	140	160	200	250	315	355	400	450	500	630	TOTAL
				57.0	67.8	81.4	99.4	126.6	144.6	180.8	226.2	285.0	321.2	361.8	407.0	452.2	570.0	
RESERVORIO	487.39		(no se usa)															
BOMBA	487.4	15.3	144.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2619.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2619.08
Nudo 1	487.4	44.1	144.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7549.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7549.11
Nudo 2	485.9	57.6	144.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9860.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9860.06
Nudo 3	486.0	7.0	86.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1198.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1198.27
Nudo 4	485.3	27.8	86.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4758.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4758.85
Nudo 5	485.4	120.2	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45
Nudo 6	483.4	206.9	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11705.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11705.60
Nudo 7	484.2	189.1	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10698.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10698.55
Nudo 8	483.9	187.6	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.64	10452.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10582.28
Nudo 9	469.2	520.6	73.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61124.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61124.66
Nudo 10	469.7	120.2	26.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6800.45
Nudo 11	469.0	206.9	26.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98
Nudo 12	470.6	189.2	13.00	0.00	0.00	0.00	2421.28	5023.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7445.19
Nudo 13	469.9	187.6	0.00	0.00	0.00	1153.03	4160.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5313.42
Nudo 14	458.9	507.3	47.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5913.04	32811.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38724.91
Nudo 15	459.2	120.2	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5474.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5474.35
Nudo 16	459.0	206.9	15.00	0.00	0.00	0.00	6350.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6350.13
Nudo 17	459.1	189.1	0.00	0.00	0.00	2510.22	2326.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4836.42
Nudo 18	459.9	187.6	0.00	0.00	0.00	0.00	5757.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5757.78
Nudo 19	445.6	512.4	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23336.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23336.56
Nudo 20	446.1	120.2	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2290.44	3955.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6245.61
Nudo 21	445.4	206.9	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9422.98
Nudo 22	446.1	189.1	10.00	0.00	0.00	0.00	5803.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5803.82
Nudo 23	449.3	189.2	10.00	0.00	0.00	0.00	5806.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5806.88
Nudo 24	449.6	189.1	0.00	0.00	0.00	0.00	5803.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5803.82
Nudo 25	485.8	7.0	58.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	821.88
Nudo 26	485.1	27.8	58.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3264.05
Nudo 27	485.0	89.4	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5057.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5057.91
Nudo 28	485.2	202.3	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11445.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11445.35
Nudo 29	484.8	201.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11405.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11405.75
Nudo 30	469.1	520.6	43.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42409.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42409.34
Nudo 31	468.6	89.4	15.00	0.00	0.00	0.00	2743.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2743.85
Nudo 32	468.0	202.3	15.00	0.00	0.00	0.00	995.91	7735.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8731.55
Nudo 33	469.3	201.6	0.00	0.00	0.00	0.00	6187.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6187.46
Nudo 34	458.7	507.3	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4805.62	22731.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27536.96
Nudo 35	458.0	89.4	13.00	0.00	0.00	0.00	2743.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2743.85
Nudo 36	459.3	202.3	13.00	0.00	0.00	0.00	6208.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6208.95
Nudo 37	459.3	201.6	0.00	0.00	0.00	0.00	784.87	5100.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5884.99
Nudo 38	445.5	512.4	15.00	0.00	0.00	0.00	15726.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15726.47
Nudo 39	445.2	89.4	15.00	0.00	0.00	0.00	2743.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2743.85
Nudo 40	443.3	202.3	15.00	0.00	0.00	0.00	6208.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6208.95
Nudo 41	443.3	201.6	0.00	0.00	0.00	4466.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4466.25
Costo Total=																		437029.62
Factor de amortizacion=																		0.09
Costo Anual Amortizado=																		40665.86

11**FUNCION OBJETIVO DE COSTOS**

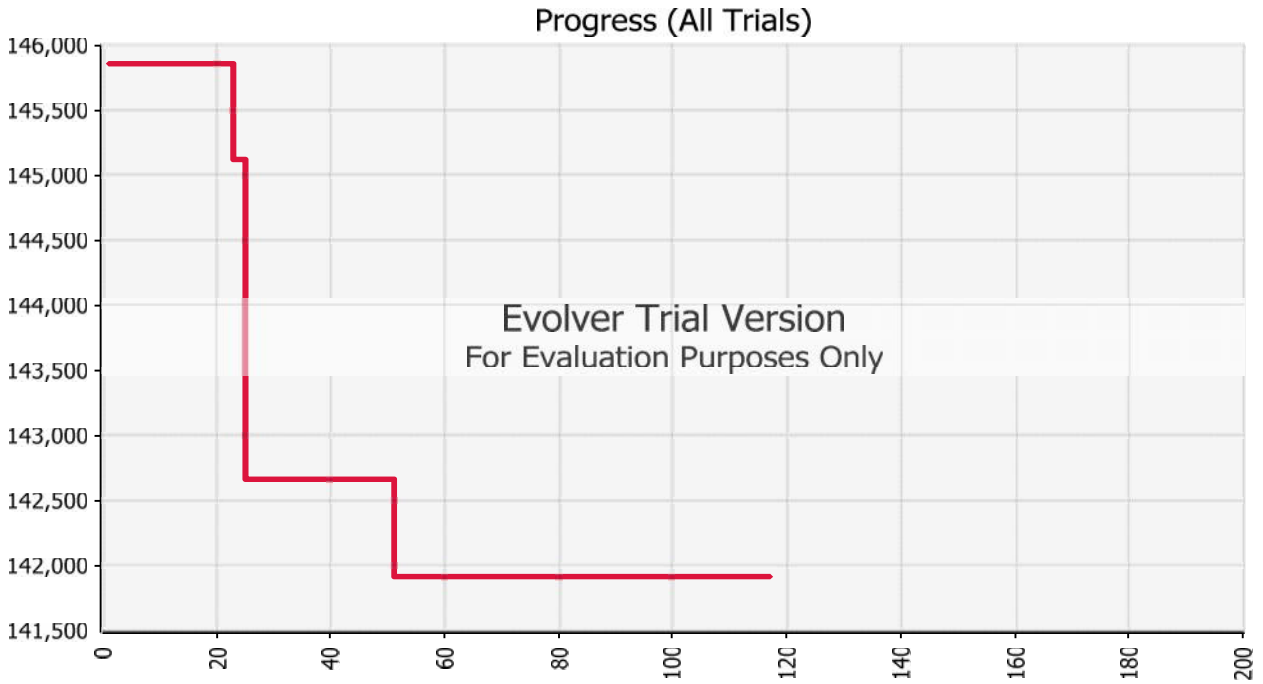
Costo de Potencia=	52334.56
Costo de Energetico=	45871.39
Costo de Operación Anual=	98205.94
Costo Amort. de Instalacion=	40665.86
Funcion Objetivo=	138871.80

Evolver: Optimization Summary

Performed By: ALFREDO PRISMANN

Date: martes, 18 de Agosto de 2020 09:05:50

Model: MODELACION_REDES_HIDRAULICAS_CON MACRO_4var_HBVAR2.xlsm



Evolver Trial Version
For Evaluation Purposes Only

Goal	
Cell to Optimize	'modelo'!F948
Type of Goal	Minimum

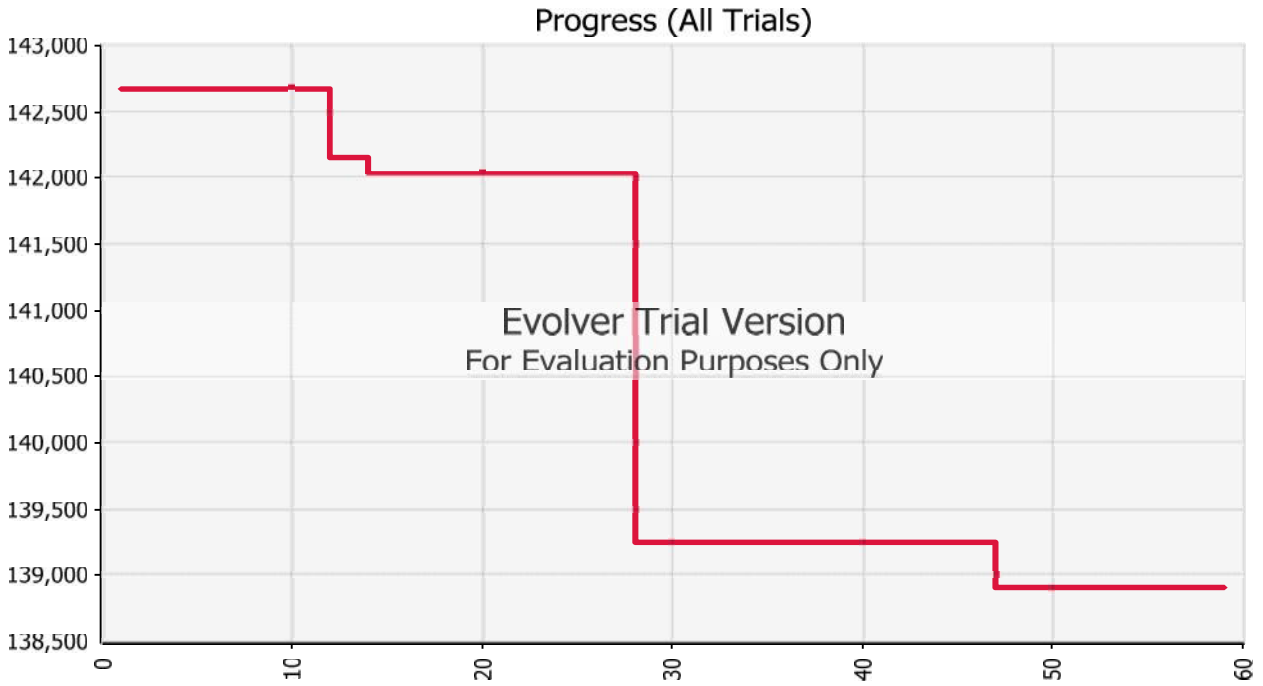
Results	
Valid Trials	117
Total Trials	117
Original Value	145790.12
+ soft constraint penalties	0.00
= result	145790.12
Best Value Found	141869.97
+ soft constraint penalties	0.00
= result	141869.97
Best Trial Number	51
Time to Find Best Value	0:14:22
Reason Optimization Stopped	Elapsed time
Time Optimization Started	18/08/2020 08:35
Time Optimization Finished	18/08/2020 09:05
Total Optimization Time	0:30:02

Evolver: Optimization Summary

Performed By: ALFREDO PRISMANN

Date: lunes, 17 de Agosto de 2020 12:54:47

Model: MODELACION_REDES_HIDRAULICAS_CON_MACRO_4var_HBVAR2.xlsm



Goal	
Cell to Optimize	'modelo'!F948
Type of Goal	Minimum

Results	
Valid Trials	59
Total Trials	59
Original Value	142612.01
+ soft constraint penalties	0.00
= result	142612.01
Best Value Found	138871.80
+ soft constraint penalties	0.00
= result	138871.80
Best Trial Number	47
Time to Find Best Value	0:18:15
Reason Optimization Stopped	Stop button pressed
Time Optimization Started	17/08/2020 12:30
Time Optimization Finished	17/08/2020 12:54
Total Optimization Time	0:23:00

ANEXO N:

CODIGO DE MACROS DEL MODELO DE

DIFERENTES HB

```

1 Sub SolverHBt()
2 '
3 ' SolverHBt Macro
4 ' MACRO DE COPIA LONGITUDES DE ENTRADA Y CALCULA HBt
5 '
6 ' Acceso directo: Ctrl+Mayús+M
7
8 'Copia rango de celdas de diametros mayores para agilizar calculos
9
10 Range("K51:N93").Copy
11 Range("K96").PasteSpecial xlPasteValues
12
13 'Calculo de las alturas de bombeo con MOTOR DE CALCULO GRG NONLINEAR
14
15 SolverReset
16
17 SolverOK SetCell:="$F$948", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:= _
18 "$K$138:$M$138", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
19
20 'RESTRICCIONES DE LONGITUDES PARCIALES (opcional)
21 SolverAdd CellRef:="$E$531:$E$572", Relation:=2, FormulaText:="$U$531:$U$572"
22
23 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 1
24 SolverAdd CellRef:="$I$736", Relation:=1, FormulaText:="$M$736"
25 SolverAdd CellRef:="$I$737", Relation:=1, FormulaText:="$M$737"
26 SolverAdd CellRef:="$I$741", Relation:=1, FormulaText:="$M$741"
27 SolverAdd CellRef:="$I$742", Relation:=1, FormulaText:="$M$742"
28 SolverAdd CellRef:="$I$746", Relation:=1, FormulaText:="$M$746"
29 SolverAdd CellRef:="$I$747", Relation:=1, FormulaText:="$M$747"
30 SolverAdd CellRef:="$I$751", Relation:=1, FormulaText:="$M$751"
31 SolverAdd CellRef:="$I$752", Relation:=1, FormulaText:="$M$752"
32 SolverAdd CellRef:="$I$753", Relation:=1, FormulaText:="$M$753"
33 SolverAdd CellRef:="$I$757", Relation:=1, FormulaText:="$M$757"
34 SolverAdd CellRef:="$I$758", Relation:=1, FormulaText:="$M$758"
35 SolverAdd CellRef:="$I$761", Relation:=1, FormulaText:="$M$761"
36 SolverAdd CellRef:="$I$762", Relation:=1, FormulaText:="$M$762"
37 SolverAdd CellRef:="$I$765", Relation:=1, FormulaText:="$M$765"
38 SolverAdd CellRef:="$I$766", Relation:=1, FormulaText:="$M$766"
39 SolverAdd CellRef:="$I$769", Relation:=1, FormulaText:="$M$769"
40 SolverAdd CellRef:="$I$770", Relation:=1, FormulaText:="$M$770"
41 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 2
42 SolverAdd CellRef:="$I$783", Relation:=1, FormulaText:="$M$783"
43 SolverAdd CellRef:="$I$784", Relation:=1, FormulaText:="$M$784"
44 SolverAdd CellRef:="$I$788", Relation:=1, FormulaText:="$M$788"
45 SolverAdd CellRef:="$I$789", Relation:=1, FormulaText:="$M$789"
46 SolverAdd CellRef:="$I$793", Relation:=1, FormulaText:="$M$793"
47 SolverAdd CellRef:="$I$794", Relation:=1, FormulaText:="$M$794"
48 SolverAdd CellRef:="$I$798", Relation:=1, FormulaText:="$M$798"
49 SolverAdd CellRef:="$I$799", Relation:=1, FormulaText:="$M$799"
50 SolverAdd CellRef:="$I$800", Relation:=1, FormulaText:="$M$800"
51 SolverAdd CellRef:="$I$804", Relation:=1, FormulaText:="$M$804"
52 SolverAdd CellRef:="$I$805", Relation:=1, FormulaText:="$M$805"
53 SolverAdd CellRef:="$I$808", Relation:=1, FormulaText:="$M$808"
54 SolverAdd CellRef:="$I$809", Relation:=1, FormulaText:="$M$809"
55 SolverAdd CellRef:="$I$812", Relation:=1, FormulaText:="$M$812"
56 SolverAdd CellRef:="$I$813", Relation:=1, FormulaText:="$M$813"
57 SolverAdd CellRef:="$I$816", Relation:=1, FormulaText:="$M$816"
58 SolverAdd CellRef:="$I$817", Relation:=1, FormulaText:="$M$817"
59 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 3
60 SolverAdd CellRef:="$I$830", Relation:=1, FormulaText:="$M$830"
61 SolverAdd CellRef:="$I$831", Relation:=1, FormulaText:="$M$831"
62 SolverAdd CellRef:="$I$835", Relation:=1, FormulaText:="$M$835"
63 SolverAdd CellRef:="$I$836", Relation:=1, FormulaText:="$M$836"
64 SolverAdd CellRef:="$I$840", Relation:=1, FormulaText:="$M$840"
65 SolverAdd CellRef:="$I$841", Relation:=1, FormulaText:="$M$841"
66 SolverAdd CellRef:="$I$845", Relation:=1, FormulaText:="$M$845"
67 SolverAdd CellRef:="$I$846", Relation:=1, FormulaText:="$M$846"
68 SolverAdd CellRef:="$I$847", Relation:=1, FormulaText:="$M$847"
69 SolverAdd CellRef:="$I$851", Relation:=1, FormulaText:="$M$851"
70 SolverAdd CellRef:="$I$852", Relation:=1, FormulaText:="$M$852"
71 SolverAdd CellRef:="$I$855", Relation:=1, FormulaText:="$M$855"
72 SolverAdd CellRef:="$I$856", Relation:=1, FormulaText:="$M$856"
73 SolverAdd CellRef:="$I$859", Relation:=1, FormulaText:="$M$859"

```

```
74 SolverAdd CellRef:="$I$860", Relation:=1, FormulaText:="$M$860"
75 SolverAdd CellRef:="$I$863", Relation:=1, FormulaText:="$M$863"
76 SolverAdd CellRef:="$I$864", Relation:=1, FormulaText:="$M$864"
77 'LIMITE DE ALTURA DE BOMBEO
78 SolverAdd CellRef:="$D$576:$F$576", Relation:=1, FormulaText:="80"
79 SolverAdd CellRef:="$D$576:$F$576", Relation:=3, FormulaText:="0"
80
81 'Configuracion de opciones de los motores de calculo
82
83 SolverOptions MaxTime:=60, Iterations:=0, Precision:=0.0001, Convergence:= _
84 0.000001, StepThru:=False, Scaling:=True, AssumeNonNeg:=True, Derivatives:=1
85
86 SolverOptions PopulationSize:=100, RandomSeed:=0, MutationRate:=0.075,
87 Multistart _
88 :=False, RequireBounds:=False, MaxSubproblems:=0, MaxIntegerSols:=0, _
89 IntTolerance:=0, SolveWithout:=False, MaxTimeNoImp:=60
90
91 SolverSolve UserFinish:=True
92 SolverFinish KeepFinal:=1
93 End Sub
```

```

1 Sub SolverLi()
2 '
3 ' Solveralf Macro
4 ' MACRO QUE CALCULA LAS LONGITUDES PARCIALES DE LOS DIAMETROS OPTIMOS
5 '
6 ' Acceso directo: Ctrl+Mayús+D
7
8 'calculo de de las longitudes parciales optimas CON MOTOR DE CALCULO SIMPLEX LP
9
10 SolverReset
11
12 SolverOK SetCell:="$F$948", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:= _
13 "$K$96:$N$137", Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
14
15 'RESTRICCIONES DE LONGITUDES PARCIALES (obligatorio)
16 SolverAdd CellRef:="$E$531:$E$572", Relation:=2, FormulaText:="$U$531:$U$572"
17
18 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 1
19 SolverAdd CellRef:="$I$736", Relation:=1, FormulaText:="$M$736"
20 SolverAdd CellRef:="$I$737", Relation:=1, FormulaText:="$M$737"
21 SolverAdd CellRef:="$I$741", Relation:=1, FormulaText:="$M$741"
22 SolverAdd CellRef:="$I$742", Relation:=1, FormulaText:="$M$742"
23 SolverAdd CellRef:="$I$746", Relation:=1, FormulaText:="$M$746"
24 SolverAdd CellRef:="$I$747", Relation:=1, FormulaText:="$M$747"
25 SolverAdd CellRef:="$I$751", Relation:=1, FormulaText:="$M$751"
26 SolverAdd CellRef:="$I$752", Relation:=1, FormulaText:="$M$752"
27 SolverAdd CellRef:="$I$753", Relation:=1, FormulaText:="$M$753"
28 SolverAdd CellRef:="$I$757", Relation:=1, FormulaText:="$M$757"
29 SolverAdd CellRef:="$I$758", Relation:=1, FormulaText:="$M$758"
30 SolverAdd CellRef:="$I$761", Relation:=1, FormulaText:="$M$761"
31 SolverAdd CellRef:="$I$762", Relation:=1, FormulaText:="$M$762"
32 SolverAdd CellRef:="$I$765", Relation:=1, FormulaText:="$M$765"
33 SolverAdd CellRef:="$I$766", Relation:=1, FormulaText:="$M$766"
34 SolverAdd CellRef:="$I$769", Relation:=1, FormulaText:="$M$769"
35 SolverAdd CellRef:="$I$770", Relation:=1, FormulaText:="$M$770"
36 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 2
37 SolverAdd CellRef:="$I$783", Relation:=1, FormulaText:="$M$783"
38 SolverAdd CellRef:="$I$784", Relation:=1, FormulaText:="$M$784"
39 SolverAdd CellRef:="$I$788", Relation:=1, FormulaText:="$M$788"
40 SolverAdd CellRef:="$I$789", Relation:=1, FormulaText:="$M$789"
41 SolverAdd CellRef:="$I$793", Relation:=1, FormulaText:="$M$793"
42 SolverAdd CellRef:="$I$794", Relation:=1, FormulaText:="$M$794"
43 SolverAdd CellRef:="$I$798", Relation:=1, FormulaText:="$M$798"
44 SolverAdd CellRef:="$I$799", Relation:=1, FormulaText:="$M$799"
45 SolverAdd CellRef:="$I$800", Relation:=1, FormulaText:="$M$800"
46 SolverAdd CellRef:="$I$804", Relation:=1, FormulaText:="$M$804"
47 SolverAdd CellRef:="$I$805", Relation:=1, FormulaText:="$M$805"
48 SolverAdd CellRef:="$I$808", Relation:=1, FormulaText:="$M$808"
49 SolverAdd CellRef:="$I$809", Relation:=1, FormulaText:="$M$809"
50 SolverAdd CellRef:="$I$812", Relation:=1, FormulaText:="$M$812"
51 SolverAdd CellRef:="$I$813", Relation:=1, FormulaText:="$M$813"
52 SolverAdd CellRef:="$I$816", Relation:=1, FormulaText:="$M$816"
53 SolverAdd CellRef:="$I$817", Relation:=1, FormulaText:="$M$817"
54 'RESTRICCIONES DE PRESION MIN TURNO 3
55 SolverAdd CellRef:="$I$830", Relation:=1, FormulaText:="$M$830"
56 SolverAdd CellRef:="$I$831", Relation:=1, FormulaText:="$M$831"
57 SolverAdd CellRef:="$I$835", Relation:=1, FormulaText:="$M$835"
58 SolverAdd CellRef:="$I$836", Relation:=1, FormulaText:="$M$836"
59 SolverAdd CellRef:="$I$840", Relation:=1, FormulaText:="$M$840"
60 SolverAdd CellRef:="$I$841", Relation:=1, FormulaText:="$M$841"
61 SolverAdd CellRef:="$I$845", Relation:=1, FormulaText:="$M$845"
62 SolverAdd CellRef:="$I$846", Relation:=1, FormulaText:="$M$846"
63 SolverAdd CellRef:="$I$847", Relation:=1, FormulaText:="$M$847"
64 SolverAdd CellRef:="$I$851", Relation:=1, FormulaText:="$M$851"
65 SolverAdd CellRef:="$I$852", Relation:=1, FormulaText:="$M$852"
66 SolverAdd CellRef:="$I$855", Relation:=1, FormulaText:="$M$855"
67 SolverAdd CellRef:="$I$856", Relation:=1, FormulaText:="$M$856"
68 SolverAdd CellRef:="$I$859", Relation:=1, FormulaText:="$M$859"
69 SolverAdd CellRef:="$I$860", Relation:=1, FormulaText:="$M$860"
70 SolverAdd CellRef:="$I$863", Relation:=1, FormulaText:="$M$863"
71 SolverAdd CellRef:="$I$864", Relation:=1, FormulaText:="$M$864"
72
73 'configuracion de opciones de los motores de calculo

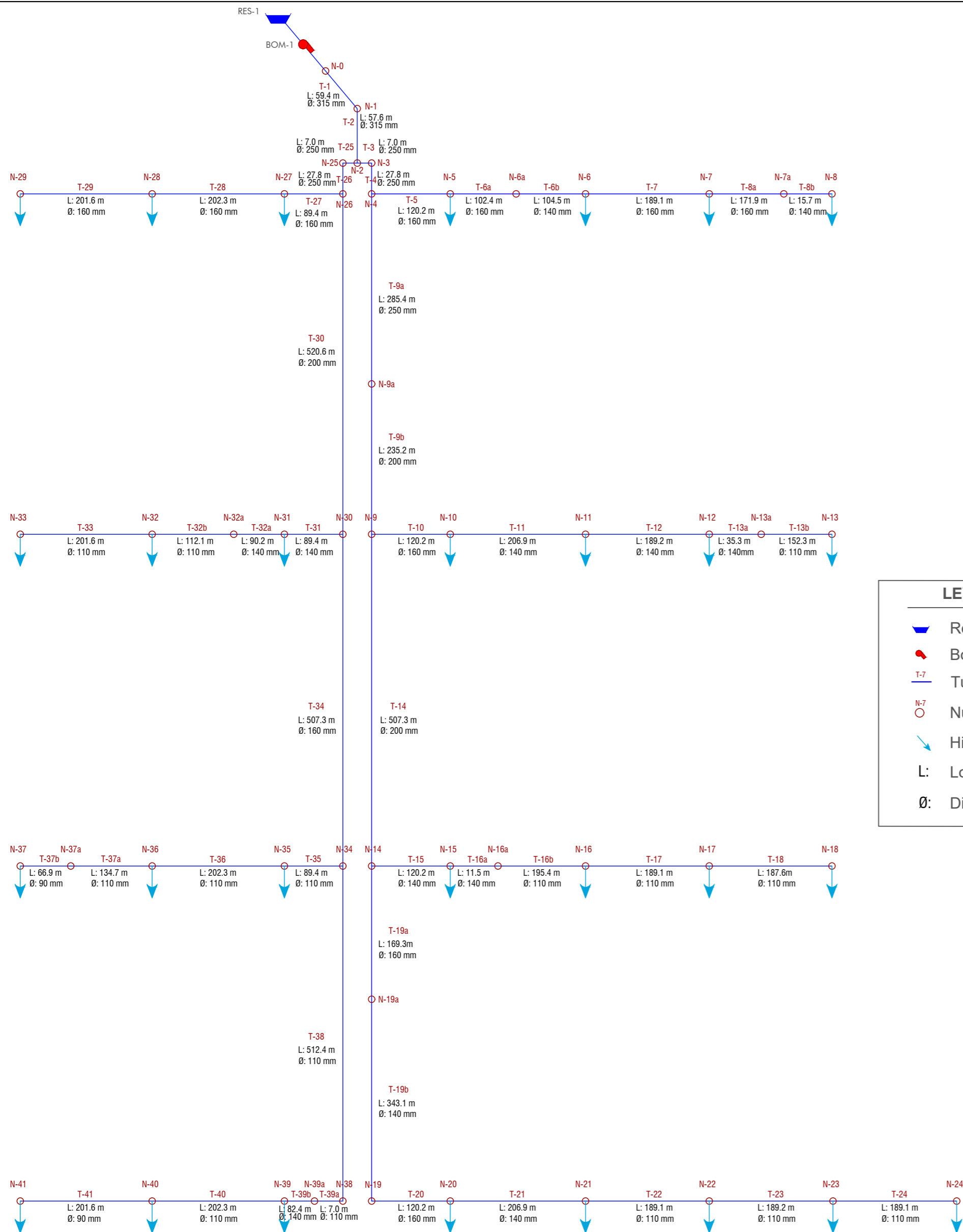
```

```
74
75 SolverOptions MaxTime:=60, Iterations:=0, Precision:=0.0001, Convergence:= _
76 0.000001, StepThru:=False, Scaling:=True, AssumeNonNeg:=True, Derivatives:=1
77
78 SolverOptions PopulationSize:=100, RandomSeed:=0, MutationRate:=0.075,
Multistart _
79 :=False, RequireBounds:=False, MaxSubproblems:=0, MaxIntegerSols:=0, _
80 IntTolerance:=0, SolveWithout:=False, MaxTimeNoImp:=60
81
82 SolverSolve UserFinish:=True
83 SolverFinish KeepFinal:=1
84
85 End Sub
86
```

ANEXO Ñ:

PLANO DE DIAMETROS OPTIMOS DE LA RED

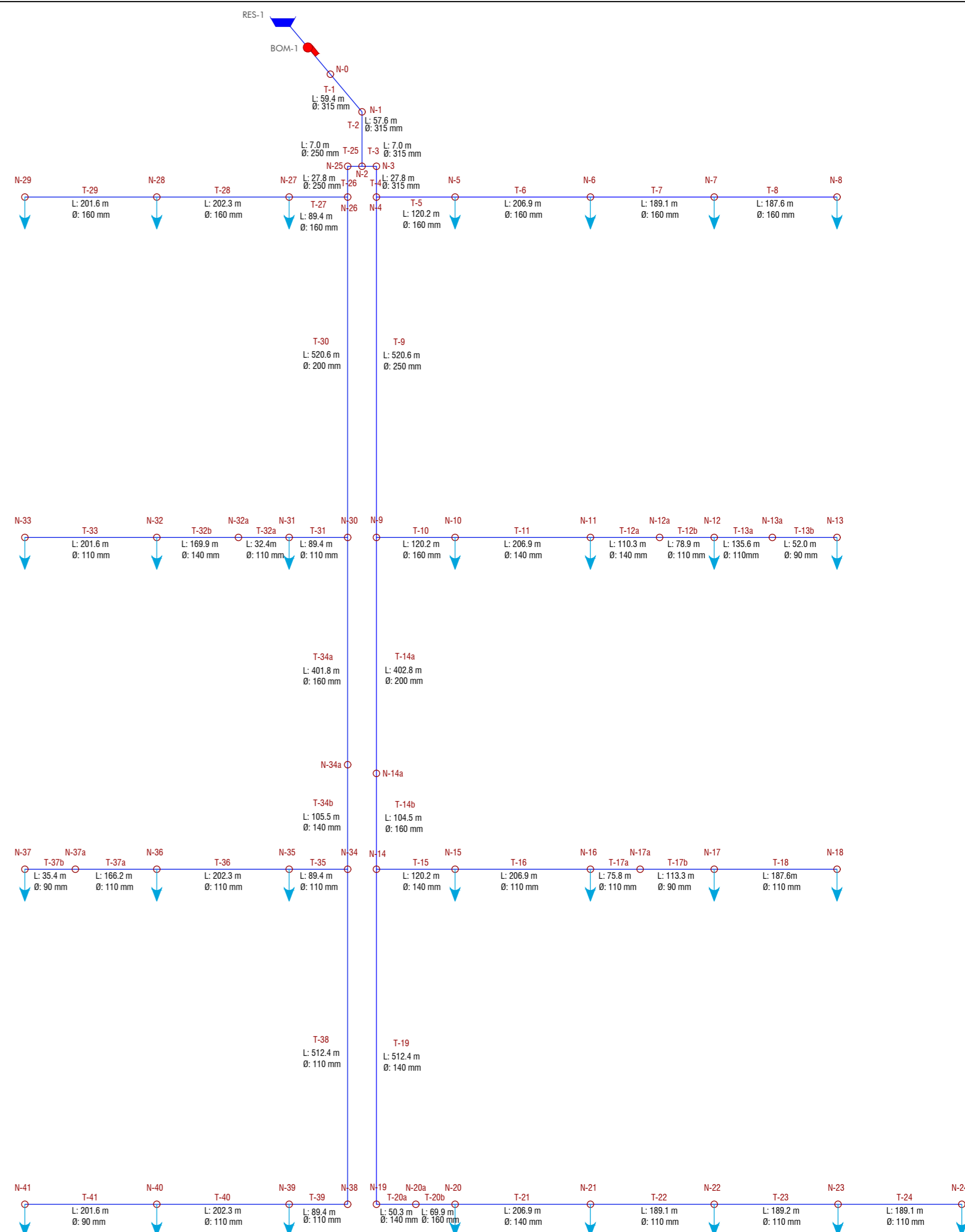
HIDRÁULICA



LEYENDA

- Reservorio
- Bomba
- Tuberia
- Nudos
- Hidrante
- L: Longitud
- Ø: Diámetro

DIÁMETROS ÓPTIMOS DEL PLANTEAMIENTO HB FIJO
ESC:S/E



DIÁMETROS ÓPTIMOS DEL PLANTEAMIENTO HB VARIABLE
ESC:S/E

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN <i>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</i>		
TESIS: "OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO CON ESTACION DE BOMBEO FUNCIONANDO A TURNOS, USANDO MÉTODO HÍBRIDO.CASO ASOCIACION AGROINDUSTRIAL 1° DE ABRIL, TACNA"		
PLANO DE: DIÁMETROS ÓPTIMOS DE LA RED HIDRÁULICA		
ASESOR: Ph.D. EDWIN E. PINO VARGAS	CADISTA: A.G.P.H.	04
RESPONSABLE: Bach. ALFREDO G. PANTI HUACCA	CODIGO: 2012 - 37065	
UBICACION: SAMA LAS YARAS - TACNA	FECHA: JULIO - 2020	
N° DE PLANO:		