FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA E/B LOMAS DE BARUTA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:	Ortiz Delgado, Rafael Ricardo Seijas Bolinaga, Otto Juan
TUTOR:	Ing. María Antonia Larez
FECHA:	Octubre, 2015

A Dios
A mis padres, hermanos y familia
A la familia Guarache Puig
A Marie y mis amigos

Rafael

A Dios
A mis padres, hermanos y abuelo
A mi familia y amigos

Otto

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. y tutora María Antonia Larez por su valiosa, paciente e incondicional ayuda a lo largo de la realización de este Trabajo Especial de Grado. Siempre le estaremos en deuda por todos los conocimientos aportados para nuestro futuro desempeño profesional.

Al Ing. Franklin Gallardo, por su oportuna ayuda al aportarnos valiosa información básica y conocimiento sobre el sistema.

Al Ing. Rafael Guevara e Ing. Norberto Bausson, por sus consejos y experiencia transmitida.

Al Ing. Eduardo Buroz e Ing. José Ochoa, por su orientación, la cual nos condujo al tema de este Trabajo Especial de Grado.

Y a todos aquellos profesionales, profesores y trabajadores, que de una u otra forma, hicieron posible la realización de este Trabajo Especial de Grado.

Los autores.

ÍNDICE DE CONTENIDO

SINOPSIS xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 13
I.1 Objetivos 13
I.1.1 Objetivo General 13
I.1.2 Objetivos Específicos 14
I.2 Antecedentes 14
I.3 Planteamiento del Problema 15
I.4 Alcance y Limitaciones 15
CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO 17
II.1 Tipo de Investigación 17
II.2 Diseño de la Investigación 17
II.3 Descripción General de la Investigación 17
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO 19
CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED 26
IV.1 Descripción del Área de Servicio de la Red 26
IV.2 Sistema de Abastecimiento de la Red de Distribución 29
IV.3 Descripción de la Red de Distribución 31
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE DEMANDAS 34
V.1 Información Base 34
V.2 Metodología para la Estimación de Demandas 34
V.2.1 Estimación de la Población 34
V.2.2 Dotación 38
V.2.3 Demandas 39
V.3 Características de la Demanda 39
V.3.1 Estimación de las demandas 39
V.3.2 Distribución planimétrica de la demanda 40

V.3.3 Distribución altimétrica de la demanda 41
CAPÍTULO VI. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO 42
VI.1 Descripción del Modelo Hidráulico 42
VI.1.1 Simulador WaterCAD 43
VI.1.2 Características del simulador WaterCAD 44
VI.1.3 Herramientas del simulador WaterCAD v8i 45
VI.1.4 Premisas para la simulación 46
VI.2 Calibración 47
VI.2.1 Mediciones de Campo 48
VI.2.2 Verificación de la Curva de Variación Horaria 49
VI.2.3 Descripción de la Calibración 51
CAPÍTULO VII. DIAGNÓSTICO DE LA RED 54
VII.1 Análisis Global de la Red 54
VII.2 Problemas Generales Identificados 55
VII.3 Problemáticas Identificadas por Sector 56
VII.4 Resultados de la Simulación 58
CAPÍTULO VIII. PROPUESTAS 62
VIII.1 Criterios para la Selección de Propuestas 62
VIII.2 Ingeniería Conceptual 62
VIII.2.1 Infraestructura 64
VIII.2.2 Funcionamiento 65
VIII.3 Ingeniería Básica 68
VIII.3.1 Criterios de Diseño 68
VIII.3.2 Pre-dimensionamiento 71
VIII.4 Resultados del modelaje de las propuestas. 86
VIII.4.1 Propuesta A 86
VIII.4.2 Propuesta B 92
VIII.4.2 Propuesta C 99

IX. CONCLUSIONES 106
X. RECOMENDACIONES.....108
XI. BIBLIOGRAFÍA.....111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del Sistema Tuy III hasta el área de estudio. 16
Figura 2. Sectorización del área de estudio 27
Figura 3. Vista externa de la E/B Lomas de Baruta 31
Figura 4. Vista interna de la E/B Lomas de Baruta.....31
Figura 5. Imagen satelital de Lomas de Baruta, año 2004 36
Figura 6. Imagen satelital de Lomas de Baruta, año 2015 36
Figura 7. Plano esquemático de la infraestructura de la red existente 59
Figura 8. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Etapa de diagnóstico, hora de mínima demanda 60
Figura 9. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Etapa de diagnóstico, hora de máxima demanda 61
Figura 10. Perfil de elevación de la vía principal de la zona en estudio 64
Figura 11. Plano esquemático de la infraestructura de Propuesta A.....75
Figura 12. Plano esquemático de la infraestructura de Propuesta B 80
Figura 13. Plano esquemático de la infraestructura de Propuesta C 85
Figura 14. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta A, corto plazo, hora de máxima demanda 89
Figura 15. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta A, mediano plazo, hora de máxima demanda 90
Figura 16. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta A, largo plazo, hora de máxima demanda 91
Figura 17. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta B, corto plazo, hora de máxima demanda 96
Figura 18. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta B, mediano plazo, hora de máxima demanda 97

Figura 19. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta B, largo plazo, hora de máxima demanda 98
Figura 20. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta C, corto plazo, hora de máxima demanda 103
Figura 21. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta C, mediano plazo, hora de máxima demanda 104
Figura 22. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta C, largo plazo, hora de máxima demanda 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información general de los sectores que conforman el área de estudio de Lomas de Baruta 28
Tabla 2. Características de los componentes que conforman el Sistema Tuy III 30
Tabla 3. Características de la E/B Lomas de Baruta 31
Tabla 4. Demandas estimadas para el área de estudio de Lomas de Baruta 39
Tabla 5. Distribución altimétrica de la demanda por nivel de servicio 41
Tabla 6. Datos de campo de la E/B Lomas de Baruta 48
Tabla 7. Datos de la curva de variación horaria 50
Tabla 8. Cuadro comparativo entre datos recopilados en campo y resultados de la calibración 52
Tabla 9. Datos de la curva de variación horaria al 30% 53
Tabla 10. Identificación de problemáticas por sector en horas de máxima demanda 57
Tabla 11. Identificación de problemáticas por sector en horas de mínima demanda 57
Tabla 12. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Diagnóstico de la red actual 58
Tabla 13. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta A, corto plazo 86
Tabla 14. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta A, mediano plazo 87
Tabla 15. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta A, largo plazo. 88
Tabla 16. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta B, corto plazo 92
Tabla 17. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta B, mediano plazo 93

Tabla 18. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta B, largo plazo 94
Tabla 19. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta C, corto plazo 99
Tabla 20. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta C, mediano plazo 100
Tabla 21. Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta C, largo plazo 101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución del área total 28
Gráfico 2. Distribución planimétrica de la demanda por sector 40
Gráfico 3. Distribución altimétrica de la demanda por nivel de servicio 41
Gráfico 4. Curva de variación horaria 50
Gráfico 5. Curva de variación horaria al 30% 53
Gráfico 6. Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta B, corto plazo 95
Gráfico 7. Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta B, mediano plazo 95
Gráfico 8. Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta B, largo plazo 95
Gráfico 9. Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta C, corto plazo 102
Gráfico 10. Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta C, mediano plazo 102
Gráfico 11. Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta C, largo plazo 102

SINOPSIS

Este estudio pretende establecer soluciones hidráulicas, desde el punto de vista conceptual, al irregular y deficiente servicio de abastecimiento de agua potable en el sector Lomas de Baruta, municipio Baruta, estado Miranda, en busca de lograr un sistema eficiente, eficaz y oportuno para los usuarios del sector.

Esta zona se encuentra abastecida por el Sistema Tuy III, por medio de la E/B Lomas de Baruta. Presenta una topografía en la que predomina un relieve montañoso, conformado en su mayor parte por desarrollos no controlados de viviendas. Actualmente cuenta con una población de 7.721 habitantes, distribuida en un área de aproximadamente 260,75 Ha.

Esta investigación se considera un proyecto factible, de carácter descriptivo, que pretende explorar, describir y explicar el estado actual del acueducto que sirve a la zona, y a su vez generar las propuestas de mejora del mismo. Adicionalmente la estrategia a adoptar en este trabajo, es de tipo documental y de campo.

La red actual presenta gran vulnerabilidad por la propia configuración geométrica de la misma, al ser una red ramificada, así como por su operación al presentar bombeo contra la red sin estanque compensador. La red no cuenta con la capacidad de conducción necesaria para satisfacer la demanda generada por el sector; y debido a que la E/B trabaja con un solo grupo en operación, no es posible bombear todo el caudal demandado por el sistema y a su vez vencer los desniveles estáticos entre los puntos altos de la red y la estación.

En este estudio se presentan tres propuestas evaluadas a corto, mediano y largo plazo, las cuales buscan mejorar la distribución de agua potable en el sector. Estas soluciones se basaron en criterios de funcionamiento hidráulico, apoyados en la búsqueda y recopilación de información documental de estudios previos en sectores similares, datos obtenidos en campo del sistema actual y el uso de programas de simulación hidráulica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El sector Lomas de Baruta se encuentra abastecido por el Sistema Tuy III, por medio de la E/B Lomas de Baruta. Es una extensa zona en la cual predominan los desarrollos no controlados de viviendas. Presenta una topografía de montaña y se encuentra ubicada al sur del municipio Baruta, a la altura del Km 14 de la Autopista Regional del Centro.

Actualmente, este sistema de distribución de agua potable presenta un funcionamiento deficiente, de forma tal que el servicio es continuo y suficiente solo para los sectores más cercanos a la estación de bombeo, pero parcial o nulo en los sectores más altos y alejados de esta, dando como resultado el desabastecimiento de la mayor parte de los usuarios del sector.

El sector Lomas de Baruta ha sido parcialmente estudiado por HIDROCAPITAL por medio de algunas empresas privadas. De igual forma, en años anteriores, se han realizado Trabajos Especiales de Grado de la UCAB relacionados con funcionamientos hidráulicos en sectores similares al estudiado.

Con esta investigación, se pretende diagnosticar los problemas presentados por la red, así como proponer una mejor solución hidráulica, desde una etapa de ingeniería conceptual e ingeniería básica, para el sistema de abastecimiento de agua potable del sector.

I.1 Objetivos

I.1.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento hidráulico del acueducto existente en el área de influencia de la E/B Lomas de Baruta, mediante el uso de modelos hidráulicos, para realizar un diagnóstico del estado actual de la red y plantear las mejoras a corto, mediano y largo plazo.

I.1.2 Objetivos Específicos

- Definición de la población atendida.
- Determinación de caudales demandados.
- Simulación hidráulica de la red de distribución con el uso de programas avanzados de modelación hidráulica.
- Diagnóstico de la red de distribución.
- Planteamiento de mejoras y soluciones alternativas para la red de distribución.

I.2 Antecedentes

El sector Lomas de Baruta ha sido parcialmente estudiado por HIDROCAPITAL por medio de algunas empresas privadas. De igual forma la Alcaldía Metropolitana de Caracas, por medio del Instituto Metropolitano de Urbanismo Taller Caracas, ha realizado un estudio general del acueducto metropolitano. Para la realización de este trabajo se ha tomado como referencia y fuente de información los siguientes trabajos:

- “Presentación Proyecto Lomas de Baruta, Sector Hoyo de la Puerta” (INGENIERÍA GALPECA C.A.).

- “Análisis de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en el Área Metropolitana de Caracas” (IMUTC, 2014).

De igual manera, en años anteriores, se han realizado Trabajos Especiales de Grado de la UCAB relacionados con funcionamientos hidráulicos en otros sectores. Se han tomado como referencia los siguientes trabajos:

- “Diagnóstico y propuesta de posibles soluciones factibles de la red de distribución de agua potable en la zona sur-sur de Caracas” (Almandoz & Sacchini, 2011).

- "Análisis del funcionamiento hidráulico del área de influencia de la E/B Calle 18 – El Valle" (Rojas & Tablante, 2000).

I.3 Planteamiento del Problema

La población de Lomas de Baruta se encuentra ubicada en el Km 14 de la Autopista Regional del Centro, Sector Hoyo de La Puerta, Estado Miranda, la cual se encuentra constituida en su mayor parte por terrenos con Desarrollos No Controlados. En los últimos 15 años el sector ha incrementado su población de manera acelerada, sobre todo después de los acontecimientos ocurridos en el Litoral Central en el año 1999[1].

Esta zona se encuentra abastecida por el Sistema Tuy III, por medio de la E/B Lomas de Baruta. Años atrás el sistema estaba sometido a un plan de regulación interno con ciclos de hasta 7 días. Actualmente las maniobras de regulación realizadas por la empresa prestadora del servicio (HIDROCAPITAL) han cesado y la dotación del agua está siendo suministrada de manera continua, es decir con todas las válvulas de regulación de la red abiertas. De esta forma el servicio es continuo y suficiente para los sectores más cercanos a la estación de bombeo, pero parcial o nulo en los sectores más altos y alejados de esta, dejando a un gran número de usuarios sin servicio. Por tal motivo la mayor parte del sector debe ser abastecido por camiones cisternas públicos y privados.

I.4 Alcance y Limitaciones

El presente trabajo pretende establecer soluciones a la irregularidad y deficiencia del servicio de abastecimiento de agua potable en el sector Lomas de Baruta del municipio Baruta del Estado Miranda.

[1] La catástrofe que afectó al Litoral Central de Venezuela, o también denominado "Desastre de Vargas", tuvo lugar los días 14, 15 y 16 del mes de diciembre de 1999, es considerado como el mayor desastre natural que se tenga registrado en el país, luego del Terremoto de Venezuela de 1812. El resultado de este desastre: más de 800 hectáreas de zonas urbanizadas arrasadas, dejando miles de damnificados y cientos de personas muertas y desaparecidas.

De esta manera, se quiere proponer una mejor solución hidráulica desde el punto de vista conceptual, en busca de lograr un sistema de abastecimiento de agua potable eficiente, eficaz y oportuno para los usuarios del sector. Sin embargo, el alcance de este trabajo no contempla la gestión y operación del acueducto, el análisis económico de las propuestas, ni el sistema de aguas residuales, las cuales deberán ser evaluadas en trabajos posteriores.

Las limitaciones presentes son producto del difícil acceso a información básica confiable, la cual abarca lo referente a cartografía, mediciones hidráulicas, censos poblacionales, entre otros. Cabe destacar que el programa de mediciones de HIDROCAPITAL no abarca todos los sectores de la ciudad.

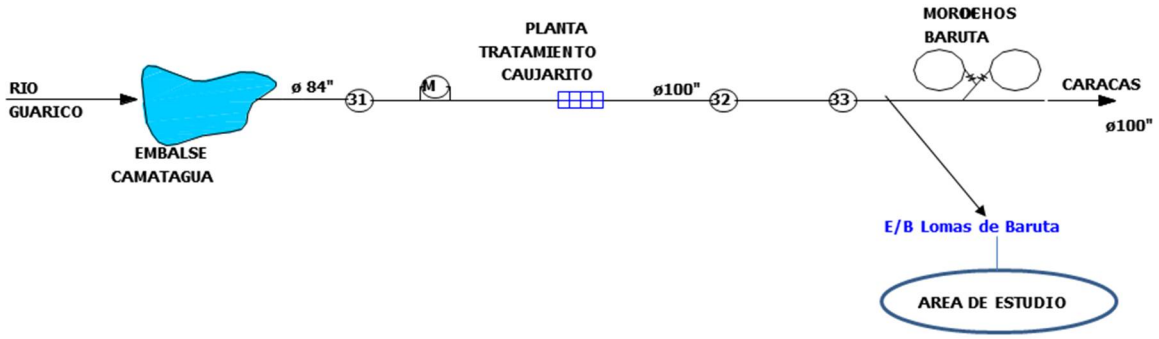


Figura 1. Esquema del Sistema Tuy III hasta el área de estudio. (Tomado de INGENIERÍA GALPECA C.A., 2006)

CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO

II.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación a ser utilizado en el TEG es de carácter descriptivo, debido a que este permite poner de manifiesto los conocimientos teóricos y metodológicos de los autores. Según Sabino, Carlos A. (2009), "Este tipo de investigación no se ocupa de la verificación de hipótesis, sino de la descripción de hechos a partir de un modelo teórico definido previamente" (pág. 53). El carácter descriptivo se justifica ya que se pretende explorar, describir y explicar el estado actual del acueducto que sirve a la zona, el cual ha sido poco estudiado, y a su vez generar las propuestas de mejora para lograr un sistema de distribución de agua potable eficiente, eficaz y oportuno.

Adicionalmente esta investigación se considera un proyecto factible, ya que busca brindar soluciones a la necesidad de un servicio de agua potable de calidad para la población en estudio.

II.2 Diseño de la Investigación

La estrategia que se adoptó en este trabajo de investigación, para responder a la problemática planteada, fue de tipo documental y de campo. Documental, ya que se efectuó la búsqueda, recopilación e interpretación de información obtenida o registrada por otras fuentes; y de campo, debido a que fue necesaria la recolección de datos directamente en el sitio de estudio, sin manipular o controlar alguna medición, para de esta forma no alterar las condiciones existentes. En base al punto anteriormente descrito, la investigación fue considerada de carácter no experimental.

II.3 Descripción General de la Investigación

El primer paso consistió en recaudar la información básica de la zona a la que sirve esta red de distribución, como los planos cartográficos y el censo poblacional. Posteriormente,

se buscó el levantamiento de la red de distribución y las características de sus componentes, entre los que se encuentran válvulas, estanques, tuberías y la estación de bombeo. De la estación de bombeo fue necesario conocer el número de bombas, sus curvas características, tipo y modelo de cada una de ellas, así como la disposición esquemática de ellas en la estación.

A partir de los datos del censo poblacional se identificaron los sectores a los cuales abastece la red, para de esta forma realizar el análisis de demanda del sistema de distribución.

Una vez recaudada la información básica, se procedió a elaborar el modelo hidráulico, el cual permitió conocer el estado actual de la red mediante la simulación de su comportamiento hidráulico.

Se decidió escoger el programa WaterCAD v8i para la realización del modelo hidráulico y su posterior simulación, ya que es un software de análisis, modelación y gestión de redes de distribución de agua potable actualizado para la fecha, el cual presenta grandes ventajas desde el punto de vista técnico: una interfaz bastante amigable para el usuario que permite realizar un trabajo más rápido y eficiente, compatibilidad con otros software especializados, posibilidad de realizar un análisis exhaustivo de la red, que permita conocer los parámetros hidráulicos, calidad del agua, criticidad del sistema y costos asociados, de cada escenario planteado, con el objetivo de llegar al mejor diseño. Adicionalmente, WaterCAD v8i a la hora de modelar cuenta con gran cantidad de herramientas que permiten representar un sistema de acueducto lo más cercano a la realidad. Aunque es un software comercial, todas estas ventajas hacen que su uso sea bien justificado.

Finalmente con el modelo hidráulico definido y calibrado se procedió a realizar el estudio de la red mediante la corrida del programa, el cual permitió el diagnóstico de la red de distribución actual y posterior planteamiento de las propuestas a corto, mediano y largo plazo para la optimización del sistema. Cabe destacar que dichas propuestas se presentaron teniendo en cuenta su factibilidad desde el punto de vista técnico-económico.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

Para un mejor entendimiento de este trabajo especial de grado, es oportuno dejar sentados de inicio, en forma clara y concisa, los siguientes conceptos básicos.

Aducción: Conducción que transporta el agua desde la obra de toma hasta la planta de tratamiento, luego a estaciones de bombeo y/o estanques de almacenamiento, para posteriormente alimentar la red de distribución local de agua potable.

Algoritmo Genético: consiste en una función matemática o rutina de software que toma como entrada a los ejemplares y retorna como salida cuáles de ellos deben generar descendencia para la nueva generación. Método adaptativo usado para resolver problemas de búsqueda y optimización. Está basado en los postulados de la Teoría de Evolución de Darwin.

Área de Servicio: Poligonal que limita el sector a ser abastecido por una red de distribución de agua potable.

Bomba Hidráulica: Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía hidráulica, suministrándole mayor energía al fluido que por ella transita.

Cavitación: Fenómeno en el que se interrumpe la continuidad del agua o cualquier otro fluido, producto de la caída de la presión local por debajo de la presión de vapor, causando el súbito paso de estado líquido a gaseoso del fluido. Este fenómeno se manifiesta con la formación de burbujas o cavidades, que al implosionar causan ondas de presión, las cuales erosionan localmente la conducción.

Censo Poblacional: estudio estadístico que tiene como objetivo conocer las características demográficas y socioeconómicas de una población.

Consumo: "Volumen de agua realmente utilizado en un momento dado por una población." (Bolinaga, J. J., & Colaboradores, 1999, pág. 18).

Curva Característica de Bomba: Curva que representa el comportamiento hidráulico de una bomba. Su importancia radica en la posibilidad de conocer el punto óptimo de operación, el cual sirve para la posterior comparación con otras bombas, de tal manera de escoger la más adecuada para el sistema hidráulico en estudio.

Crecimiento Poblaciónal: Aumento en el número de habitantes que integran una población, producido en un lapso de tiempo determinado.

Demanda: "Volumen de agua, que razonablemente una población debería estar consumiendo en un momento dado." (Bolinaga, J. J., & Colaboradores, 1999, pág. 18).

Desarrollo No Controlado: zonas residenciales consolidadas de modo progresivo, donde sus habitantes construyen sus propias viviendas sin algún tipo te reglamentación urbanística.

Dotación: "Cantidad de agua deseable por habitante de la cual debe disponer una determinada población en un periodo de tiempo determinado. Generalmente se expresa en l.p.p.d." (Bolinaga, J. J., & Colaboradores, 1999, pág. 21).

Embalse: Depósito de agua formado de manera artificial, donde su capacidad física es usualmente facilitada por una configuración topográfica natural. Dentro de las obras hidráulicas que conforman un embalse se pueden destacar: presas, tapones, tomas, descargas de fondo, aliviaderos, obras de desvío, entro otras. Es oportuno recalcar que al espacio físico a ser ocupado por las aguas del embalse se define como vaso de almacenamiento.

Estación de Bombeo: instalación, construida y equipada para transportar el agua del nivel de succión o de llegada a las unidades de bombeo, al nivel superior o de salida de la misma, de tal manera de aumentar la carga del agua lo suficiente como para lograr llegar hasta su destino. Algunos de los componentes que la conforman generalmente son: unidades de bombeo o bombas, líneas de alimentación de energía eléctrica, sistemas de monitoreo, aducción y línea de descarga.

Estanque de Almacenamiento: depósito para almacenar agua con el propósito de compensar variaciones de consumo, atender situaciones de emergencias e interrupciones de servicio.

Levantamiento Aerofotogramétrico: conjunto de operaciones mediante las cuales se permite, a partir de fotografías aéreas, obtener las características métricas y geométricas de la zona fotografiada.

Mediciones Hidráulicas: consisten en la recolección de datos necesarios para caracterizar, estudiar y representar un fenómeno físico real de carácter hidráulico. Existen diferentes tipos de mediciones, entre ellas se encuentran las de profundidades (tirantes), presiones estáticas y dinámicas, tiempo y caudales.

Modelo Hidráulico: representación matemática del comportamiento hidráulico de un sistema, basándose en el uso de ecuaciones fundamentales de la ingeniería hidráulica y mecánica de los fluidos, mediante la aplicación de aproximaciones sucesivas.

Niveles de Servicio: rangos altimétricos establecidos por la empresa prestadora de servicio de agua potable de la ciudad de Caracas, HIDROCAPITAL, cada cincuenta (50) metros para de tal forma permitir el fácil entendimiento y análisis del sistema de distribución.

Nodo: punto donde convergen dos o más tuberías, exista cambio de diámetro, o cualquier otro punto donde se quiera conocer los parámetros hidráulicos dentro de la red de distribución de agua potable.

Plano Cartográfico: es una representación esquemática, en dos dimensiones y a determinada escala de un terreno o una población.

Planta de Tratamiento: conjunto de estructuras y/o dispositivos destinados a dotar de la calidad necesaria el agua proveniente de la fuente para su posterior consumo humano.

Ramal: tramo de tubería que arranca de la conducción principal dentro de la red de abastecimiento de agua potable.

Red de Distribución: conjunto de instalaciones que tienen como objetivo transportar el agua desde el punto o puntos de captación y tratamiento hasta el consumidor final, en tales condiciones que satisfagan las necesidades de los usuarios. Estas condiciones tienen un elevado número de componentes, entre los que se destacan la calidad, el caudal, la presión, la continuidad del suministro y el precio.

Dentro de los componentes que conforman una red se encuentran: tuberías, estanques, estaciones de bombeo, válvulas, entro otros. Las redes de distribución en general se clasifican en red: ramificada o mallada. Una red ramificada es aquella que va uniendo los diferentes puntos de consumo con una única tubería y una red mallada es la que va formando cuadrículas, es decir cada punto de consumo tiene más de una vía de flujo.

Al proyectar y construir redes de distribución debe evitarse toda posible conexión con otro sistema para evitar la alteración de la calidad del agua, adicionalmente se deben evitar las presiones negativas para minimizar los daños en las tuberías y las conexiones, así como también debe procurarse cumplir con que las velocidades mínimas del flujo sean tales que garanticen el arrastre de sedimentos que pudieran ser depositados, y las velocidades máximas no superen el límite recomendado para evitar erosión o daños a lo largo de la red.

Sub-Ramal: tramo de tubería que deriva de un ramal de la red de agua potable.

Tomas Domiciliarias: “Son los elementos de unión entre las redes de distribución y las instalaciones de los usuarios.” (Bolinaga, J. J., & Colaboradores, 1999, pág. 647)

Topología de Red: configuración geométrica de la red.

Trasvase: obra hidráulica cuyo objetivo es incrementar la disponibilidad de agua en una cuenca adicionando agua desde una cuenca vecina, sin perjudicar la misma.

Válvula: dispositivo mecánico destinado a controlar, retener, regular o dar paso a un fluido.

Válvulas Admisoras o Expulsoras de aire: se abren automáticamente cuando se desarrolle en la tubería una presión por encima de la máxima admisible.

Válvula Anticipadora de Golpe de Ariete: es indispensable para la protección de bombas, equipo de bombeo y todas las líneas a las que se aplica una presión peligrosa de transitorios ocasionados por cambios repentinos en la velocidad del flujo dentro de la línea

Válvulas Check: su objetivo es cerrar por completo el paso de agua en circulación y dejar la conducción libre en el lado contrario. Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio poner en descarga la alimentación.

Válvulas de Compuerta: su función es obstruir en un momento dado el paso de agua de un punto a otro de la tubería.

Válvulas Reguladoras: suelen ser controladoras de presión o de gasto. Las reguladoras de presión son utilizadas para separar redes en zonas con topografía abrupta, y evitar que la presión sobrepase los límites permisibles.

Variación de Consumo: debido a que el consumo de agua no se produce a una rata constante las veinticuatro horas del día, los trescientos sesenta y cinco días del año, es necesario tomar en cuenta los cambios en la cantidad de agua consumida por una población a lo largo del tiempo, de tal manera que el acueducto pueda servir eficientemente a la comunidad durante los momentos de mayor consumo.

Variación Diaria de Consumo: Esta variación viene dada ya que los días de verano presentan un mayor consumo de agua que los días de invierno, alrededor de un 125% del gasto medio anual, mientras que los gastos de invierno se encuentran cerca del 80% del gasto medio anual. En Venezuela por ser un país tropical, solo se presentan estas

dos estaciones, verano e invierno, las cuales tienen una duración de aproximadamente 7 meses y 5 meses, respectivamente.

Variación Horaria de Consumo: Durante las horas diurnas de un día del año, el consumo de agua es mucho mayor que en las horas nocturnas. Es por esta razón que existe la denominada "Curva de Variación Horaria", la cual representa gráficamente la variación del consumo a lo largo de un día.

Curva de Variación Horaria:

En esta curva se representa el comportamiento del consumo de una población a lo largo de un día cualquiera del año, en la cual se aprecia que los picos de mayor consumo se encuentran en las horas diurnas y los valles en las horas nocturnas. El INOS[2] en sus Normas publicadas en el año 1965, presenta la curva que representa la variación horaria del consumo en la que se destacan dos picos de consumo, el primero de ellos a las 8 am del orden del 200% del consumo medio diario y el otro a las 5 pm con un valor de 150% del consumo medio diario aproximadamente.

Cabe destacar que el consumo hoy en día en el país es diferente al sugerido en las Normas del INOS del año 1965, ya que los hábitos de la población han cambiado, así como sus horarios, rutinas, entre otros. Actualmente se sigue utilizando esta curva de variación horaria, ya que no ha habido nuevos estudios oficiales que sugieran en las Normas una nueva curva con el comportamiento actual del consumo. Es por esta razón que los autores de este trabajo consideran que utilizar esta curva para el diseño de un acueducto resulta en un diseño un tanto conservador.

[2] El Instituto Nacional de Obras Sanitarias, fue un organismo de carácter público inaugurado en 1943 y disuelto en 1989, el cual asumía la responsabilidad de hacer eficiente la prestación del servicio de agua potable en el país. Aun hoy en día las normas presentadas por dicho organismo son usadas como marco de referencia para el desarrollo de obras hidráulicas a nivel nacional.

Es importante destacar que el análisis de la red existente y la generación de propuestas se realizaron por medio de un programa de modelaje hidráulico, el cual hace uso de ecuaciones fundamentales de hidráulica de conducciones y mecánica de los fluidos. A continuación se presentan algunas de dichas ecuaciones fundamentales:

Ecuación de Continuidad: es un caso particular del principio de conservación de la masa. Se basa en que el caudal del fluido debe permanecer constante a lo largo de toda la conducción.

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Ecuación de Bernoulli: describe el comportamiento de un fluido a lo largo de una conducción, se basa en el principio de conservación de la Energía para el flujo de un fluido.

$$H_1 = H_2 + \Sigma h_f + \Sigma h_l$$

Perdidas por Fricción: determina las pérdidas de energía de un flujo hidráulico a lo largo de una conducción por efecto del rozamiento con la superficie de la misma.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2*g} \qquad \text{(Darcy-Weisbach)}$$

$$h_f = 10{,}67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1{,}852} * \frac{L}{D^{4{,}871}} \qquad \text{(Hazen-Williams)}$$

Pérdidas Localizadas: determinan las pérdidas debidas a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de fluidos por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas entre otros.

$$H_L = K_L * \frac{V^2}{2 * g}$$

Potencia de Bomba:

$$P_B = 9.81 * \frac{Q * \gamma * H_B}{\eta}$$

CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED

IV.1 Descripción del Área de Servicio de la Red

El área a la cual presta servicio la red de distribución de agua potable objeto de estudio, fue definida como Lomas de Baruta, sector Hoyo de la Puerta, perteneciente al Estado Miranda. Este sector está conformado en su mayor parte por desarrollos no controlados de viviendas. A continuación se nombran los desarrollos que conforman dicha área geográfica.

Bomparque, Dos kilómetros, Alto Pino, Pueblo Nuevo, Campamento, La Capilla, La Canoa, Buen Amigo, Doroteo, El Manguito, La Escuela y El Campito.

Los límites geográficos del área en estudio son:

- Al Norte, con áreas montañosas y la tubería de aducción del Sistema Tuy III.
- Al Sur, con áreas montañosas y la Autopista Regional del Centro.
- Al Este, con áreas montañosas.
- Al Oeste, con la Autopista Regional del Centro y el sector “Hoyo de la Puerta”.

Para la definición de los límites geográficos del área en estudio, se hizo uso de los siguientes documentos y herramientas: Levantamiento aerofotogramétrico ejecutado por ESTEREOFOTO C.A año 1999 y Google Earth.

En la Figura 2 se presenta la ubicación geográfica del área de estudio, así como la identificación de los sectores que la componen mediante una imagen satelital extraída de Google Earth del año 2015.

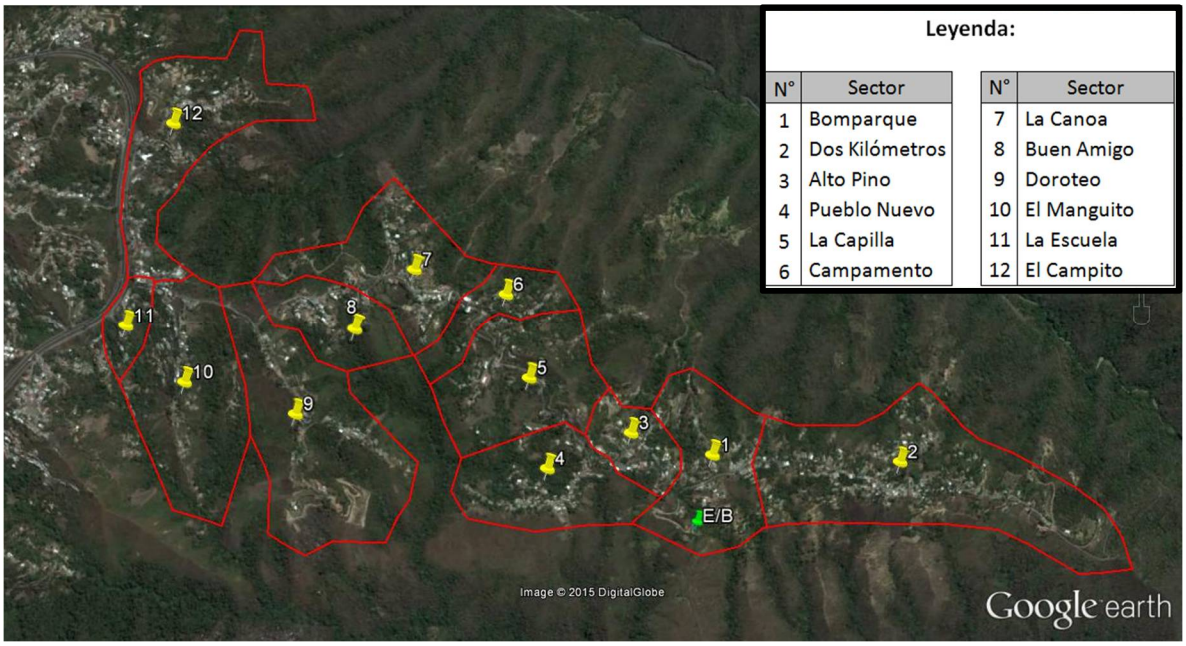


Figura 2: Sectorización del área de estudio.

En la Tabla 1 se muestra la información general de los sectores que componen la zona en estudio, donde se presenta el área de servicio de cada sector, así como el rango altimétrico y nivel de servicio. De igual forma en el Gráfico 1 se presenta la distribución porcentual del área de cada sector con respecto al área total de Lomas de Baruta, donde se puede observar que el sector más extenso de todos es el sector Dos Kilómetros, el cual ocupa más de la quinta parte de la zona en estudio.

Tabla 1. *Información general de los sectores que conforman el área de estudio Lomas de Baruta.*

Sector	Área de servicio (Ha)	% Área	Rango Altimétrico (m.s.n.m)	Nivel de servicio HIDROCAPITAL
Bomparque	28,61	11,0%	1050 a 1145	5 y 6
Dos Kilómetros	55,16	21,2%	950 a 1120	3, 4 y 5
Alto Pino	5,67	2,2%	1150 a 1200	7
Pueblo Nuevo	17,12	6,6%	1040 a 1140	5 y 6
Campamento	19,32	7,4%	1075 a 1200	6 y 7
La Capilla	11,12	4,3%	1075 a 1150	6
La Canoa	16,72	6,4%	1075 a 1165	6
Buen Amigo	9,16	3,5%	1100 a 1160	6 y 7
Doroteo	37,73	14,5%	1050 a 1225	6, 7 y 8
El Manguito	26,93	10,3%	1025 a 1215	5, 6, 7 y 8
La Escuela	4,21	1,6%	1100 a 1180	6 y 7
El Campito	29,00	11,1%	1050 a 1200	5, 6 y 7
TOTAL	260,75	100,0%		

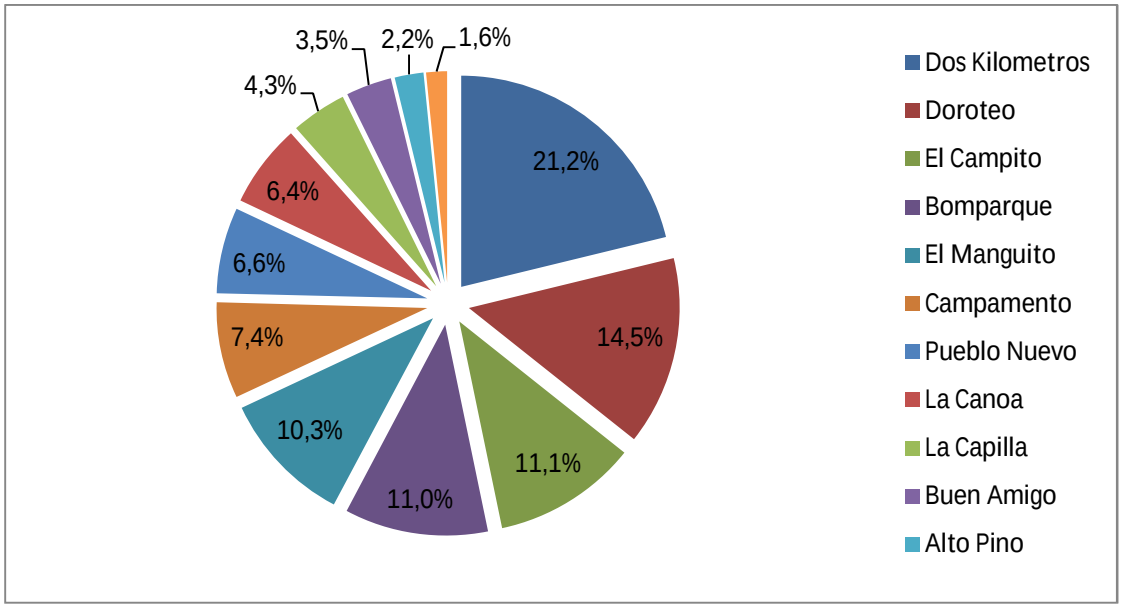


Gráfico 1. *Distribución del área total.*

IV.2 Sistema de Abastecimiento de la Red de Distribución

El Área Metropolitana de Caracas se abastece de agua potable gracias a los Sistemas Tuy I, Tuy II y Tuy III, los cuales consisten en trasvases desde las cuencas del Río Tuy y el Río Guárico, y conforman el 96% del suministro de agua potable hacia la ciudad, mientras que solo un 4% es abastecido por fuentes propias del Valle de Caracas. Dichos sistemas de trasvase llegan a la ciudad por los siguientes puntos cardinales de la ciudad:

Tuy I: Oeste de Caracas.

Tuy II: Este de Caracas.

Tuy III: Sur de Caracas.

Tuy IV: Este de Caracas (En construcción).

La red de distribución motivo de estudio está abastecida por el sistema Tuy III, el cual constituye en la actualidad la columna vertebral del sistema de suministro de agua para el Área Metropolitana de Caracas, ya que aporta aproximadamente el 60% del agua total suministrada.

Está formado por dos grandes tramos, un primer tramo que se extiende desde el Embalse Camatagua hasta la Planta de Tratamiento Caujarito y un segundo tramo, que va desde esta planta de tratamiento hasta los estanques Los Morochos de Baruta.

El desnivel estático comprendido entre la Planta de Tratamiento Caujarito y los estanques de Baruta, es salvado mediante las Estaciones de Bombeo 32 y 33. Luego de la Estación de Bombeo 33 se encuentra el punto de entrega de la Estación de Bombeo Lomas de Baruta, correspondiente a la zona de estudio de este trabajo.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de la información más importante del sistema Tuy III, para lograr entender con mayor facilidad el funcionamiento de la red actual desde la fuente que la abastece.

Tabla 2. *Características de los componentes que conforman el Sistema Tuy III.*

	Embalse Principal	Planta de Tratamiento	Estaciones de Bombeo				Estanque Principal
Nombre	Camatagua	Caujarito	E/B 31	E/B Mamonal	E/B 32	E/B 33	Los Morochos de Baruta
Año de Inicio de Operación	1980	1978	1980	1993	1980	1980	1980
Ubicación	Al sur del Edo Aragua, a 5 km de la población de Camatagua y a 150 km de Caracas	Entre Charallave y Santa Teresa del Tuy, Edo Miranda	Al sur del Edo Aragua, al pie de la presa Camatagua, a 260 m.s.n.m	Al sur del Edo Aragua, en la localidad de Camataguita, a 400 m.s.n.m	En el Edo Miranda, en las cercanías de la población de Charallave en la carretera La Raiza, a 312 m.s.n.m.	En el Edo Miranda, en la localidad de los Anaucos, a 655 m.s.n.m.	Sartenejas, Municipio Baruta, Estado Miranda.
Fuentes	Río Guárico	Río Tuy, Embalse Camatagua y Lagartijo (Fuera de Servicio)	Embalse Camatagua	Embalse Camatagua	Planta de Tratamiento Caujarito	Planta de Tratamiento Caujarito	Planta de Tratamiento Caujarito
Capacidad	1543 Hm^3	15 m^3/s	13 m3/s	15,5 m3/s	9 m3/s	9 m3/s	40.000 m^3 y 20.000 m^3
Información Adicional	-	-	5 unidades de bombeo	5 unidades de bombeo	6 unidades de bombeo	6 unidades de bombeo	C.F: 1080 msnm C.R: 1096 msnm
Abastece	Caracas, San Casimiro, San Sebastian, San Juan de los Morros, El Sombrero, entre otros. También usado para Riego	Área Metropolitana de Caracas, Charallave, Santa Lucía y Santa Teresa del Tuy	-	-	-	-	Caracas

IV.3 Descripción de la Red de Distribución

La aducción del Sistema Tuy III de 100”, proviene de la E/B 33 y a 4 km antes de finalizar en los Estanques Morochos de Baruta existe una derivación de 8” de acero que llega hasta la E/B de Lomas de Baruta (cota 1070 m.s.n.m.). En esta se encuentran dos bombas las cuales cuentan cada una con un múltiple de succión de 6” y un múltiple de descarga de 4”, así como una tubería de descarga de 4”.

La estación de bombeo cuenta con dos bombas KSB modelo WKL 80/7 etapas de 1750 rpm. En la Tabla 3 se muestran las características de las bombas que conforman la E/B Lomas de Baruta.

Tabla 3. *Características de la E/B Lomas de Baruta.*

Grupo Nº	Cota (m.s.n.m)	Marca	Tipo	Amperaje (Amp)	Año	R.P.M	Estado Actual
1*	1070	KSB	WKL80/7	130	1978	1750	R
2	1070	KSB	WKL80/7	80	1990	1750	ES

ES: En servicio R: Reserva
* Grupo de bombeo actualmente en reparación.

Figura 3. Vista externa de la E/B Lomas de Baruta.

Figura 4. Vista interna de la E/B Lomas de Baruta.

La tubería de descarga de dicha estación está formada por tres tramos de diámetros variables, el primer tramo tiene una longitud de 200 metros donde se reduce a una tubería de

3”, la cual tiene una longitud de otros 250 metros y en este punto se bifurca. A partir de aquí parte una tubería de 1” de hierro galvanizado que va por el sector Bomparque, este ramal cuenta con una válvula de regulación de igual diámetro a menos de 10 metros, el otro ramal que se dirige hacia la vía principal es de 3” y continúa 5 metros más en esa dirección. Luego de alcanzar la avenida la conducción se divide en un ramal de acero de 3” la cual continúa por la vía hacia la parte alta de la carretera, mientras que un ramal de 2” toma por destino el sector Dos Kilómetros. Una vez recorrida una distancia de 1 kilómetro hacia el sector Dos Kilómetros, aproximadamente, el ramal se reduce a uno de ¾”.

Por el otro lado, el ramal de 3” continúa unos 400 metros hasta conseguir un sub-ramal de hierro galvanizado de 1”, donde se encuentra una válvula de 1” de la que parten dos tuberías de hierro galvanizado de 1” para surtir el sector de Alto Pino.

El ramal de 3” sigue por la vía principal por 200 metros más hasta conseguir el sub-ramal del sector Pueblo Nuevo el cual cuenta con una válvula de regulación de 1”, y continúa hacia el sector con una tubería de 1” de hierro galvanizado.

A partir de Pueblo Nuevo, el ramal de 3” sigue por la vía durante 1300 metros hasta llegar al sector La Canoa donde se consigue un sub-ramal con dos tuberías, cada una de hierro galvanizado de 1” y con válvulas de 1”.

Continuando por la vía, el conducto de 3” recorre otros 500 metros hasta llegar al sector Doroteo, donde existe un sub-ramal de 3” de acero, el cual se incorpora hacia el sector hasta llegar al Estanque Doroteo (aprox. 5 m^3) que se encuentra actualmente fuera de servicio. Por un by-pass del estanque parte una tubería de 2” de hierro galvanizado e inmediatamente se reduce a una de 1” del mismo material, la cual continúa hacia la parte baja del sector.

El ramal de 3” persiste por la vía principal y sigue su recorrido unos 400 metros hasta conseguir el sub-ramal del sector El Manguito de 1 ½” de hierro galvanizado con una válvula

de igual diámetro, e inmediatamente presenta una reducción para continuar con una tubería de 1” del mismo material, hasta llegar a la parte baja de dicho sector.

Luego de llegar al sector El Manguito, el ramal continúa unos 30 metros hasta un punto donde se encuentra una válvula de 3”. Inmediatamente después de dicha válvula se encuentra un sub-ramal de hierro galvanizado de 2” en el sector La Escuela, la cual posee una válvula de 3” a pocos metros de la divergencia, y 80 metros después cuenta con una segunda válvula de 2”.

A partir de la salida del sector La Escuela el ramal de 3” sigue hacia el sector El Campito conservando el mismo material y diámetro hasta alcanzar el final de este ramal y dividirse en dos sub-ramales de 1” de hierro galvanizado.

Cabe destacar que la red de distribución presente en el sector es abierta o ramificada. La red se caracteriza por contar con una tubería principal de distribución desde la cual parten ramales y sub-ramales que terminan en puntos ciegos; en otras palabras sin interconexiones con otras tuberías en la misma red.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE DEMANDAS

V.1 Información Base

Para el análisis de demandas de los distintos sectores que componen el área de estudio, se utilizó como base el Censo Poblacional de Lomas de Baruta suministrado por los consejos comunales que conforman el sector, el cual data del año 2012.

De manera complementaria se usaron los siguientes documentos y programas:

- Levantamiento aerofotogramétrico ejecutado por ESTEREOFOTO C.A, año 1999. Formato digitalizado suministrado por INGENIERÍA GALPECA C.A.
- Google Earth

V.2 Metodología para la Estimación de Demandas

V.2.1 Estimación de la Población

Para estimar la población del año 2015, se tomaron dos metodologías distintas, dependiendo de la información con la que se contó y siempre tomando en cuenta que los desarrollos presentes en el área de estudio son de tipo urbano no controlado. A continuación se presentan las metodologías adoptadas:

Caso A: Sectores en los cuales se logró conseguir información censal (Bomparque, Dos Kilómetros, Alto Pino, Pueblo Nuevo, Campamento, La Capilla, La Canoa, Buen Amigo, El Manguito, La Escuela y El Campito).

Para los sectores donde se contó con información confiable sobre la cantidad de población a servir, el cálculo de ésta se hizo partiendo del censo poblacional de dichos sectores.

Debido a que el censo de la zona data del año 2012, fue necesario realizar un ajuste para tomar en cuenta el crecimiento poblacional hasta el año 2015, año correspondiente a la fecha de realización de este trabajo. Este ajuste se realizó usando el método de proyección demográfica: Tasa de Crecimiento Decreciente. Se utilizó este método ya que representa en buena manera el crecimiento del sector Lomas de Baruta, el cual ha sido acelerado; sin embargo, debido a la densificación progresiva del lugar, la rata de crecimiento ha tendido a disminuir con el pasar de los años.

Al comparar las imágenes suministradas por Google Earth entre Septiembre de 2004 y su último vuelo en Mayo de 2015, se puede apreciar el notorio crecimiento horizontal del sector, lo cual evidencia el aumento de las zonas de desarrollos no controlados. Cabe destacar que en visitas realizadas al sitio se observó que el crecimiento vertical es aún mayor que el horizontal. Dicha situación es debida al poco terreno disponible para nuevas expansiones, consecuencia de las desfavorables condiciones topográficas presentes en el sitio.

En la Figura 5 y 6 se puede observar una vista aérea del sitio en estudio, donde se aprecia su localización geográfica y densidad demográfica para las fechas antes mencionadas.

Tomando en cuenta los argumentos anteriormente descritos, las ratas de crecimiento usadas fueron superiores a las sugeridas por el I.N.E[3], con el sentido de ir más acorde con el comportamiento real de esta población.

[3] El Instituto Nacional de Estadística establece una tasa de crecimiento poblacional interanual del 1,4% para el Estado Miranda y de 1,7 % para todo el territorio nacional, como resultado del XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2011. (Ver Anexo B).

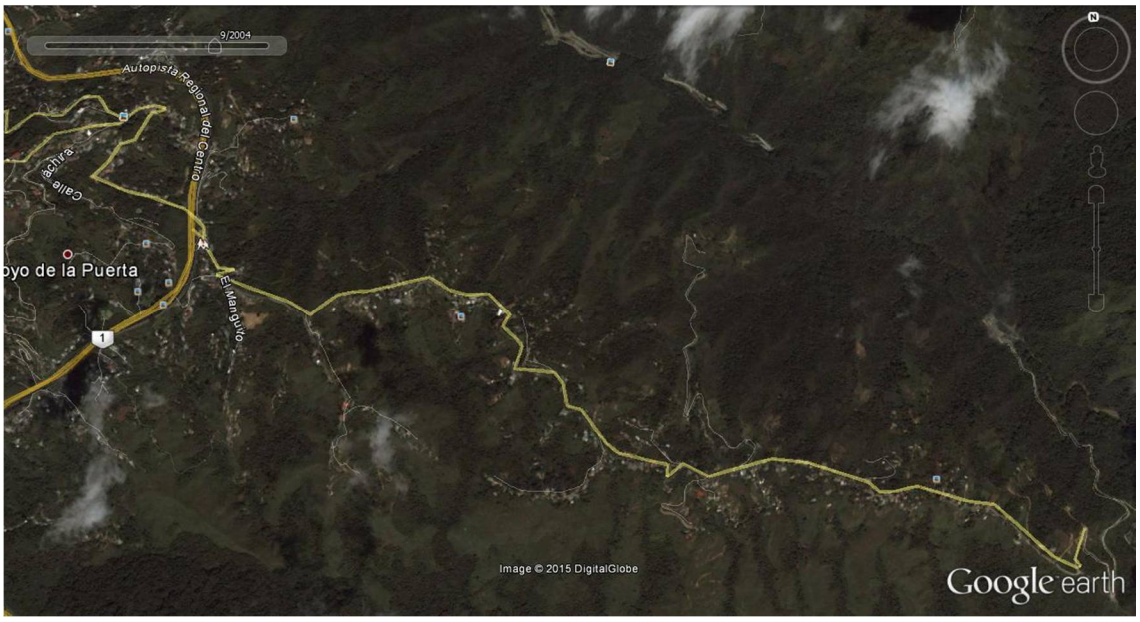


Figura 5. Imagen satelital de Lomas de Baruta, Año 2004. (Fuente: Google Earth).

Figura 6. Imagen satelital de Lomas de Baruta, Año 2015. (Fuente: Google Earth).

Se adoptaron diferentes tasas de crecimiento interanual para varios sectores de la población. Para los sectores Bomparque, Dos Kilómetros, Alto Pino, Pueblo Nuevo, Campamento, La Capilla, La Canoa y Buen Amigo, se utilizó una tasa de 5,5 %, ya que estos aún no se encuentran densificados, y por tal motivo cuentan con terreno suficiente para futuras expansiones. En cambio para los sectores El Manguito, La Escuela y El Campito, se utilizó un valor de 3,2% como tasa de crecimiento. Este valor es menor a la tasa anterior ya que estos sectores se encuentran altamente densificados, y en consecuencia el crecimiento de la población será mucho menor ya que no poseen terreno suficiente para expandirse.

En cuanto a la determinación de las tasas de crecimiento interanual antes mencionadas, se tomaron tres sectores como muestra: uno densificado, uno medianamente densificado y otro no densificado. Se contabilizó el número de viviendas que se encontraron dentro de dichas áreas para el año 2004 y para el año 2015, mediante las imágenes proporcionadas por Google Earth, para de esta forma conseguir la tasa de crecimiento de viviendas la cual fue considerada proporcional al crecimiento poblacional de cada sector tomado como muestra. Finalmente se tomó la rata promedio del sector medianamente densificado y el no densificado, como tasa de crecimiento de los sectores poco densificados, y la rata del sector densificado como tasa de crecimiento para los sectores altamente densificados.

Caso B: Sectores en los cuales no se logró conseguir información censal (Doroteo).

Para el cálculo de la población de este sector, Doroteo, fue necesario estimar su densidad poblacional para así poder determinar la población que habita dicho sector.

Para lograrlo, se realizó una comparación entre un sector lo más similar al estudiado dentro de la misma zona, y se tomó la misma densidad poblacional de dicho sector patrón para el sector en estudio. De esta forma conocida el área y la nueva

densidad poblacional adoptada, se logró determinar su población. El sector patrón usado para la comparación fue el sector Pueblo Nuevo.

En este caso como se determinó la densidad demográfica con la población del año 2015, no fue necesario tomar en cuenta ningún ajuste por crecimiento poblacional.

Para conocer la población en el año 2030, se realizó el mismo ajuste sobre la población, haciendo uso del método de Tasas de Crecimiento Decreciente, pero adoptando nuevas tasas interanuales de crecimiento. Los sectores que se consideraron poco densificados, es decir Doroteo, Bomparque, Dos Kilómetros, Pueblo Nuevo, Campamento, La Capilla, La Canoa y Buen Amigo, se les asignó una rata de 3,2% justificado por el progresivo aumento de la población en el sector, pero a menor velocidad a medida que se densifica el mismo. En cambio los sectores que se encontraban altamente densificados, como son El Manguito, La Escuela, El Campito y Alto Pino, se les fue asignada una rata de 1,7%, la cual corresponde a la tasa de crecimiento interanual promedio para todo el territorio nacional establecida por el INE. Cabe destacar que para la proyección desde la actualidad hasta el horizonte de diseño, el sector Alto Pino se consideró altamente densificado.

V.2.2 Dotación

Es conveniente acotar que aunque la American Water World Association[4] (A.W.W.A) fija el consumo promedio en 250 lppd, para el análisis de las demandas se adoptó un valor de 350 lppd, de manera tal de reflejar las altas pérdidas generadas en los sectores con desarrollos no controlados, producto de malas conexiones y mal aprovechamiento del agua, las cuales rondan el 40% de la dotación media.

[4] Establecida en 1881, la A.W.W.A es la mayor asociación sin fines de lucro, científica y educativa dedicada a la gestión y tratamiento de agua.

V.2.3 Demandas

Una vez conocida la población actual y las poblaciones a mediano y largo plazo, así como la dotación asignada al sector, se estimaron las demandas para cada uno de los sectores que conforman el área de influencia de la E/B Lomas de Baruta.

V.3 Características de la Demanda

V.3.1 Estimación de las demandas

En el Anexo C se puede observar de manera detallada el cálculo de la demanda de cada desarrollo a ser abastecido por la red. A continuación en la Tabla 4 se presenta un resumen con las demandas correspondientes al corto (año 2015), mediano (año 2022) y largo plazo (año 2030).

Tabla 4. *Demandas estimadas para el área de estudio Lomas de Baruta.*

Sector	Demanda 2015 (lps)	Demanda 2022 (lps)	Demanda 2030 (lps)
Bomparque	1,24	1,54	1,98
Dos Kilómetros	7,81	9,74	12,53
Alto Pino	1,73	1,94	2,22
Pueblo Nuevo	0,49	0,62	0,79
Campamento	1,45	1,80	2,32
La Capilla	1,29	1,61	2,08
La Canoa	1,74	2,17	2,79
Buen Amigo	1,98	2,23	2,55
Doroteo	1,09	1,36	1,75
El Manguito	7,75	8,72	9,98
La Escuela	1,40	1,57	1,80
El Campito	3,31	3,73	4,27
TOTAL	31,28	37,03	45,05

V.3.2 Distribución planimétrica de la demanda

Aunque las tasas de crecimiento por sector son ligeramente diferentes entre sí, la variación de la distribución de la demanda entre sectores a lo largo del horizonte de diseño es mínima, debido al crecimiento más o menos uniforme que presenta la zona. Por este motivo se puede considerar que el porcentaje de agua demandada por cada sector será constante en todo momento.

En el Gráfico 2 se muestra dicha distribución, en el cual se evidencia que los sectores El Manguito y Dos Kilómetros, demandan aproximadamente el 50% del agua requerida por todo el sistema. Estos conservarán el predominio de la demanda en relación a los otros sectores, a lo largo del tiempo, debido al crecimiento poblacional uniforme de la zona.

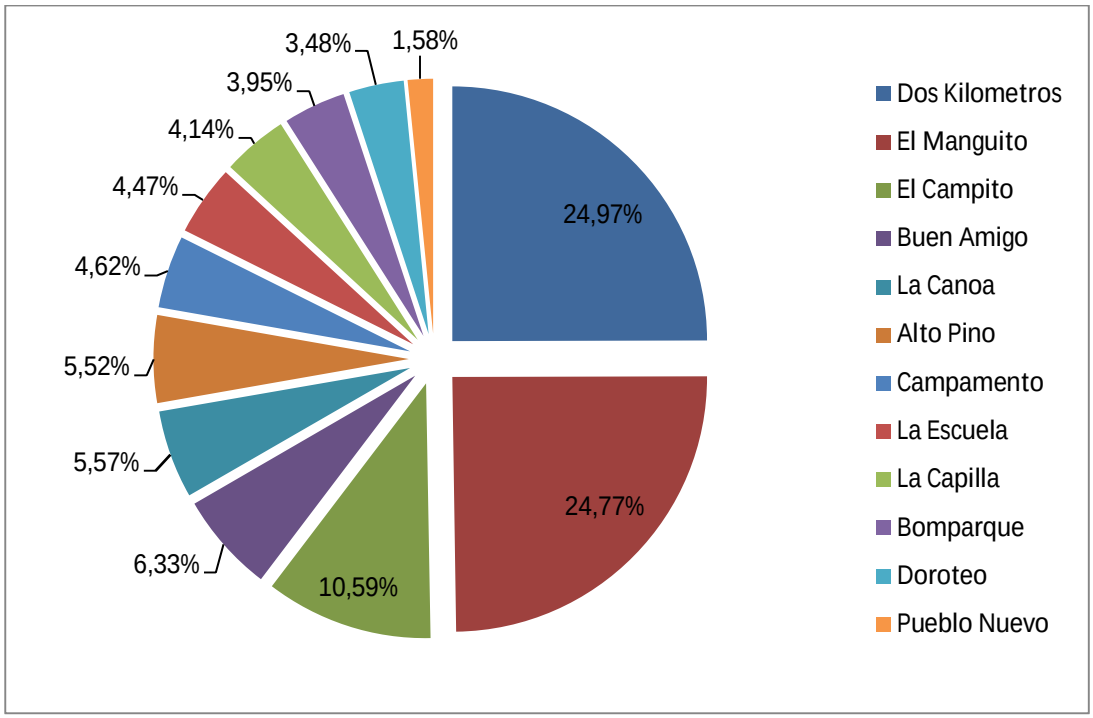


Gráfico 2. *Distribución planimétrica de la demanda por sector.*

V.3.3 Distribución altimétrica de la demanda

Tomando en cuenta el mismo criterio expuesto en el aparte anterior, sobre el uniforme crecimiento de la zona en estudio, la distribución porcentual de la demanda altimétrica será la misma a lo largo del horizonte de diseño. En el Anexo C se puede apreciar el procedimiento completo de la estimación de la demanda por intervalo de cotas para cada sector.

En la Tabla 5 y el Gráfico 3, se presenta la distribución de la demanda por niveles de servicio, donde se logra evidenciar la gran concentración de la demanda, aproximadamente más del 80%, en los niveles de servicio 5, 6 y 7.

Tabla 5. *Distribución altimétrica de la demanda por nivel de servicio.*

Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m.)	% de demanda en el intervalo de cotas
3	940 a 990	8,98%
4	990 a 1040	7,26%
5	1040 a 1090	17,55%
6	1090 a 1140	34,08%
7	1140 a 1190	28,95%
8	1190 a 1240	3,18%

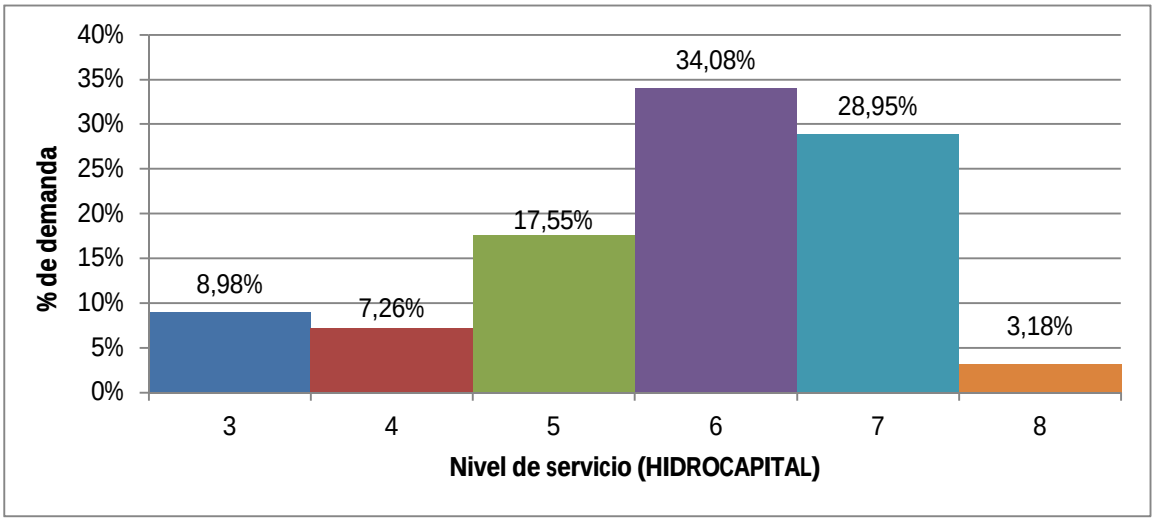


Gráfico 3. *Distribución altimétrica de la demanda por nivel de servicio.*

CAPÍTULO VI. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Para el desarrollo de este trabajo, inicialmente se eligió a EPANET 2.0 como programa de simulación, por tratarse de un software gratuito y pionero en el área. Además, el programa EPANET 2.0 tiene compatibilidad con el paquete AutoCAD, gracias a un programa desarrollado por el Instituto Tecnológico del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia denominado EPACAD, el cual transforma los archivos con formato AutoCAD a formato EPANET, facilitando el modelaje de la red.

Por ser EPANET 2.0 un software orientado al diseño de acueductos más que al diagnóstico, el cual carece de herramientas que permitan modelar la operación de un bombeo como el presentado en esta red, se tomó la decisión de trabajar con WaterCAD v8i como software de modelación hidráulica, tanto para la etapa de diagnóstico como de diseño. Este es un programa más actualizado, que presenta una interfaz más cómoda y con herramientas suficientes que hacen del trazado, diagnóstico y optimización de la red una tarea mucho menos laboriosa, al igual que la presentación de los resultados fuera más simple e ilustrativa para su posterior análisis. Este software fue suministrado por G.L.G Ingenieros Civiles.

VI.1 Descripción del Modelo Hidráulico

Para lograr representar el funcionamiento del sistema de distribución de agua potable, se hizo uso de un programa de computación el cual permite realizar un modelo de simulación numérico o modelo matemático. Este tiene como función recrear el comportamiento hidráulico de la red, basándose en el uso de ecuaciones de continuidad, perdidas y conservación de energía, mediante la aplicación de aproximaciones sucesivas.

Con este modelo fue posible conocer el comportamiento de los parámetros más importantes en la red de distribución, como lo son: el caudal, la velocidad y la presión; simulando todos los componentes que conforman la red: dispositivos de control (válvulas

check, reguladoras de caudal, reguladoras de presión, entre otras), estaciones de bombeo y hasta la operación de la red.

Es importante destacar que para que un modelo pueda considerarse representativo, es necesario conocer las condiciones hidráulicas básicas de funcionamiento del sistema, entre las cuales se destacan los diferentes rangos de caudal y presión, así como los niveles de servicio correspondientes a la zona a servir.

En la actualidad existe gran variedad de programas de modelaje hidráulico. A continuación se presentan algunos de ellos, siendo estos unos de los más conocidos y utilizados para el diagnóstico y diseño de acueductos urbanos:

- EPANET.
- WaterCAD.
- H2O Net.
- WesNET.
- Math Works.

VI.1.1 Simulador WaterCAD

WaterCAD v8i es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes de distribución de agua potable, propiedad de la empresa Bentley Systems Incorporated, el cual se caracteriza por ser un programa eficiente y de fácil manejo, para el diagnóstico y diseño de complejos sistemas de tuberías a presión, evaluando distintos escenarios de diseño, demanda y operación, bajo condiciones tanto estáticas como dinámicas.

Basa sus cálculos en el Método de Gradiente Hidráulico, con el objeto de obtener los parámetros hidráulicos en distintos puntos de la red, optimizando a su vez la velocidad de operación, manejo de datos y memoria del sistema.

Adicionalmente trabaja en conjunto con distintos software especializados, de tal manera de hacer más práctica la construcción del modelo:

- AutoCAD y Google Earth: facilitan el dibujo de la red y la importación de datos geoespaciales.
- EPANET y WaterGEMS: permiten la exportación y/o importación de modelos hidráulicos.
- Adobe Reader: es útil para la generación del modelo en formato PDF para su posterior visualización.

Por ultimo cabe acotar que este programa tiene la función de ser una herramienta de investigación para conocer de mejor manera el movimiento y la evolución de los constituyentes del agua en el interior de las redes de distribución.

VI.1.2 Características del simulador WaterCAD

- No existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar.
- Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Incluye pérdidas menores en elementos como codos, acoplamientos, etc.
- Calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones.
- Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.
- Posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nodos, cada una de ellas con su propia curva de modulación.
- Permite utilizar controles de tiempo o sistemas de regulación más complejos mediante consignas.
- Permite simular distintos casos extraordinarios de funcionamiento como lo son contaminación, incendios, tuberías rotas, entre otras, de tal manera de buscar la mejor estrategia para manejar dicha situación.

- Permite plantear distintos escenarios de demanda, diseño, operación y características topológicas de la red, de tal manera de comparar los resultados del análisis de cada escenario y optimizar la toma de decisiones.
- Permite distintos tipos de análisis del sistema:
    - Análisis en Estado Estático.
    - Análisis en Periodo Extendido.
    - Análisis de Calidad.
    - Análisis Automatizado de Flujo de Incendio.
    - Análisis de Costos de Energía.
    - Análisis Crítico y de Segmentación.
- Posee algoritmos genéticos en calibración y diseño óptimo.
- Incluye un Navegador de Red y Generación Automática de Consultas Topográficas.
- Modela distintos tipos de bombas, como lo son la de velocidad fija y variable.
- Arroja reportes tabulares y gráficos personalizados.
- Es uno de los pocos productos del mercado en ofrecer soporte para 3 plataformas como son: una plataforma autónoma (Stand Alone), así como MicroStation y AutoCAD con toda la funcionalidad.
- Permite el ingreso de datos de manera tabular.

VI.1.3 Herramientas del simulador WaterCAD v8i

Entre las más importantes se encuentran:

- Model Builder: herramienta que permite la construcción de un modelo importándolo desde una fuente externa de datos como AutoCAD, Excel, entre otras.
- Load Builder: herramienta que permite la carga de demandas al modelo generado, basado en operaciones de análisis espacial.

- TRex: Asigna elevaciones automáticamente a los nodos, interpolando entre curvas de nivel presentes en archivos con formato .DXF, .SHP e imágenes, provenientes de programas como AutoCAD, Google Earth, entre otros.
- Demand Control Center: permite identificar de manera tabular los nodos de demanda, con sus características incluyendo ID del nodo, demanda base y curva de variación horaria asociada al nodo.
- Criticality Analysis Center: Determina los segmentos críticos de la red para priorizar las inversiones de rehabilitación.
- Background Layer: permite importar archivos de fondo escalado, guardados en formato DXF, SHP e imágenes, para facilitar el trazado de la red directamente en WaterCAD de manera escalar o el posterior uso de la herramienta TRex.
- Darwin Calibrator: Calibración hidráulica usando algoritmos genéticos.
- Darwin Designer: Diseño optimizado de sistemas usando algoritmos genéticos.
- Skelebrator: Procesos inteligentes de simplificación (esqueletización) de redes.

VI.1.4 Premisas para la simulación

En la simulación de redes de distribución de agua potable a través de modelos matemáticos, es preciso representar el acueducto en el programa de la manera más simple y real posible. Es por esta razón que a continuación se nombran algunas consideraciones que se tomaron en cuenta a la hora de simular la red:

- La longitud mínima de tubería usada fue de 5 metro.
- Se adoptó un coeficiente de Hazen-Williams (C) igual a 100 para tuberías existentes de acero, y un valor de 80 para tuberías existentes de hierro galvanizado. Estos valores corresponden a tuberías sin revestimiento interno con más de 10 años de servicio.
- Todas las tuberías deben comenzar y terminar en un nodo, bien sea de demanda o de conexión.

- Se asignaron nodos en los puntos donde: converjan dos o más tuberías, exista cambio de diámetro, o cualquier otro punto donde se deseó conocer los parámetros hidráulicos (presión, velocidad, caudal, carga hidráulica, entre otros).
- Se representó mediante elementos hidráulicos tipo Reservorios las condiciones de presión de succión.
- Se consideraron las curvas características de las bombas existentes y propuestas de acuerdo a los catálogos de los fabricantes y/o ajustes realizados en los rodetes por la empresa operadora, en este caso HIDROCAPITAL.
- Para el diagnóstico se tomó en cuenta la condición de funcionamiento de las bombas, en este caso una bomba en funcionamiento y otra en reserva.
- Los nodos de demanda se colocaron de manera de representar lo mejor posible la distribución de la demanda en cada sector, tomando la demanda de cada nodo como un porcentaje de la total, dependiendo del área de influencia que se le asignó.
- A cada nodo de demanda se le asignó la curva de variación horaria para afectar el consumo a lo largo del análisis de periodo extendido.
- Se consideró 24 horas como el periodo mínimo de evaluación con intervalos de una hora como unidad de tiempo.
- La simulación se realizó considerando un día de operación regular, es decir sin presencia de eventos extraordinarios.
- En caso de presentarse presiones negativas en la red, se interpretó como que la presión en este punto es insuficiente para que exista flujo de agua.

VI.2 Calibración

La calibración del modelo consistió en emular, con el modelo, las condiciones reales de presión y/o caudales de la red.

Fue posible calibrar el modelo gracias a las mediciones registradas en la estación de bombeo y a la información recopilada en campo, tras la visita junto a personal de

HIDROCAPITAL a la zona. Dicha calibración se efectuó a la misma hora de recopilación de la data, correspondiente a la hora de máxima demanda (10 a.m.), con el fin de lograr obtener un modelo que represente lo mejor posible la realidad.

VI.2.1 Mediciones de Campo

Al realizar la visita se efectuó un recorrido a lo largo de la red de distribución desde la estación de bombeo. En este seguimiento se observó que poco antes de llegar al sector La Canoa, el flujo de agua era nulo. Este punto se encontraba a una elevación de 1140 m.s.n.m aproximadamente. Al tomar testimonios de los habitantes de la zona, informaron que en horas de la madrugada el servicio de agua lograba alcanzar en el mejor de los casos sectores un poco más alejados a este punto, como La Canoa y Buen Amigo.

Con la ayuda de un manómetro se midió la presión en un punto ubicado en el sector Campamento, antes de llegar al sector La Canoa, donde se obtuvo un valor de 3 m.c.a.

En cuanto a los datos tomados en la estación de bombeo, se registró la carga de succión y de descarga de la única bomba en funcionamiento para el momento de la visita. La carga de succión se encontraba en un rango de 26 a 28 m.c.a, mientras que la descarga en un rango de 178 a 182 m.c.a.

En la Tabla 6 se pueden observar los datos recopilados en campo con respecto a la E/B Lomas de Baruta.

Tabla 6. *Datos de campo de la E/B Lomas de Baruta.*

Cota (m.s.n.m)	Succión Promedio (m.c.a)	Descarga Promedio (m.c.a)	N° de Bombas		Amperaje (Amp)	Voltaje (V)
			E.S	R		
1070	26	180	1	1*	110	220

E.S : En servicio R: Reserva

* Actualmente se encuentra en reparación

VI.2.2 Verificación de la Curva de Variación Horaria

Tanto para la etapa de diagnóstico como para la etapa de diseño, la variación horaria de consumo se representó con una curva obtenida por HIDROCAPITAL, BIWATER, & M.G.A, en el año 1993. Esta curva fue el resultado de un grupo de mediciones realizadas en un sector de características similares al estudiado.

El I.N.O.S propone el uso de una curva de variación horaria, la cual está principalmente orientada a diseño de redes de distribución sin considerar el almacenamiento de agua por parte de los usuarios, y que por tanto a la hora que se presenta el pico de demanda, no existe ningún tipo de amortiguación y en consecuencia la demanda alcanza valores de alrededor de 200% el Qm.

Cabe destacar que la curva obtenida por HIDROCAPITAL, BIWATER, & M.G.A, fue evaluada en estudios posteriores entre los años 1998 y 2004 en redes de distribución de desarrollos no controlados de características similares, donde se pudieron realizar mediciones simultaneas durante una semana continua, confirmando que su aplicación es apropiada para este tipo de sectores. Los usuarios, en este tipo de redes de distribución, poseen estanques de almacenamiento en las viviendas, lo que deriva en la compresión de la curva de variación horaria en la hora pico debido a la existencia de amortiguación. Esta reducción en el pico horario, hace que la demanda máxima se ubique alrededor del 119% del Qm.

En la Tabla 7 y Gráfico 4 se presenta la curva de variación horaria mencionada anteriormente.

Tabla 7. *Datos de la curva de variación horaria. (Tomado de HIDROCAPITAL, BIWATER, & M.G.A, 1993).*

Horario (a.m.)	% Qm medido	Horario (p.m.)	% Qm medido
12-1	96	12-1	119
1-2	96	1-2	119
2-3	96	2-3	119
3-4	96	3-4	119
4-5	96	4-5	115
5-6	115	5-6	115
6-7	115	6-7	115
7-8	115	7-8	94
8-9	115	8-9	94
9-10	119	9-10	94
10-11	119	10-11	94
11-12	119	11-12	94

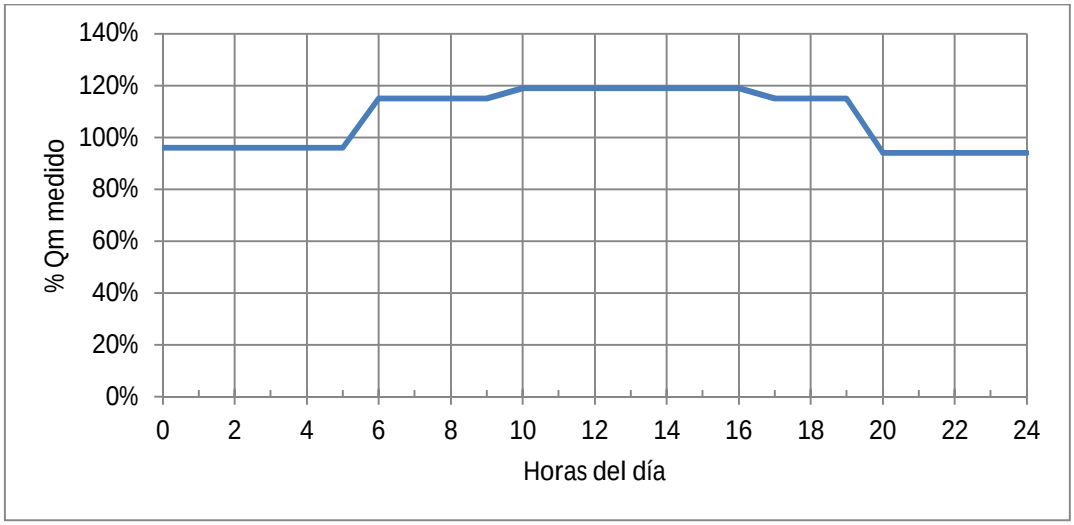


Gráfico 4. *Curva de variación horaria. (Tomado de HIDROCAPITAL, BIWATER, & M.G.A, 1993).*

VI.2.3 Descripción de la Calibración

Para lograr calibrar el modelo hidráulico, los datos tomados en campo deben coincidir con los resultados arrojados por el programa en los sitios de control, a la hora de poner en funcionamiento el modelo.

Una vez recaudada la valiosa información antes descrita, se logró establecer como punto de control hidráulico el nodo N-27, correspondiente al punto antes del sector La Canoa, ubicado a una elevación de 1135 m.s.n.m, donde debía existir suficiente presión como para permitirle al usuario disfrutar del servicio de agua en la hora de máxima demanda. Así como el nodo N-28 (nodo siguiente al nodo N-27 y correspondiente al sector La Canoa), sirvió como segundo punto de control de tal manera de verificar que en él, la presión fuese insuficiente para permitir el paso de caudal. Estas premisas se fundamentan en la medición de presión realizada en campo, donde se obtuvo el valor de 3 m.c.a. en un punto de la red entre el sector Campamento y La Canoa.

Adicionalmente la presión de descarga y succión de la bomba debía estar cercana a 180 m.c.a. y a 26 m.c.a. respectivamente, para el mismo instante de tiempo.

Al correr el modelo hidráulico y presentar los resultados del diagnóstico, se observó que no se lograba obtener un comportamiento de la red similar al registrado en campo. La bomba se encontraba trabajando con toda la demanda y por tanto la presión de descarga era baja, es decir la bomba estaba trabajando muy a la derecha de su Curva Característica; por esta razón las pérdidas de carga hacían que la presión fuera insuficiente para permitir el flujo de agua más allá de los alrededores de la E/B. En base a estos resultados, se infirió que la bomba debía estar trabajando con un bombeo contra punto alto, donde la misma debía conducir menos caudal para poder cumplir con la presión de descarga y permitir que el flujo llegara hasta el punto de control; en otras palabras debía trabajar más hacia el lado izquierdo de su Curva Característica. Por tal motivo se redujo la Curva de Variación Horaria, de tal forma de disminuir la demanda y en consecuencia hacer que el caudal bombeado fuera menor, logrando

obtener así una presión de descarga más alta. Esta reducción fue tal que la nueva curva resultó ser el 30% de la original.

Al correr nuevamente el programa con esta nueva Curva de Variación Horaria asociada al sistema, los resultados obtenidos para la hora de máxima demanda fueron bastante similares a los captados en campo. Tanto la carga de succión como la de descarga cumplían con los rangos vistos en campo, así como también se lograron verificar los puntos de control hidráulico.

En la Tabla 8 se muestra un cuadro comparativo entre los resultados obtenidos durante la calibración del programa y la visita a campo.

Tabla 8. *Cuadro comparativo entre datos recopilados en campo y resultados de la calibración.*

Elemento	Presión (m.c.a)	
	Datos de Campo	Resultados Calibración
Nodo de Control 1 (N-27)	> 0	22,0
Nodo de Control 2 (N-28)	< 0	-3,0
Bomba Hidráulica (Descarga)	180,0	178,5
Bomba Hidráulica (Succión)	26,0	26,0

Adicionalmente en la Tabla 9 y Gráfico 5 se presenta la Curva de Variación Horaria usada para el diagnóstico de la red, la cual fue la obtenida por HIDROCAPITAL, BIWATER, & M.G.A, 1993, pero reducida hasta el 30% de la misma.

Tabla 9. *Datos de la curva de variación horaria al 30%.*

Horario (a.m.)	% Qm medido	Horario (p.m.)	% Qm medido
12-1	28	12-1	36
1-2	29	1-2	36
2-3	29	2-3	36
3-4	29	3-4	36
4-5	29	4-5	35
5-6	29	5-6	35
6-7	35	6-7	35
7-8	35	7-8	28
8-9	35	8-9	28
9-10	35	9-10	28
10-11	36	10-11	28
11-12	36	11-12	28

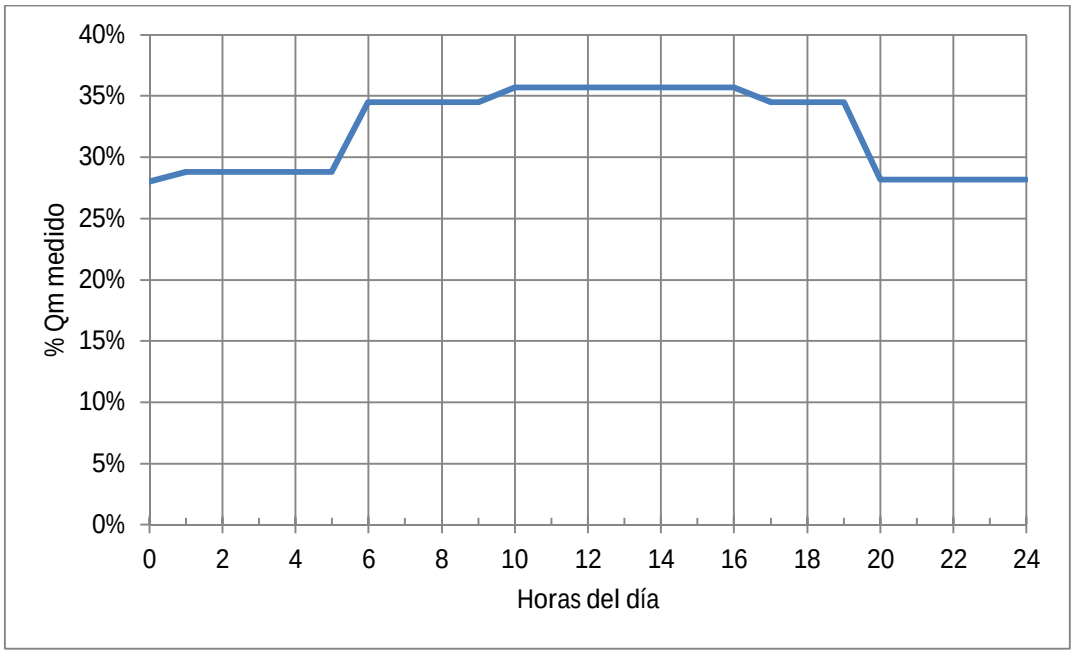


Gráfico 5. *Curva de variación horaria al 30%.*

CAPÍTULO VII. DIAGNÓSTICO DE LA RED

VII.1 Análisis Global de la Red

Luego de realizar la simulación hidráulica de la red existente, se logró observar que la bomba en servicio de tipo KSB WKL 80/7 etapas de 1750 rpm, abastece a la red de distribución sin estanques compensadores, bombeando contra punto alto, de tal manera de lograr vencer el desnivel estático existente entre la E/B y el punto más alto de la red.

La presión de descarga generada por la bomba es de 178,5 m.c.a en las horas de máxima demanda; pero esta carga es insuficiente para vencer el punto de mayor altura de la red, por lo que se está dejando de abastecer a la población que se encuentra aguas abajo del punto de control hidráulico (nodo N-27). Para cumplir con esta presión de descarga el caudal bombeado debe ser de 11 lps, dada la propia configuración de la Curva Característica de la bomba.

En horas de mínima demanda, la presión de descarga generada por la bomba es de 182,0 m.c.a. Esta aún no es suficiente para vencer el punto alto, sin embargo se presenta un incremento de presión tal que se logra abastecer a dos sectores más (La Canoa y Buen Amigo). Esta presión de descarga está asociada a un caudal de 9 lps para la bomba en funcionamiento.

Al observar el estado actual de la red, se infiere en que una sola bomba de estas características es insuficiente para cumplir con la demanda requerida por el sistema, debido a que la misma debe generar alta presión de descarga, para de esta forma lograr vencer el punto alto y contrarrestar las altas pérdidas a lo largo de la red, generadas por las tuberías de diámetro reducido, en consecuencia la bomba debe trabajar con poco caudal para poder cumplir con dicha condición. Se está dejando de abastecer a un 50% de la población, la cual corresponde a la cantidad de habitantes existentes aguas abajo del punto de control hidráulico.

Mientras que los sectores que están siendo abastecidos, reciben solo un 30% de lo que demandan.

VII.2 Problemas Generales Identificados

Presiones Altas: Presentes en puntos bajos de la red. Las Normas de Proyectos y Especificaciones de Materiales para los Sistemas de Abastecimientos de Agua de Urbanizaciones, publicadas por el I.N.O.S en 1966, estipulan que la presión máxima admisible en cualquier punto de la red debe ser de 75 m. Las presiones elevadas tienden a favorecer el uso excesivo de agua, al permitir un suministro mayor de lo normal, y causan daños a equipos e instalaciones sanitarias domiciliarias.

Presiones Bajas: Presentes en puntos altos de la red. Las Normas de Proyectos y Especificaciones de Materiales para los Sistemas de Abastecimientos de Agua de Urbanizaciones, publicadas por el INOS en 1966, establecen que la presión mínima admisible en cualquier punto de la red debe ser de 20 m. Algunos autores consideran conservador este valor. Las presiones muy bajas implican un servicio deficiente, al no permitir que el agua llegue al usuario en la cantidad y presión requeridas.

Altas Velocidades: Debido al diámetro reducido propio de las tuberías, las cuales deben transportar el caudal demandado a lo largo de la red. Cabe destacar que en las Normas I.N.O.S del año 1966, están establecidas las velocidades máximas permisibles para cada diámetro de tubería.

Grandes Pérdidas de Energía: Motivadas por la poca capacidad de conducción que presentan las tuberías existentes, producto de su reducido diámetro y el prolongado uso de las mismas, lo cual deriva en erosión y formación de incrustaciones, disminuyendo aún más su área efectiva de conducción.

Puntos Situados por Debajo de E/B: Este es un problema de mala concepción del diseño de redes de distribución de agua potable, donde no se justifica el uso de E/B a sectores

donde sus cotas sean menores a la de la E/B. Esto se debe a que estas zonas se deberían estar surtiendo por gravedad o directamente de la succión, sin el uso del bombeo, para así hacer uso de la energía potencial que posee el agua, gracias a su altura.

Abastecimiento por bombeo contra la red E/B – Sin estanques compensadores: Las normas estipulan que este tipo de sistema no es recomendado por diversas razones, entre las cuales están:

- Habría que tener una gran cantidad de bombas disponibles para su puesta en funcionamiento, con el fin de poder suplir el gasto demandado producto de las variaciones horarias del consumo.
- La operación del sistema se haría complicada y requeriría de mucho mantenimiento.
- El sistema sería vulnerable a fallas, ya que en caso de interrupción del suministro eléctrico, la red quedaría sin servicio de agua, ya que no cuenta con estanques de almacenamiento.

VII.3 Problemáticas Identificadas por Sector

En la Tabla 10 y 11, se muestran los distintos problemas que presenta el sistema de distribución de agua potable en cada sector, para el momento de máxima demanda y de mínima demanda.

Tabla 10. *Identificación de problemáticas por sector en horas de máxima demanda.*

SECTOR	Problemática Presentada			
	Sin Servicio	Presiones Bajas	Presiones Altas	Altas Velocidades
Bomparque				
Dos Kilómetros*				
Alto Pino				
Pueblo Nuevo				
La Capilla				
Campamento				
La Canoa				
Buen Amigo				
Doroteo				
El Manguito				
La Escuela				
El Campito				

* Sector que se encuentra parcialmente por debajo de la cota de la E/B

Tabla 11. *Identificación de problemáticas por sector en horas de mínima demanda.*

SECTOR	Problemática Presentada			
	Sin Servicio	Presiones Bajas	Presiones Altas	Altas Velocidades
Bomparque				
Dos Kilómetros*				
Alto Pino				
Pueblo Nuevo				
La Capilla				
Campamento				
La Canoa				
Buen Amigo				
Doroteo				
El Manguito				
La Escuela				
El Campito				

* Sector que se encuentra parcialmente por debajo de la cota de la E/B

VII.4 Resultados de la Simulación

Tabla 12. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Diagnóstico de la red actual.*

MÁXIMA DEMANDA					MÍNIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1133,0	0,27	1237,2	104,0	N-8	1133,0	0,21	1253,5	120,3
N-10	1112,2	0,18	1225,7	113,2	N-10	1112,2	0,14	1245,8	133,3
N-11	1064,2	0,84	1201,0	136,6	N-11	1064,2	0,68	1229,3	164,8
N-12	1068,9	1,41	1190,5	121,3	N-12	1068,9	1,13	1222,2	153,0
N-13	1040,2	0,42	1189,3	148,8	N-13	1040,2	0,34	1221,4	180,8
N-15	970,0	0,14	1168,0	197,6	N-15	970,0	0,11	1207,2	236,7
N-18	1157,5	0,31	1210,3	52,7	N-18	1157,5	0,25	1235,5	77,8
N-19	1170,9	0,31	1209,0	38,0	N-19	1170,9	0,25	1234,6	63,6
N-21	1112,1	0,07	1200,1	87,8	N-21	1112,1	0,06	1228,7	116,3
N-22	1091,8	0,07	1198,7	106,6	N-22	1091,8	0,06	1227,7	135,6
N-23	1092,0	0,04	1198,5	106,3	N-23	1092,0	0,03	1227,6	135,3
N-24	1120,2	0,31	1179,9	59,6	N-24	1120,2	0,25	1215,1	94,7
N-25	1116,2	0,21	1172,3	56,0	N-25	1116,2	0,17	1210,1	93,6
N-26	1097,1	0,46	1165,9	68,6	N-26	1097,1	0,37	1205,7	108,4
N-27	1134,9	0,31	1156,4	21,5	N-27	1134,9	0,25	1199,4	64,4
N-29	1140,1	0,25	1146,1	6,0	N-29	1140,1	0,20	1192,5	52,3
N-30	1147,1	0,06	1148,4	1,2	N-30	1147,1	0,05	1194,0	46,8
N-31	1175,1	0,71	1141,8	-33,3	N-31	1175,1	0,57	1189,6	14,4
N-33	1212,7	0,12	1132,7	-79,8	N-33	1212,7	0,10	1183,5	-29,1
N-36	1177,0	0,20	1119,8	-57,1	N-36	1177,0	0,16	1174,9	-2,1
N-37	1123,3	0,08	1118,5	-4,8	N-37	1123,3	0,06	1174,0	50,6
N-38	1207,3	0,85	1127,5	-79,6	N-38	1207,3	0,68	1180,1	-27,2
N-40	1145,9	1,67	1123,0	-22,9	N-40	1145,9	1,35	1177,0	31,0
N-41	1139,8	0,28	1113,4	-26,4	N-41	1139,8	0,23	1170,6	30,7
N-43	1154,0	0,25	1123,7	-30,2	N-43	1154,0	0,20	1177,5	23,4
N-44	1157,4	0,25	1123,6	-33,8	N-44	1157,4	0,20	1177,4	20,0
N-45	1150,1	0,30	1123,7	-26,4	N-45	1150,1	0,24	1177,5	27,3
N-47	1145,5	0,36	1123,2	-22,2	N-47	1145,5	0,29	1177,2	31,6
N-48	1165,2	0,30	1123,1	-42,0	N-48	1165,2	0,24	1177,1	11,9
N-50	1135,0	0,12	1122,2	-12,8	N-50	1135,0	0,10	1176,5	41,4
N-51	1099,4	0,12	1121,7	22,3	N-51	1099,4	0,09	1176,1	76,6

En la Figura 7 se presenta un esquema con la infraestructura existente, mientras que en las figuras 8 y 9 se muestra un plano esquemático donde se ven reflejados los resultados de los parámetros hidráulicos de la red actual en la etapa de diagnóstico, para el momento de mínima y máxima demanda.

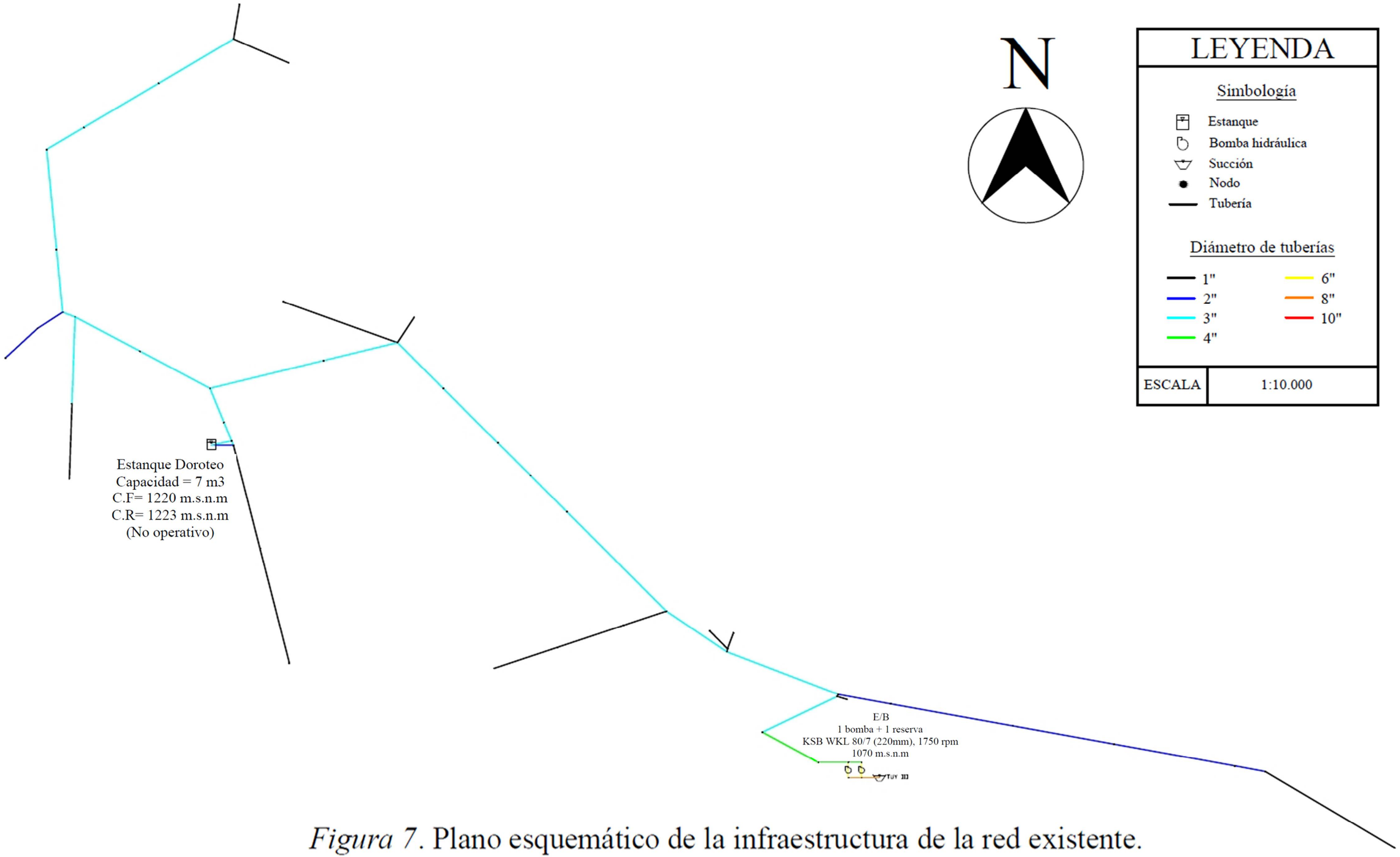


Figura 7. Plano esquemático de la infraestructura de la red existente.

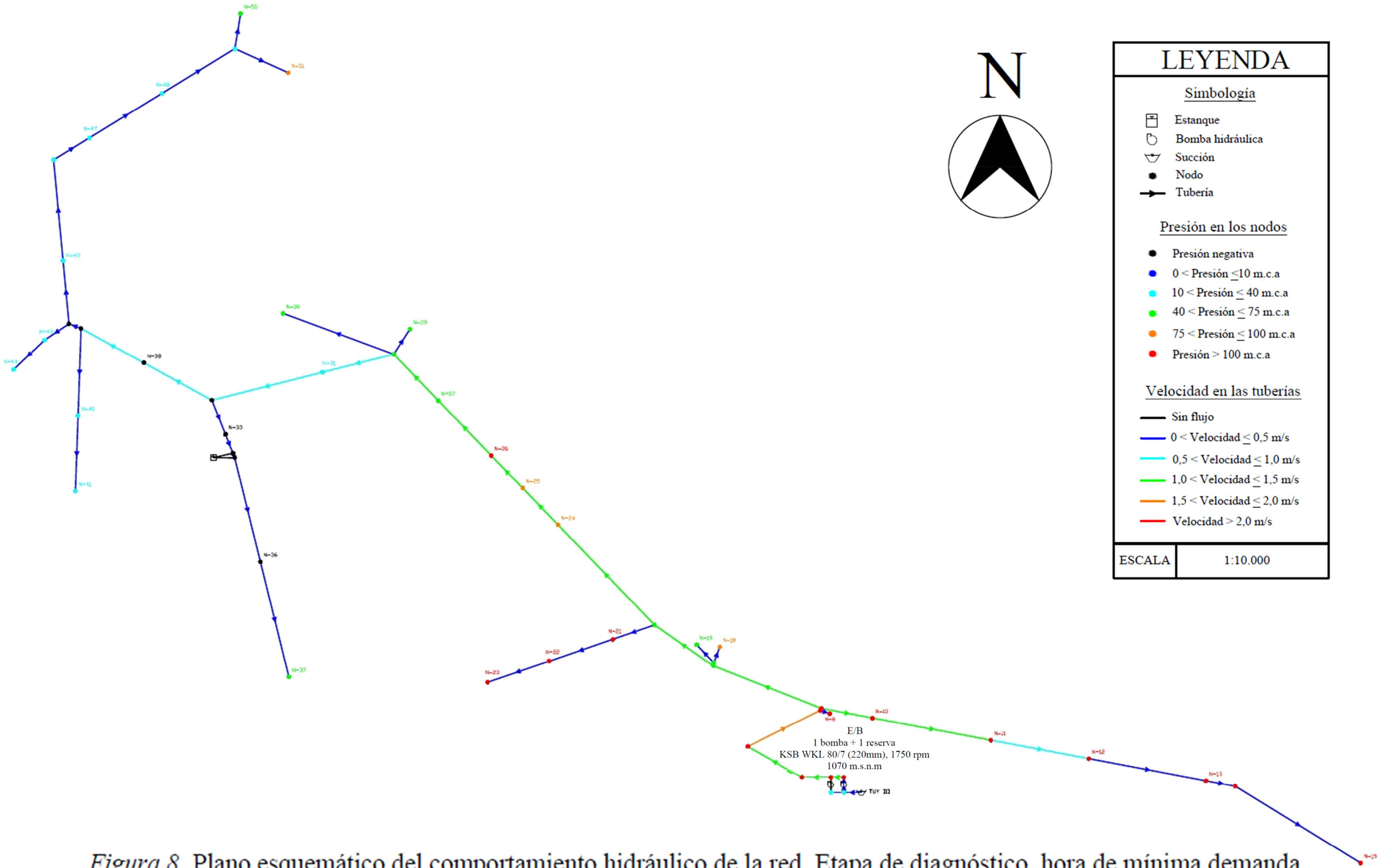


Figura 8. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Etapa de diagnóstico, hora de mínima demanda.

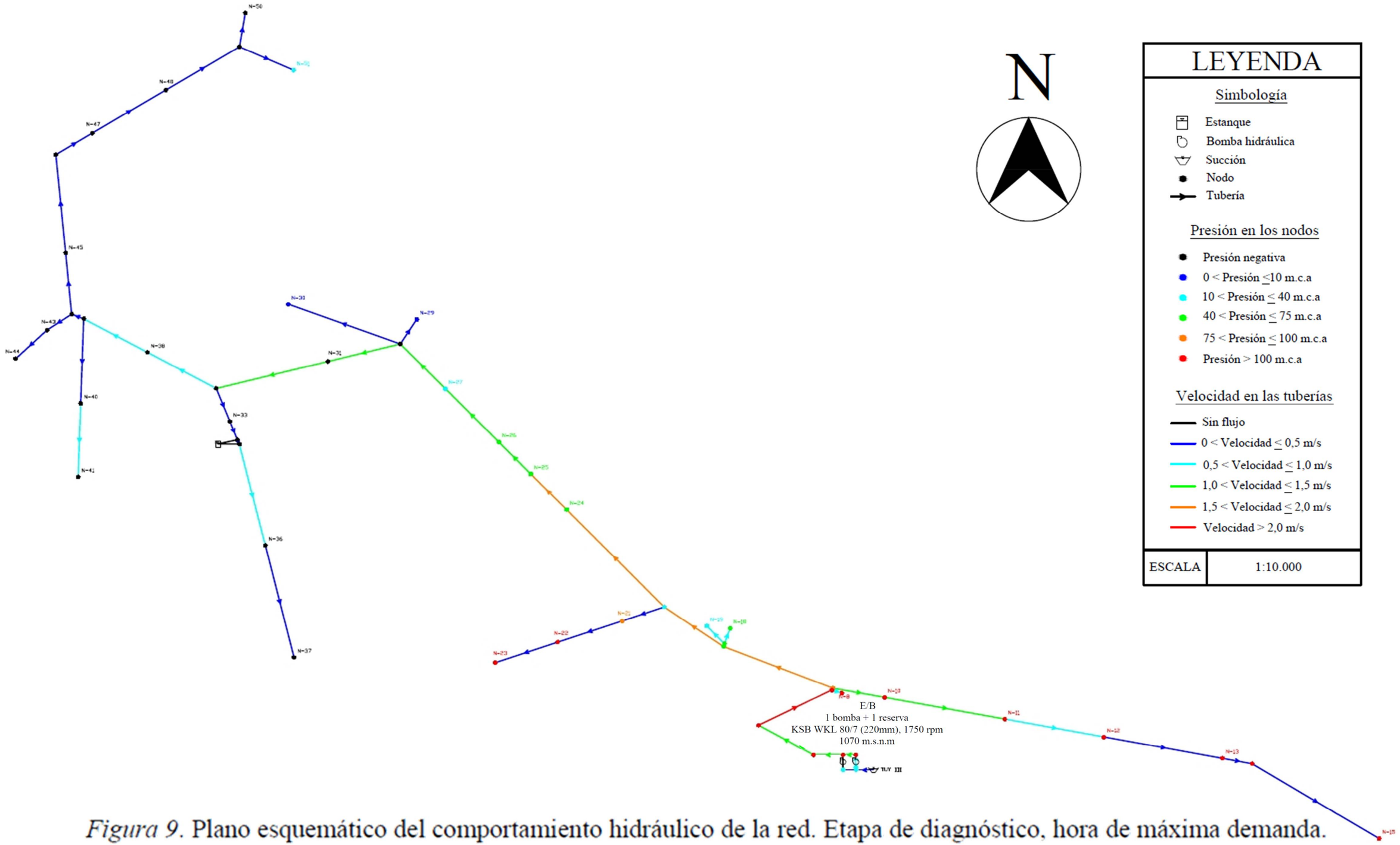


Figura 9. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Etapa de diagnóstico, hora de máxima demanda.

CAPÍTULO VIII. PROPUESTAS

En el presente capítulo se plantearon las propuestas de mejoras que requiere el sistema de distribución de agua potable del sector Lomas de Baruta, pretendiendo establecer las soluciones a corto, mediano y largo plazo, a los problemas diagnosticados en la red, desde una etapa de ingeniería conceptual, en la cual se plantea la generación y selección de alternativas del proyecto, y una etapa posterior de ingeniería básica, en la cual se pretende el pre-dimensionamiento de la infraestructura propuesta en cada alternativa.

VIII.1 Criterios para la Selección de Propuestas

- Se partió de la premisa que el sistema Tuy III, en el tramo de la estación de bombeo 33 y los Estanques Morochos de Baruta, se mantiene en funcionamiento con un nivel de energía constante de 1.096 m.s.n.m. en el punto de succión de la E/B Lomas de Baruta.
- La topografía del sitio de estudio, caracterizada por presentar un relieve montañoso, hace de la misma una zona de difícil acceso para vehículos pesados y con poco espacio disponible para nuevas infraestructuras.
- La E/B cuenta con área disponible para su posterior expansión, por lo tanto la incorporación de nuevos grupos de bombeo no presentó limitación de espacio.
- En la medida de lo posible se aprovechó la infraestructura existente, en las propuestas de mejoramiento del sistema, con el objeto de minimizar la inversión requerida.
- El análisis hidráulico de las propuestas, el cual permitió el pre-dimensionamiento de la infraestructura hidráulica a usar, se obtuvo a través del programa WaterCAD V8i, tomando como base el modelo hidráulico previamente calibrado en la etapa de diagnóstico.

VIII.2 Ingeniería Conceptual

La zona en estudio se encuentra ubicada a lo largo de un sector montañoso, el cual posee un punto alto a media distancia entre la E/B existente y el sector más alejado de esta. El

agua proveniente de la fuente tiene que superar este punto alto para lograr abastecer a los sectores que se encuentran ubicados más allá de este y en cotas inferiores, los cuales representan aproximadamente a más de la mitad de la población del sector. Esta situación permitió establecer tres soluciones conceptuales: bombear contra un estanque distribuidor ubicado cerca del punto alto, para luego abastecer por gravedad a todo el sector; bombear a través de la red hasta un estanque compensador ubicado cerca del punto alto, de tal manera de tener un abastecimiento mixto cuando las bombas se encuentren prendidas (por bombeo y gravedad), y cuando se encuentren apagadas solo por gravedad; o bombear contra la red de tal manera de superar el punto alto, sin estanque compensador.

Económicamente las propuestas de bombeo por gravedad con estanque representan una gran inversión inicial, pero con costos anuales por operación y mantenimiento relativamente bajos. Mientras que la solución por bombeo contra la red sin estanque compensador representa una inversión inicial menor, pero con costos anuales importantes de operación, mantenimiento y energía.

Cabe destacar que aunque se consideró poco factible la construcción de un estanque en la zona, por las dificultades constructivas expuestas en los Criterios Para Selección de Propuestas, las alternativas que contemplaban la construcción de estos se tomaron en cuenta de igual forma, por ser soluciones válidas desde el punto de vista hidráulico.

De igual forma es importante acotar que las normas vigentes exigen la existencia de al menos un estanque compensador en la red de distribución, de tal manera que el mismo amortigüe las variaciones horarias de consumo y almacene un volumen de agua en casos de falla en el bombeo o emergencias. Por ser la zona de estudio un desarrollo no controlado el cual no presenta las características propias de un urbanismo reglamentario, se tomaron las Normas de Proyectos y Especificaciones de Materiales para los Sistemas de Abastecimientos de Agua de Urbanizaciones, publicadas por el I.N.O.S en 1966 solo como marco de referencia

y en ningún caso inflexibles, por no estar orientadas a una red de distribución de agua potable en este tipo de sectores.

Figura 10. Perfil de elevación de la vía principal de la zona en estudio.

VIII.2.1 Infraestructura

Propuesta A: Bombeo contra la red sin estanque compensador.

- Incorporación de nuevos grupos de bombeo en la E/B Lomas de Baruta, paralelos a las existentes.
- Colocación de tuberías nuevas de mayor diámetro, paralelas a las existentes a lo largo del sector, interconectadas entre sí.
- Colocación de válvulas reguladoras de presión, donde se presenten presiones elevadas.
- Ampliación del espacio físico de la E/B Lomas de Baruta.

Propuesta B: Bombeo a través de la red con estanque compensador.

- Incorporación de nuevos grupos de bombeo en la E/B Lomas de Baruta, paralelos a las existentes.
- Colocación de tuberías nuevas de mayor diámetro, paralelas a las existentes a lo largo del sector, interconectadas entre sí.
- Colocación de válvulas reguladoras de presión, donde se presenten presiones elevadas.
- Ampliación del espacio físico de la E/B Lomas de Baruta.
- Construcción de estanque compensador en el sector Doroteo, correspondiente al sector más alto del sistema.

Propuesta C: Bombeo contra estanque distribuidor y abastecimiento por gravedad.

- Incorporación de nuevos grupos de bombeo en la E/B Lomas de Baruta, paralelos a las existentes.
- Colocación de tuberías nuevas de mayor diámetro, paralelas a las existentes a lo largo del sector, interconectadas entre sí.
- Colocación de línea de impulsión desde la E/B hasta el estanque distribuidor.
- Colocación de válvulas reguladoras de presión, donde se presenten presiones elevadas.
- Ampliación del espacio físico de la E/B Lomas de Baruta.
- Construcción de estanque distribuidor en el sector Doroteo, correspondiente al sector más alto del sistema.

VIII.2.2 Funcionamiento

Propuesta A: Bombeo contra la red sin estanque compensador.

- Abastecimiento por bombeo desde la E/B Lomas de Baruta, alimentada por la aducción de 100” del sistema Tuy III proveniente de la E/B 33.
- Se plantea un bombeo continuo con alternabilidad de bomba, con el objeto de dejar siempre una en reserva.
- Los grupos de bombeo serán los encargados de suplir el gasto de acuerdo a las variaciones horarias del consumo.
- Las tuberías de la red existente cumplirán la función de tuberías de distribución, y la nueva tubería paralela como de abastecimiento. De esta forma se evita la reinstalación de las tomas domiciliarias en la tubería nueva.
- Las válvulas reguladoras de presión tendrán como función fijar la presión aguas abajo a un valor deseado en caso de existir presiones superiores a este valor aguas arriba.

Con la colocación de nuevas tuberías de mayor diámetro se pretende disminuir las perdidas en el sistema, de tal manera de lograr vencer el punto alto con el menor gasto de

energía posible. De igual forma con la incorporación de nuevos grupos de bombeo se pretende aumentar el caudal que puede bombear la E/B, de tal manera de satisfacer la demanda.

Propuesta B: Bombeo a través de la red con estanque compensador.

- Se pretende realizar un abastecimiento mixto, por gravedad y bombeo, de tal manera de abastecer a los sectores ubicados entre la E/B y el estanque compensador por bombeo en los momentos en que las bombas se encuentren en funcionamiento y por gravedad durante las horas de descanso de las mismas, y en todo momento se abastecerá por gravedad a los sectores aguas abajo del estanque compensador. Cabe destacar que dicho bombeo se realizará desde la E/B Lomas de Baruta, alimentada por la aducción de 100" del sistema Tuy III proveniente de la E/B 33.
- Se plantea una operación por ciclos de bombeo con alternabilidad de los grupos de bombeo, con el objeto de permitir el descanso de los grupos operativos y dejar siempre uno en reserva.
- El estanque compensador será el encargado de amortiguar las variaciones horarias del consumo.
- Las tuberías de la red existente cumplirán la función de tuberías de distribución, y la nueva tubería paralela como de abastecimiento. De esta forma se evita la reinstalación de las tomas domiciliarias en la tubería nueva.
- Las válvulas reguladoras de presión tendrán como función fijar la presión aguas abajo a un valor deseado en caso de existir presiones superiores a este valor aguas arriba.

Con la colocación de nuevas tuberías de mayor diámetro se pretende disminuir las perdidas en el sistema, de tal manera de lograr vencer el punto alto con el menor gasto de energía posible. De igual forma con la incorporación de nuevos grupos de bombeo se pretende aumentar el caudal que puede bombear la E/B, de tal manera de satisfacer la demanda.

Propuesta C: Bombeo contra estanque distribuidor y abastecimiento por gravedad.

- Se pretende realizar el abastecimiento de todos los sectores por gravedad.
- La línea de impulsión proyectada cumplirá la función de abastecer al estanque distribuidor por bombeo desde la E/B Lomas de Baruta, alimentada por la aducción de 100” del sistema Tuy III proveniente de la E/B 33.
- Se plantea una operación por ciclos de bombeo con alternabilidad de los grupos de bombeo, con el objeto de permitir el descanso de los grupos operativos y dejar siempre uno en reserva.
- El estanque distribuidor será el encargado de amortiguar las variaciones horarias del consumo.
- Las tuberías de la red existente cumplirán la función de tuberías de distribución, y la nueva tubería paralela como de abastecimiento. De esta forma se evita la reinstalación de las tomas domiciliarias en la tubería nueva.
- Las válvulas reguladoras de presión tendrán como función fijar la presión aguas abajo a un valor deseado en caso de existir presiones superiores a este valor aguas arriba.

La instalación de línea de impulsión para el transporte del caudal desde la E/B hasta el estanque, evita el bombeo a través de la red, con lo que se pretende disminuir las perdidas en el sistema, de tal manera de lograr vencer el punto alto con el menor gasto de energía posible. De igual forma con la incorporación de nuevos grupos de bombeo se pretende aumentar el caudal que puede bombear la E/B, de tal manera de satisfacer la demanda.

VIII.3 Ingeniería Básica

Las dimensiones resultantes de esta etapa, no pretenden ser definitivas y se recomienda un estudio posterior detallado, para definir con exactitud estos valores y su correspondiente análisis económico.

VIII.3.1 Criterios de Diseño

Para el diseño de las propuestas de mejora de la red de distribución de agua potable se tomaron en cuenta los criterios de diseño estipulados en las Normas I.N.O.S y MINDUR. A continuación se presentan los criterios tomados en cuenta para el diseño de las alternativas planteadas.

Caudal de Diseño: las demandas de agua obtenidas en el análisis de demanda corresponden a valores medios, es decir como si el consumo de agua se presentara a una rata constante en todo momento. El escenario antes planteado representa un escenario ideal, por lo que se deben considerar las variaciones de consumo a lo largo del tiempo, para así representar de mejor manera la realidad. Las Normas I.N.O.S publicadas en 1965, incluyen una curva que representa las variaciones del consumo a lo largo de un día sin irregularidades, en la cual se presenta un pico en el consumo del 200% del caudal medio. Es un hecho que el consumo hoy en día es diferente al mostrado en la curva del I.N.O.S, y por tratarse de un estudio de hace más de 50 años, no se consideró representativo del consumo real del sector. Por esta razón, se decidió adoptar como curva de variación horaria, a la obtenida por HIDROCAPITAL, BIWATER Y M.G.A, de la cual se argumentó extensamente en el capítulo de diagnóstico. Esta curva considera un pico en el consumo del 119% del caudal medio.

Para las propuestas A y B, se tomó como caudal de diseño, la demanda máxima a mediano plazo y se verificó el funcionamiento de la red a corto y largo plazo. En cuanto a la propuesta C, se tomó un caudal de diseño para la línea de impulsión, correspondiente al caudal óptimo de operación de dos bombas en funcionamiento, el cual representa el 120% del caudal medio a mediano plazo; y otro para la red de distribución, correspondiente a el caudal pico de

demanda a mediano plazo; en ambos casos se verificó el funcionamiento de la red a corto y largo plazo.

E/B: La E/B se diseñó para la condición más desfavorable, la cual corresponde a cuando se presenta el pico de consumo.

- Se aprovecharon en la medida de lo posible los equipos existentes en la E/B Lomas de Baruta (2 bombas KSB WKL 80/7-220mm, 1750 rpm).
- Se contempló mantener un grupo de bombeo siempre en reserva, para asegurar la alternabilidad de los equipos, con el fin de disminuir su desgaste, y a su vez garantizar el servicio en caso de falla de algún grupo de bombeo.

Estanques: las normas I.N.O.S establecen en cuanto a la capacidad de los estanques, que estos deben contar con un volumen igual al 40% del gasto medio diario anual para compensar las variaciones horarias de consumo, un 25% del gasto medio diario anual adicional para compensar los gastos de bombeo, así como un volumen extra para cumplir con la condición de incendio con una duración de 4 horas. Sin embargo, ya que estas normas se encuentran basadas en la curva de variación horaria del I.N.O.S, y para la generación de las propuestas de mejora para la red en estudio se tomó en cuenta una curva diferente, la cual presenta una configuración más achatada, es decir con menores variaciones horarias en el consumo, se calcularon los estanques para el 40% del gasto medio diario, de tal manera de abarcar bajo este volumen los conceptos de almacenamiento estipulados por el I.N.O.S.

Generalmente los estanques son colocados en los puntos de mayor elevación de la zona, para lograr surtir a todos los sectores por gravedad. Sin embargo, debido a la configuración topográfica del sector de mayor elevación (Doroteo), el punto de mayor altura presenta limitaciones de espacio, por tal razón se decidió ubicar el estanque en una zona de menor altura. Para evitar la instalación de equipos hidroneumáticos, que surtan a los sectores de cota mayor al estanque, se decidió otorgar una mayor altura al estanque de tal manera de abastecerlos por gravedad.

Límites de red: con la finalidad de mantener las presiones en las tuberías de distribución dentro de un rango de presiones aceptables, se tomó como referencia lo estipulado por el I.N.O.S con respecto a este tópico.

- Presión máxima: con el fin de evitar problemas en las piezas sanitarias de los usuarios, necesidad de grandes anclajes en juntas, así como evitar que las tuberías trabajen a presiones cercanas a su presión de prueba (100 m.c.a), se trabajó en la medida de lo posible con un valor de presión máxima 75 m.c.a; sin embargo por tratarse de un acueducto ubicado en un desarrollo no controlado, se aceptaron presiones de hasta 100 m.c.a.
- Presión mínima: para garantizar que el agua tenga suficiente presión para alcanzar el punto de consumo final, considerando que el acueducto se ubica en un desarrollo no controlado, donde prevalecen las viviendas de 2 y 3 pisos, se tomó un valor de 10 m.c.a. como presión mínima, para así lograr prestar el servicio hasta un segundo piso. Cabe destacar que aunque Las Normas de Proyectos y Especificaciones de Materiales para los Sistemas de Abastecimientos de Agua de Urbanizaciones, publicadas por el INOS en 1966, estipulan un valor de presión mínima de 20 m.c.a, y según la Gaceta oficial No. 4.085 del año 1989, el Ministerio del Desarrollo Urbano (MINDUR) acepta hasta un valor de 15 m.c.a., muchos autores consideran estos valores un tanto conservadores.

Velocidades máximas en tuberías: como se discutió previamente en el capítulo de diagnóstico, el I.N.O.S estipula velocidades máximas permisibles para cada diámetro de tubería. Estos valores están fijados en función de garantizar la mayor eficiencia hidráulica de conducción a través de ellos, minimizando las pérdidas por fricción. En todo momento se intentó mantener velocidad en las tuberías por debajo del valor máximo permisible por estas normas, sin embargo se consideró como velocidad limite a lo largo de toda la red de distribución un valor de 2 m/s, valor correspondiente a la condición de incendio presentado en dichas normas.

Pérdidas por fricción: como las soluciones planteadas en la etapa de ingeniería conceptual, prevén la colocación de una tubería nueva paralela a la existente, la cual cumplirá la función de tubería de abastecimiento, se consideró injustificado la inversión de tiempo y dinero en la determinación precisa de la rugosidad de la tubería existente, ya que las pérdidas por fricción generadas en dicha tubería son insignificantes, esto motivado a el bajo caudal que las mismas conducen al tratarse de una tubería de distribución alimentada por la tubería nueva. Por esta razón se adoptó el mismo valor del coeficiente de Hazen Williams (C=100 para acero, y C=80 para Hierro Galvanizado), utilizado en el capítulo de diagnóstico, para las tuberías existentes.

Diámetro mínimo: se tomó 4” como diámetro mínimo para las nuevas tuberías, previendo la futura expansión de la zona en estudio.

Material de las tuberías: las tuberías se consideraron de acero, tomando en cuenta un coeficiente de rugosidad de Hazen Williams C=140.

VIII.3.2 Pre-dimensionamiento

Propuesta A: Bombeo contra la red sin estanque compensador.

Caudal de Diseño: 44 lps.

Corto plazo:

- Se mantienen los dos grupos de bombeo existentes en la estación y se agrega un nuevo grupo de bombeo de iguales características (KSB WKL 80/7-220mm-1750 rpm), paralelo a los anteriores. Eficiencia operativa: 66 a 68%. (Punto de operación óptima: 70%).
- Operación continúa de dos grupos de bombeo y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos.
- Instalación de componentes en la E/B: válvula de compuerta, válvula de admisión y expulsión de aire, válvula y dispositivos para golpe de ariete: válvula de alivio, válvula de retención ó válvula check en el múltiple de descarga de cada bomba, así como

dispositivos de control de presión que incluyan señal de alarma por baja succión y alta descarga.

- Eliminación del estanque de poca capacidad existente en el sector Doroteo.
- Nueva tubería de acero de Ø 10” que reemplaza la tubería existente de Ø 4” y Ø 3”, la cual va desde la descarga de la E/B hasta encontrarse con la vía principal de la zona, a la altura del sector Bomparque. Longitud de 390 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector Bomparque y paralela a la existente. Longitud de 30 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4”, la cual parte del final de la de Ø 10”, proveniente de la E/B, hasta el final del sector Dos Kilómetros y paralela a la existente. Longitud de 1480 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 10”, la cual parte del final de la de Ø 10”, proveniente de la E/B, hasta el sector Alto Pino y paralela a la existente. Longitud de 300 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector Alto Pino y paralela a la existente. Longitud de 130 metros,
- Nueva tubería de acero de Ø 8” desde el sector Alto Pino hasta los límites entre el sector La Capilla y Campamento, paralela a la existente. Longitud de 680 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” en el primer tramo del sector Pueblo Nuevo y paralela a la existente. Longitud de 100 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 6” desde el final de la tubería de Ø 8”, en el límite entre el sector La Capilla y Campamento, hasta el sector El Manguito y paralela a la existente. Longitud de 1200 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4”, tanto en el ramal Nor-Este como en el Nor-Oeste del sector La Canoa, paralela a la existente. Longitud de 80 metros y 300 metros respectivamente.

- Nueva tubería de acero de Ø 4” en el sector Doroteo, desde la entrada del mismo hasta unos 300 metros antes de llegar al final del sector, paralela a la existente. Longitud de 400 metros
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector el Manguito y paralela a la existente. Longitud de 410 metros.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería en el sector Bomparque. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al comienzo de la nueva tubería de Ø 4” ubicada en el sector Dos Kilómetros. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión en el sector Dos Kilómetros a 700 metros de la instalada al inicio del sector. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión en el sector Dos Kilómetros a 1100 metros de la instalada al inicio del sector. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector Alto Pino. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva de tubería de Ø 4” ubicada en el sector Pueblo Nuevo. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión sobre la nueva tubería instalada en el sector La Canoa, justo antes de su ramificación. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al final de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector Doroteo. Valor de Presión Regulada: 20 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector El Manguito. Valor de Presión Regulada: 15 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la tubería existente de Ø 2” que se adentra hacia el sector La Escuela. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.

- Válvula Reguladora de Presión al final de la tubería existente de Ø 3”, dirigida hacia el sector El Campito, justo antes de llegar a la ramificación la misma. Valor de Presión Regulada: 20 m.c.a.

Mediano Plazo:

- Se mantienen los grupos de bombeo sugeridos en el corto plazo para la E/B, bajo la misma operación. Eficiencia operativa: 68 a 69%. (Punto de operación óptima: 70%).

Largo Plazo:

- Se mantienen los tres grupos de bombeos existentes en la estación y se agrega un nuevo grupo de bombeo, de iguales características (KSB WKL 80/7-220mm-1750 rpm), paralelo a los anteriores. Eficiencia operativa: 69%. (Punto de operación óptima: 70%).
- Operación continúa de dos grupos de bombeo en todo momento y puesta en funcionamiento de un tercer grupo solo durante el periodo de tiempo donde se presentan las altas demandas (entre 6am y 8pm). Siempre debe quedar un cuarto grupo de bombeo en reserva. Se recomienda la alternabilidad entre ellos.

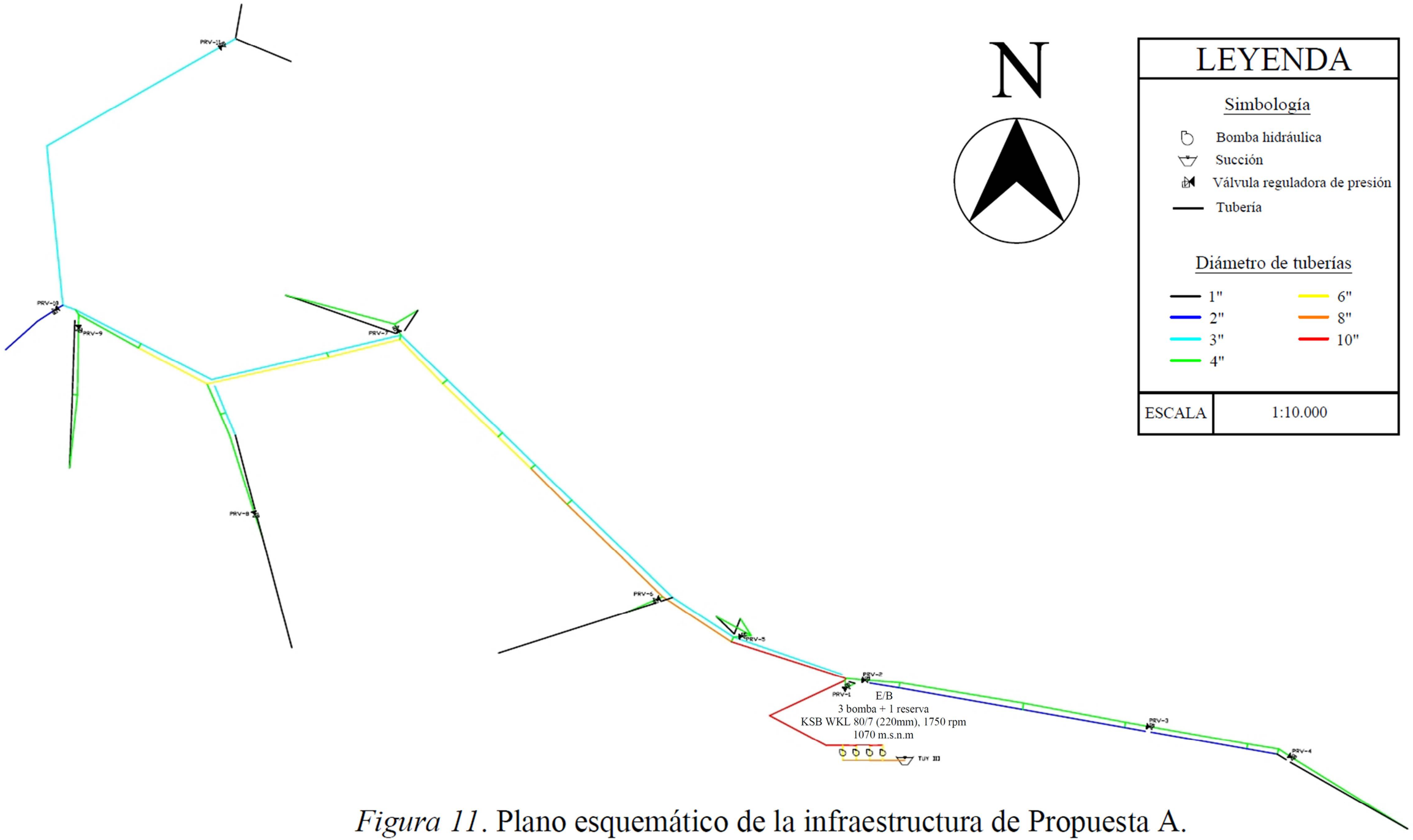


Figura 11. Plano esquemático de la infraestructura de Propuesta A.

Propuesta B: Bombeo a través de la red con estanque compensador.

Caudal de Diseño: 44 lps.

Corto Plazo:

- Se mantienen los dos grupos de bombeo existentes en la estación y se agrega un nuevo grupo de bombeo de iguales características (características (KSB WKL 80/7-220mm-1750 rpm), paralelo a los anteriores. Eficiencia operativa: 68%. (Punto de operación óptima: 70%).
- Operación por ciclos de bombeo de dos grupos, dependiendo de la fluctuación del estanque, y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos.
- Instalación de componentes en la E/B: válvula de compuerta, válvula de admisión y expulsión de aire, válvula y dispositivos para golpe de ariete: válvula de alivio, válvula de retención ó válvula check en el múltiple de descarga de cada bomba, así como dispositivos de control de presión que incluyan señal de alarma por baja succión y alta descarga.
- Eliminación del estanque de poca capacidad existente en el sector Doroteo.
- Construcción de estanque compensador en la entrada del sector Doroteo. La cota de rebose y cota mínima de operación se adoptaron en razón de contar con suficiente presión en el punto más alto de la red, correspondiente a cota 1218 m.s.n.m, tal que el agua proveniente del estanque siempre logre superar el punto alto y de esta forma se abastezca a los sectores aguas abajo de este. Este punto alto se encuentra en el mismo sector Doroteo a menos de 200 metros del estanque.
    - Cota base: 1210 m.s.n.m
    - Cota de rebose: 1225 m.s.n.m.
    - Volumen: 1600 m^3
- Nueva tubería de acero de Ø 10” (línea de impulsión), que reemplaza la tubería existente de Ø 4” y Ø 3”, la cual va desde la descarga de la E/B hasta encontrarse con

la vía principal de la zona, a la altura del sector Bomparque, y luego continua hasta el estanque distribuidor en el sector Doroteo. Longitud de 2.230 metros.

- Nueva tubería de acero de Ø 6”, desde el estanque compensador hasta su ramificación. Longitud 15 metros
- Nueva tubería de acero de Ø 6”, desde la ramificación de la tubería proveniente del estanque hasta el sector El Manguito, y paralela a la existente. Longitud 365 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4 en el sector El Manguito, desde la entrada del mismo hasta su final, y paralela al existente. Longitud 410 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” en el sector Doroteo, desde la entrada del mismo hasta unos 300 metros antes de llegar al final del sector, paralela a la existente. Longitud de 400 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4”, tanto en el ramal Nor-Este como en el Nor-Oeste del sector La Canoa, paralela a la existente. Longitud de 80 metros y 300 metros respectivamente.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” en el primer tramo del sector Pueblo Nuevo y paralela a la existente. Longitud de 100 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector Alto Pino y paralela a la existente. Longitud de 130 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector Bomparque y paralela a la existente. Longitud de 30 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 6”, la cual parte desde la ramificación de la tubería Ø 10”, proveniente de la E/B, hasta unos 800 metros del final del sector, y paralela a la existente. Longitud de 450 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4”, la cual empieza desde el final de la tubería de Ø 6” proveniente del principio del sector Dos Kilómetros hasta el final del mismo. Longitud 775 metros.

- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería en el sector Bomparque. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al comienzo de la nueva tubería de Ø 6” ubicada en el sector Dos Kilómetros. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión en el sector Dos Kilómetros a 700 metros de la instalada al inicio del sector. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión en el sector Dos Kilómetros a 1100 metros de la instalada al inicio del sector. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería en el sector Alto Pino. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva de tubería de Ø 4” ubicada en el sector Pueblo Nuevo. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión sobre la nueva tubería instalada en el sector La Canoa, justo antes de su ramificación. Valor de Presión Regulada: 40 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al final de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector Doroteo. Valor de Presión Regulada: 20 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector El Manguito. Valor de Presión Regulada: 15 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al final de la tubería existente de Ø 3”, dirigida hacia el sector El Campito, justo antes de llegar a la ramificación la misma. Valor de Presión Regulada: 20 m.c.a.

Mediano Plazo:

- Se mantienen los tres grupos de bombeos existentes en la estación y se agrega un nuevo grupo de bombeo, de iguales características (KSB WKL 80/7-220mm-1750 rpm), paralelo a los anteriores. Eficiencia operativa: 69%. (Punto de operación óptima: 70%).

- Operación por ciclos de bombeo de tres grupos, dependiendo de la fluctuación del estanque, y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos.

Largo Plazo:

- Se mantienen los grupos de bombeo sugeridos en el mediano plazo para la E/B. Eficiencia operativa: 69%. (Punto de operación óptima: 70%).
- Operación por ciclos de bombeo de tres grupos, dependiendo de la fluctuación del estanque, y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos

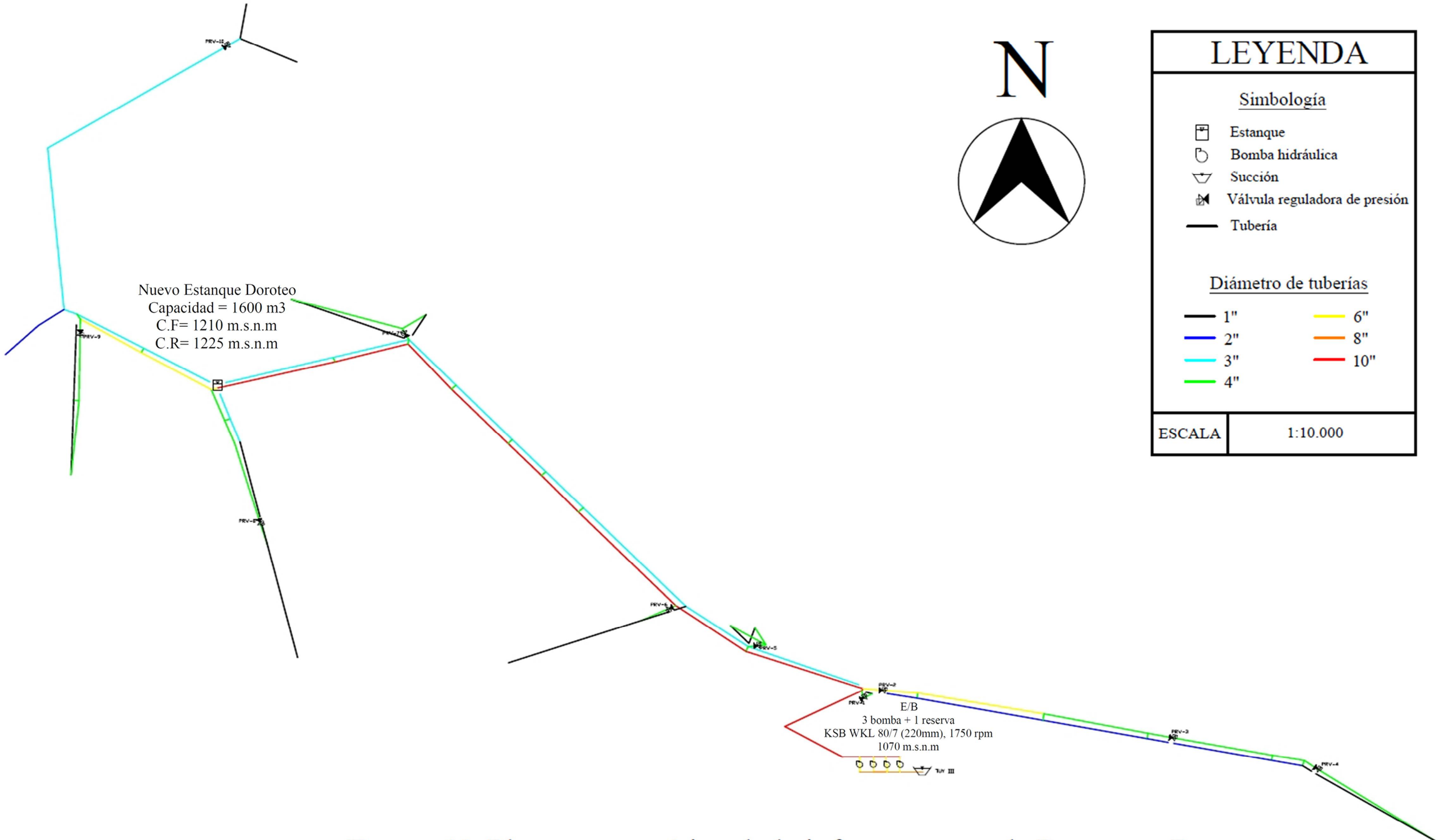


Figura 12. Plano esquemático de la infraestructura de Propuesta B.

Propuesta C: Bombeo contra estanque distribuidor y abastecimiento por gravedad.

Caudal de Diseño de Red de Distribución: 44 lps.

Caudal de Diseño de Línea de Impulsión: 42 lps.

Corto Plazo:

- Se mantienen los dos grupos de bombeo existentes en la estación y se agrega un nuevo grupo de bombeo de iguales características (KSB WKL 80/7-220mm-1750 rpm), paralelo a los anteriores. Eficiencia operativa: 68%. (Punto de operación óptima: 70%).
- Operación por ciclos de bombeo de dos grupos, dependiendo de la fluctuación del estanque, y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos.
- Instalación de componentes en la E/B: válvula de compuerta, válvula de admisión y expulsión de aire, válvula y dispositivos para golpe de ariete: válvula de alivio, válvula de retención y válvula check en el múltiple de descarga de cada bomba, así como dispositivos de control de presión que incluyan señal de alarma por baja succión y alta descarga.
- Eliminación del estanque de poca capacidad existente en el sector Doroteo.
- Construcción de estanque distribuidor en la entrada del sector Doroteo. Es importante destacar que la cota de rebose ó cota mínima de operación se adoptaron en razón de contar con suficiente presión en el punto más alto de la red, correspondiente a cota 1218 m.s.n.m, tal que el agua proveniente del estanque siempre logre superar el punto alto y de esta forma se abastezca a los sectores aguas abajo de este. Este punto alto se encuentra en el mismo sector Doroteo a menos de 200 metros del estanque.

  - Cota de fondo: 1210 m.s.n.m.
  - Cota mínima de operación: 1220 m.s.n.m.
  - Cota de rebose: 1225 m.s.n.m.
  - Volumen: 1600 m^3

  El estanque debe contemplar todos los dispositivos de control de nivel para su operación.

- Nueva tubería de acero de Ø 10” (línea de impulsión), que reemplaza la tubería existente de Ø 4” y Ø 3”, la cual va desde la descarga de la E/B hasta encontrarse con la vía principal de la zona, a la altura del sector Bomparque, y luego continua hasta el estanque distribuidor en el sector Doroteo. Longitud de 2.230 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 10” que sale del estanque hasta su ramificación. Longitud de 15 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” en el sector Doroteo, la cual va desde la ramificación de la tubería de descarga del estanque de Ø 10” hasta unos 300 metros antes de llegar al final del sector y paralela a la existente. Longitud de 430 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 6”, desde la ramificación de la tubería de descarga del estanque de Ø 10” hasta el límite entre el sector El Manguito y Doroteo, y paralela a la existente. Longitud de 200 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4”, desde el final de la tubería de Ø 6” a la altura de la frontera entre el sector El Manguito y Doroteo, hasta el final del sector El Manguito, y paralela a la existente. Longitud de 600 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 8”, desde la ramificación de la tubería de descarga del estanque de Ø 10” hasta el sector La Capilla, paralela a la existente. Longitud de 1100 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 6”, desde el final de la tubería de Ø 8” a la altura del sector La Capilla hasta el punto medio del sector Dos Kilómetros, y paralela a la existente. Longitud de 1550 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” en el primer tramo del sector Pueblo Nuevo y paralela a la existente. Longitud de 100 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector Alto Pino y paralela a la existente. Longitud de 130 metros,

- Nueva tubería de acero de Ø 4” la cual parte del punto medio del sector Dos Kilómetros, desde el final de la tubería de Ø 6”, hasta el final del sector y va paralela a la existente. Longitud de 770 metros.
- Válvula Reguladora de Presión al final de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector Doroteo. Valor de Presión Regulada: 20 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al inicio de la nueva tubería de Ø 4” instalada en el sector El Manguito. Valor de Presión Regulada: 15 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al final de la tubería existente de Ø 3”, dirigida hacia el sector El Campito, justo antes de llegar a la ramificación la misma. Valor de Presión Regulada: 20 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión en la nueva tubería de Ø 8”, proveniente de la descarga del estanque, a la altura del sector La Canoa. Valor de Presión Regulada: 35 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión al comienzo de la nueva tubería de Ø 6” ubicada en el sector Dos Kilómetros. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión sobre la nueva tubería de Ø 6” en el sector Dos Kilómetros, a 410 metros de la instalada al inicio del sector. Valor de Presión Regulada: 30 m.c.a.
- Válvula Reguladora de Presión sobre la nueva tubería de Ø 6” en el sector Dos Kilómetros, a 1100 metros de la instalada al inicio del sector. Valor de Presión Regulada: 10 m.c.a.

Mediano Plazo:

- Se mantienen los tres grupos de bombeos existentes en la estación y se agrega un nuevo grupo de bombeo, de iguales características (KSB WKL 80/7-220mm-1750 rpm), paralelo a los anteriores. Eficiencia operativa: 70%. (Punto de operación óptima: 70%).

- Operación por ciclos de bombeo de tres grupos, dependiendo de la fluctuación del estanque, y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos.
- Nueva tubería de acero de Ø 4” a lo largo de todo el sector Bomparque y paralela a la existente. Longitud de 30 metros.
- Nueva tubería de acero de Ø 4”, en el ramal Nor-Este del sector La Canoa, paralela a la existente. Longitud de 80 metros.

Largo Plazo:

- Se mantienen los grupos de bombeo sugeridos en el mediano plazo para la E/B. Eficiencia operativa: 70%. (Punto de operación óptima: 70%).
- Operación por ciclos de bombeo de tres grupos, dependiendo de la fluctuación del estanque, y uno en reserva en todo momento, con alternabilidad entre ellos.

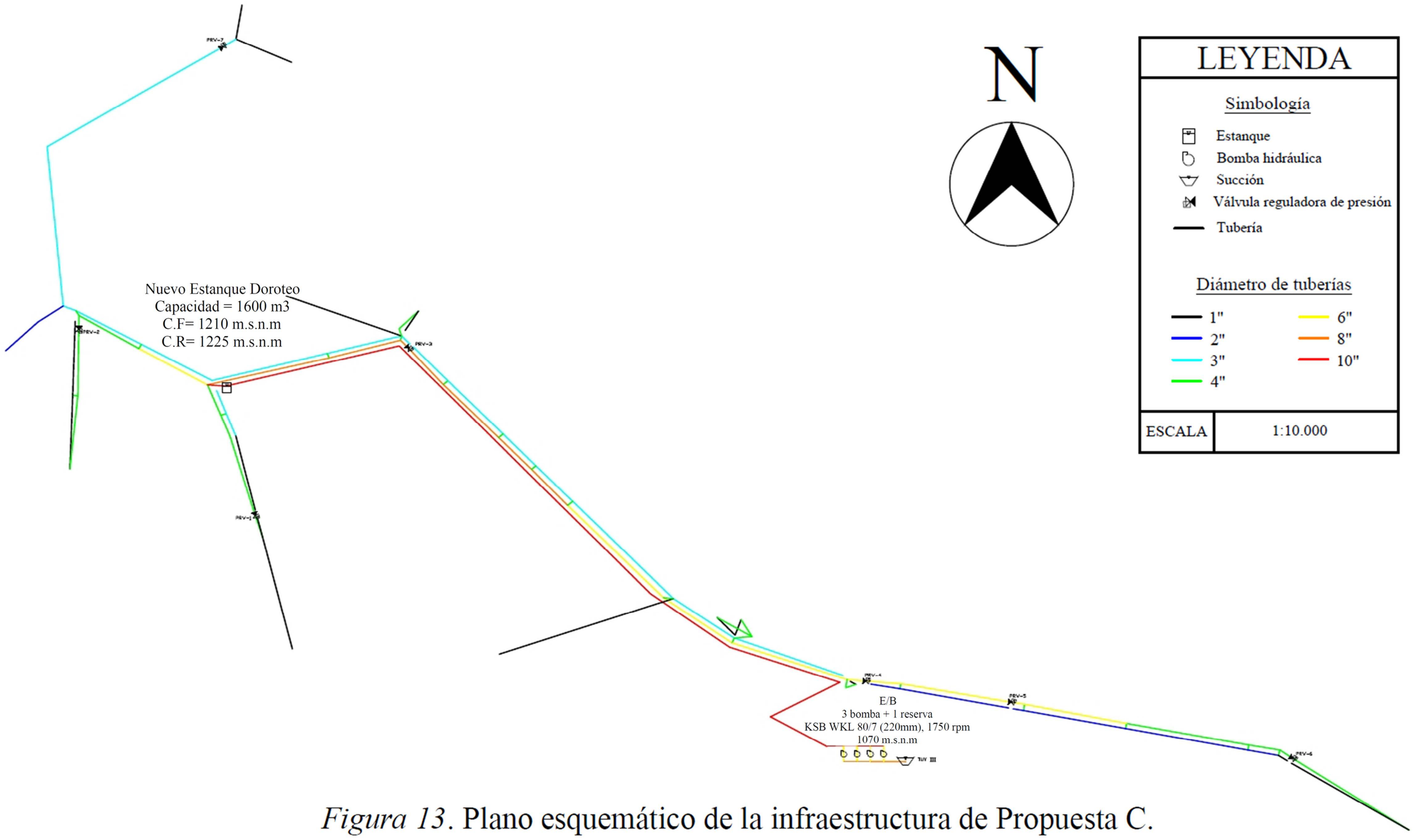


Figura 13. Plano esquemático de la infraestructura de Propuesta C.

VIII.4 Resultados del modelaje de las propuestas.

VIII.4.1 Propuesta A

Tabla 13. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta A, corto plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	0,71	1.176,8	43,7	N-8	1.133,0	0,88	1.176,8	43,7
N-10	1.112,2	0,48	1.146,4	34,1	N-10	1.112,2	0,60	1.145,7	33,5
N-11	1.064,2	2,25	1.144,1	79,8	N-11	1.064,2	2,78	1.142,4	78,1
N-12	1.068,9	3,75	1.143,2	74,1	N-12	1.068,9	4,65	1.140,9	71,8
N-13	1.040,2	1,12	1.078,8	38,5	N-13	1.040,2	1,39	1.078,8	38,5
N-15	970,0	0,37	1.045,1	75,0	N-15	970,0	0,46	1.045,1	75,0
N-18	1.157,5	0,83	1.209,3	51,6	N-18	1.157,5	1,02	1.209,3	51,6
N-19	1.170,9	0,84	1.209,3	38,3	N-19	1.170,9	1,04	1.209,3	38,2
N-21	1.112,1	0,18	1.173,2	60,9	N-21	1.112,1	0,23	1.173,2	60,9
N-22	1.091,8	0,19	1.164,2	72,3	N-22	1.091,8	0,24	1.159,9	67,9
N-23	1.092,0	0,10	1.163,1	71,0	N-23	1.092,0	0,12	1.158,2	66,1
N-24	1.120,2	0,84	1.263,4	142,9	N-24	1.120,2	1,04	1.250,3	129,8
N-25	1.116,2	0,56	1.263,2	146,6	N-25	1.116,2	0,69	1.250,0	133,5
N-26	1.097,1	1,24	1.262,6	165,1	N-26	1.097,1	1,54	1.249,1	151,7
N-27	1.134,9	0,84	1.261,7	126,5	N-27	1.134,9	1,04	1.247,8	112,7
N-29	1.140,1	0,67	1.192,0	51,8	N-29	1.140,1	0,83	1.192,0	51,8
N-30	1.147,1	0,16	1.192,0	44,8	N-30	1.147,1	0,20	1.192,0	44,8
N-31	1.175,1	1,90	1.260,4	85,1	N-31	1.175,1	2,36	1.245,9	70,6
N-33	1.212,7	0,32	1.259,5	46,7	N-33	1.212,7	0,39	1.244,5	31,7
N-36	1.177,0	0,53	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	0,65	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,20	1.188,9	65,4	N-37	1.123,3	0,25	1.184,9	61,5
N-38	1.207,3	2,27	1.259,1	51,6	N-38	1.207,3	2,81	1.243,9	36,5
N-40	1.145,9	4,45	1.210,3	64,2	N-40	1.145,9	5,52	1.209,8	63,7
N-41	1.139,8	0,75	1.210,2	70,3	N-41	1.139,8	0,93	1.209,8	69,8
N-43	1.154,0	0,67	1.229,1	74,9	N-43	1.154,0	0,83	1.228,0	73,8
N-44	1.157,4	0,67	1.228,2	70,6	N-44	1.157,4	0,83	1.226,6	69,0
N-45	1.150,1	0,80	1.254,4	104,1	N-45	1.150,1	0,99	1.237,0	86,7
N-47	1.145,5	0,96	1.251,4	105,8	N-47	1.145,5	1,19	1.232,5	86,9
N-48	1.165,2	0,80	1.250,8	85,4	N-48	1.165,2	0,99	1.231,5	66,2
N-50	1.135,0	0,32	1.168,4	33,3	N-50	1.135,0	0,39	1.165,6	30,6
N-51	1.099,4	0,31	1.165,2	65,7	N-51	1.099,4	0,38	1.160,9	61,4

Tabla 14. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta A, mediano plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	0,88	1.176,8	43,7	N-8	1.133,0	1,09	1.176,8	43,7
N-10	1.112,2	0,60	1.144,0	31,7	N-10	1.112,2	0,74	1.142,2	29,9
N-11	1.064,2	2,80	1.138,1	73,8	N-11	1.064,2	3,47	1.133,4	69,1
N-12	1.068,9	4,68	1.135,5	66,5	N-12	1.068,9	5,80	1.129,6	60,5
N-13	1.040,2	1,40	1.078,6	38,3	N-13	1.040,2	1,74	1.078,4	38,1
N-15	970,0	0,47	1.045,1	74,9	N-15	970,0	0,58	1.045,1	74,9
N-18	1.157,5	0,93	1.209,3	51,6	N-18	1.157,5	1,15	1.209,2	51,6
N-19	1.170,9	0,94	1.209,2	38,2	N-19	1.170,9	1,17	1.209,2	38,2
N-21	1.112,1	0,23	1.173,2	60,9	N-21	1.112,1	0,29	1.173,2	60,9
N-22	1.091,8	0,24	1.160,0	68,0	N-22	1.091,8	0,30	1.153,5	61,6
N-23	1.092,0	0,12	1.158,4	66,3	N-23	1.092,0	0,14	1.151,2	59,1
N-24	1.120,2	1,04	1.251,9	131,4	N-24	1.120,2	1,29	1.232,0	111,6
N-25	1.116,2	0,69	1.251,4	134,9	N-25	1.116,2	0,86	1.231,4	114,9
N-26	1.097,1	1,55	1.250,1	152,7	N-26	1.097,1	1,92	1.229,4	132,0
N-27	1.134,9	1,04	1.248,2	113,1	N-27	1.134,9	1,29	1.226,5	91,4
N-29	1.140,1	0,84	1.192,0	51,8	N-29	1.140,1	1,04	1.192,0	51,8
N-30	1.147,1	0,20	1.192,0	44,8	N-30	1.147,1	0,25	1.192,0	44,8
N-31	1.175,1	2,14	1.245,3	70,1	N-31	1.175,1	2,65	1.222,2	47,0
N-33	1.212,7	0,39	1.243,3	30,6	N-33	1.212,7	0,49	1.219,3	6,6
N-36	1.177,0	0,66	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	0,82	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,25	1.184,9	61,5	N-37	1.123,3	0,31	1.179,0	55,6
N-38	1.207,3	2,55	1.242,4	35,0	N-38	1.207,3	3,17	1.217,9	10,6
N-40	1.145,9	5,01	1.209,0	62,9	N-40	1.145,9	6,21	1.207,9	61,8
N-41	1.139,8	0,84	1.208,9	69,0	N-41	1.139,8	1,05	1.207,8	67,8
N-43	1.154,0	0,76	1.228,5	74,4	N-43	1.154,0	0,94	1.207,4	53,3
N-44	1.157,4	0,76	1.227,3	69,8	N-44	1.157,4	0,94	1.205,6	48,1
N-45	1.150,1	0,89	1.235,6	85,3	N-45	1.150,1	1,11	1.207,8	57,5
N-47	1.145,5	1,08	1.231,9	86,2	N-47	1.145,5	1,34	1.202,3	56,7
N-48	1.165,2	0,89	1.231,0	65,7	N-48	1.165,2	1,11	1.201,0	35,8
N-50	1.135,0	0,36	1.167,0	32,0	N-50	1.135,0	0,44	1.163,6	28,6
N-51	1.099,4	0,35	1.163,1	63,6	N-51	1.099,4	0,43	1.157,8	58,3

Tabla 15. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta A, largo plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	1,14	1.176,8	43,7	N-8	1.133,0	1,42	1.176,8	43,7
N-10	1.112,2	0,77	1.141,8	29,5	N-10	1.112,2	0,95	1.138,8	26,6
N-11	1.064,2	3,60	1.132,3	68,0	N-11	1.064,2	4,46	1.124,8	60,5
N-12	1.068,9	6,02	1.128,3	59,2	N-12	1.068,9	7,46	1.118,8	49,8
N-13	1.040,2	1,80	1.078,3	38,0	N-13	1.040,2	2,24	1.078,0	37,7
N-15	970,0	0,60	1.045,1	74,9	N-15	970,0	0,75	1.045,0	74,9
N-18	1.157,5	1,07	1.209,2	51,6	N-18	1.157,5	1,32	1.209,2	51,6
N-19	1.170,9	1,08	1.209,2	38,2	N-19	1.170,9	1,33	1.209,2	38,2
N-21	1.112,1	0,29	1.173,2	60,9	N-21	1.112,1	0,36	1.173,2	60,9
N-22	1.091,8	0,31	1.151,8	59,8	N-22	1.091,8	0,38	1.141,4	49,4
N-23	1.092,0	0,15	1.149,1	57,0	N-23	1.092,0	0,19	1.137,3	45,2
N-24	1.120,2	1,34	1.234,3	113,8	N-24	1.120,2	1,67	1.247,2	126,7
N-25	1.116,2	0,89	1.233,7	117,2	N-25	1.116,2	1,11	1.246,3	129,8
N-26	1.097,1	1,99	1.231,9	134,5	N-26	1.097,1	2,46	1.243,6	146,2
N-27	1.134,9	1,34	1.229,3	94,2	N-27	1.134,9	1,67	1.239,8	104,6
N-29	1.140,1	1,08	1.192,0	51,8	N-29	1.140,1	1,33	1.191,9	51,7
N-30	1.147,1	0,26	1.192,0	44,8	N-30	1.147,1	0,32	1.192,0	44,8
N-31	1.175,1	2,45	1.225,5	50,3	N-31	1.175,1	3,03	1.234,2	58,9
N-33	1.212,7	0,51	1.222,9	10,2	N-33	1.212,7	0,63	1.230,3	17,5
N-36	1.177,0	0,84	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	1,05	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,33	1.177,1	53,7	N-37	1.123,3	0,40	1.167,4	44,0
N-38	1.207,3	2,92	1.221,7	14,4	N-38	1.207,3	3,62	1.228,5	21,2
N-40	1.145,9	5,73	1.208,3	62,3	N-40	1.145,9	7,10	1.206,9	60,9
N-41	1.139,8	0,96	1.208,3	68,3	N-41	1.139,8	1,19	1.206,8	66,9
N-43	1.154,0	0,86	1.212,7	58,6	N-43	1.154,0	1,07	1.215,1	60,9
N-44	1.157,4	0,86	1.211,2	53,7	N-44	1.157,4	1,07	1.212,9	55,3
N-45	1.150,1	1,03	1.213,0	62,8	N-45	1.150,1	1,27	1.215,6	65,3
N-47	1.145,5	1,24	1.208,3	62,7	N-47	1.145,5	1,54	1.208,5	62,9
N-48	1.165,2	1,03	1.207,2	41,9	N-48	1.165,2	1,27	1.206,8	41,6
N-50	1.135,0	0,40	1.165,2	30,1	N-50	1.135,0	0,50	1.160,9	25,8
N-51	1.099,4	0,39	1.160,1	60,6	N-51	1.099,4	0,49	1.153,3	53,8

En la Figura 14, 15 y 16 se muestra un plano esquemático donde se ven reflejados los resultados de los parámetros hidráulicos de la red propuesta para el momento de máxima demanda a corto, mediano y largo plazo.

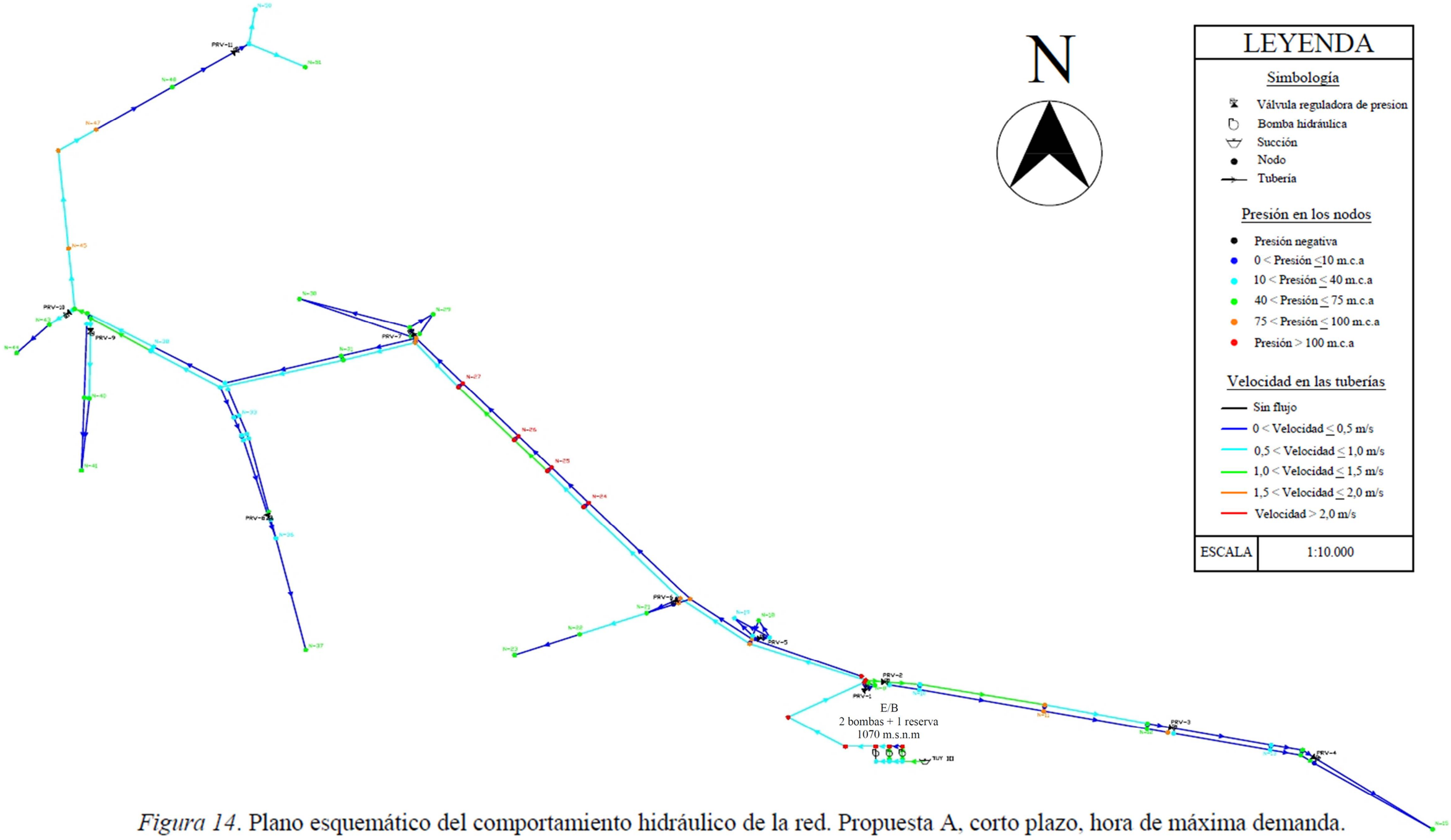


Figura 14. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta A, corto plazo, hora de máxima demanda.

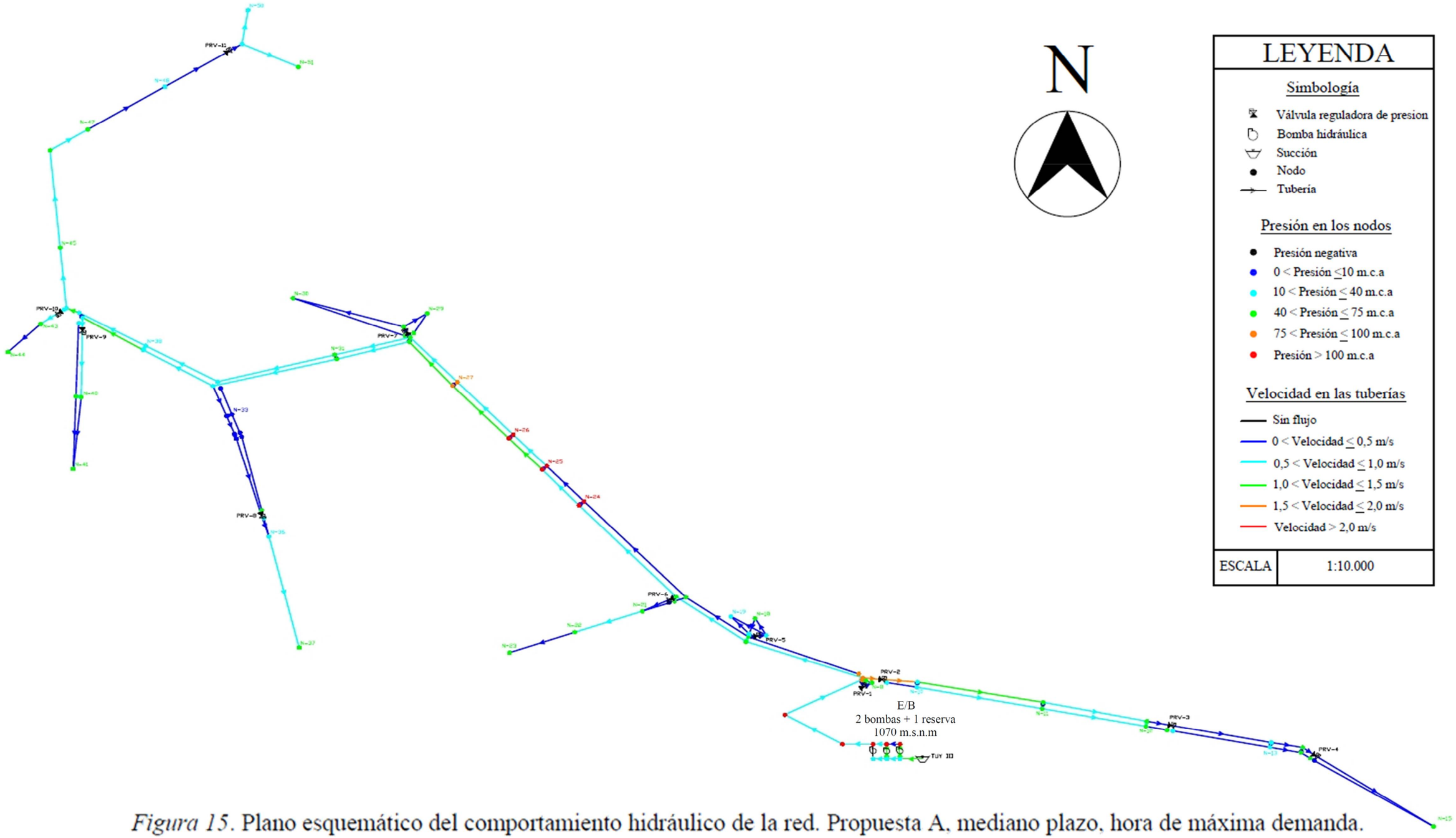


Figura 15. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta A, mediano plazo, hora de máxima demanda.

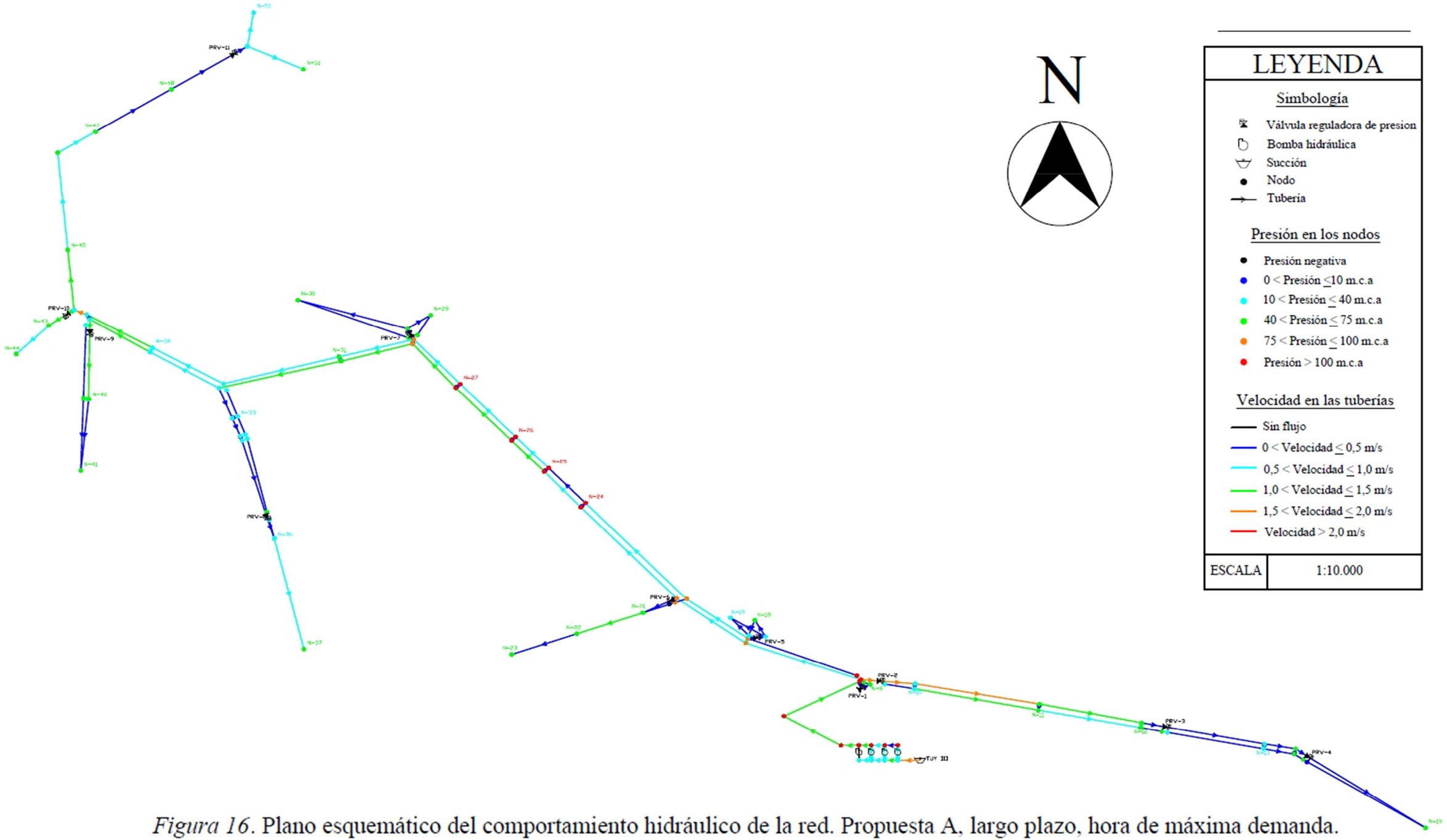


Figura 16. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta A, largo plazo, hora de máxima demanda.

VIII.4.2 Propuesta B

Tabla 16. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta B, corto plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	0,71	1.176,8	43,7	N-8	1.133,0	0,88	1.176,8	43,7
N-10	1.112,2	0,48	1.147,5	35,3	N-10	1.112,2	0,60	1.147,5	35,2
N-11	1.064,2	2,25	1.147,2	82,9	N-11	1.064,2	2,78	1.146,9	82,6
N-12	1.068,9	3,75	1.146,2	77,1	N-12	1.068,9	4,65	1.145,5	76,4
N-13	1.040,2	1,12	1.078,8	38,5	N-13	1.040,2	1,39	1.078,8	38,5
N-15	970,0	0,37	1.045,1	75,0	N-15	970,0	0,46	1.045,1	75,0
N-18	1.157,5	0,83	1.209,3	51,6	N-18	1.157,5	1,02	1.209,3	51,6
N-19	1.170,9	0,84	1.209,3	38,3	N-19	1.170,9	1,04	1.209,3	38,2
N-21	1.112,1	0,18	1.173,2	60,9	N-21	1.112,1	0,23	1.173,2	60,9
N-22	1.091,8	0,19	1.164,2	72,3	N-22	1.091,8	0,24	1.159,9	67,9
N-23	1.092,0	0,10	1.163,1	71,0	N-23	1.092,0	0,12	1.158,2	66,1
N-24	1.120,2	0,84	1.226,6	106,1	N-24	1.120,2	1,04	1.224,0	103,6
N-25	1.116,2	0,56	1.226,3	109,9	N-25	1.116,2	0,69	1.223,8	107,4
N-26	1.097,1	1,24	1.226,1	128,8	N-26	1.097,1	1,54	1.223,6	126,3
N-27	1.134,9	0,84	1.225,8	90,7	N-27	1.134,9	1,04	1.223,3	88,3
N-29	1.140,1	0,67	1.192,0	51,8	N-29	1.140,1	0,83	1.192,0	51,8
N-30	1.147,1	0,16	1.192,0	44,8	N-30	1.147,1	0,20	1.192,0	44,8
N-31	1.175,1	1,90	1.225,3	50,1	N-31	1.175,1	2,36	1.222,9	47,7
N-33	1.212,7	0,32	1.224,8	12,1	N-33	1.212,7	0,39	1.222,5	9,7
N-36	1.177,0	0,53	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	0,65	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,20	1.188,9	65,4	N-37	1.123,3	0,25	1.184,9	61,5
N-38	1.207,3	2,27	1.224,3	16,9	N-38	1.207,3	2,81	1.221,6	14,3
N-40	1.145,9	4,45	1.210,3	64,2	N-40	1.145,9	5,52	1.209,8	63,7
N-41	1.139,8	0,75	1.210,2	70,3	N-41	1.139,8	0,93	1.209,8	69,8
N-43	1.154,0	0,67	1.220,6	66,5	N-43	1.154,0	0,83	1.216,2	62,1
N-44	1.157,4	0,67	1.219,7	62,2	N-44	1.157,4	0,83	1.214,8	57,3
N-45	1.150,1	0,80	1.220,8	70,6	N-45	1.150,1	0,99	1.216,5	66,3
N-47	1.145,5	0,96	1.217,9	72,2	N-47	1.145,5	1,19	1.212,1	66,5
N-48	1.165,2	0,80	1.217,2	51,9	N-48	1.165,2	0,99	1.211,1	45,8
N-50	1.135,0	0,32	1.168,4	33,3	N-50	1.135,0	0,39	1.165,6	30,6
N-51	1.099,4	0,31	1.165,2	65,7	N-51	1.099,4	0,38	1.160,9	61,4

Tabla 17. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta B, mediano plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	0,88	1.176,8	43,7	N-8	1.133,0	1,09	1.176,8	43,7
N-10	1.112,2	0,60	1.147,2	34,9	N-10	1.112,2	0,74	1.147,0	34,7
N-11	1.064,2	2,80	1.146,2	81,9	N-11	1.064,2	3,47	1.145,5	81,2
N-12	1.068,9	4,68	1.143,7	74,6	N-12	1.068,9	5,80	1.141,7	72,7
N-13	1.040,2	1,40	1.078,6	38,3	N-13	1.040,2	1,74	1.078,4	38,1
N-15	970,0	0,47	1.045,1	74,9	N-15	970,0	0,58	1.045,1	74,9
N-18	1.157,5	0,93	1.209,3	51,6	N-18	1.157,5	1,15	1.209,2	51,6
N-19	1.170,9	0,94	1.209,2	38,2	N-19	1.170,9	1,17	1.209,2	38,2
N-21	1.112,1	0,23	1.173,2	60,9	N-21	1.112,1	0,29	1.173,2	60,9
N-22	1.091,8	0,24	1.160,0	68,0	N-22	1.091,8	0,30	1.153,5	61,6
N-23	1.092,0	0,12	1.158,4	66,3	N-23	1.092,0	0,14	1.151,2	59,1
N-24	1.120,2	1,04	1.230,7	110,3	N-24	1.120,2	1,29	1.222,2	101,8
N-25	1.116,2	0,69	1.229,9	113,5	N-25	1.116,2	0,86	1.222,4	105,9
N-26	1.097,1	1,55	1.229,2	131,9	N-26	1.097,1	1,92	1.222,5	125,1
N-27	1.134,9	1,04	1.228,2	93,1	N-27	1.134,9	1,29	1.222,7	87,6
N-29	1.140,1	0,84	1.192,0	51,8	N-29	1.140,1	1,04	1.192,0	51,8
N-30	1.147,1	0,20	1.192,0	44,8	N-30	1.147,1	0,25	1.192,0	44,8
N-31	1.175,1	2,14	1.226,4	51,2	N-31	1.175,1	2,65	1.223,2	47,9
N-33	1.212,7	0,39	1.224,7	12,0	N-33	1.212,7	0,49	1.223,4	10,7
N-36	1.177,0	0,66	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	0,82	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,25	1.184,9	61,5	N-37	1.123,3	0,31	1.179,0	55,6
N-38	1.207,3	2,55	1.223,4	16,1	N-38	1.207,3	3,17	1.221,5	14,2
N-40	1.145,9	5,01	1.209,0	62,9	N-40	1.145,9	6,21	1.207,9	61,8
N-41	1.139,8	0,84	1.208,9	69,0	N-41	1.139,8	1,05	1.207,8	67,8
N-43	1.154,0	0,76	1.218,6	64,5	N-43	1.154,0	0,94	1.214,4	60,3
N-44	1.157,4	0,76	1.217,5	60,0	N-44	1.157,4	0,94	1.212,7	55,1
N-45	1.150,1	0,89	1.218,9	68,6	N-45	1.150,1	1,11	1.214,8	64,6
N-47	1.145,5	1,08	1.215,2	69,6	N-47	1.145,5	1,34	1.209,3	63,7
N-48	1.165,2	0,89	1.214,4	49,1	N-48	1.165,2	1,11	1.208,0	42,8
N-50	1.135,0	0,36	1.167,0	32,0	N-50	1.135,0	0,44	1.163,6	28,6
N-51	1.099,4	0,35	1.163,1	63,6	N-51	1.099,4	0,43	1.157,8	58,3

Tabla 18. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta B, largo plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	1,14	1.176,8	43,7	N-8	1.133,0	1,42	1.176,8	43,7
N-10	1.112,2	0,77	1.146,9	34,6	N-10	1.112,2	0,95	1.146,5	34,2
N-11	1.064,2	3,60	1.145,3	81,0	N-11	1.064,2	4,46	1.144,2	79,9
N-12	1.068,9	6,02	1.141,3	72,2	N-12	1.068,9	7,46	1.138,2	69,1
N-13	1.040,2	1,80	1.078,3	38,0	N-13	1.040,2	2,24	1.078,0	37,7
N-15	970,0	0,60	1.045,1	74,9	N-15	970,0	0,75	1.045,0	74,9
N-18	1.157,5	1,07	1.209,2	51,6	N-18	1.157,5	1,32	1.209,2	51,6
N-19	1.170,9	1,08	1.209,2	38,2	N-19	1.170,9	1,33	1.209,2	38,2
N-21	1.112,1	0,29	1.173,2	60,9	N-21	1.112,1	0,36	1.173,2	60,9
N-22	1.091,8	0,31	1.151,8	59,8	N-22	1.091,8	0,38	1.141,4	49,4
N-23	1.092,0	0,15	1.149,1	57,0	N-23	1.092,0	0,19	1.137,3	45,2
N-24	1.120,2	1,34	1.229,8	109,4	N-24	1.120,2	1,67	1.228,5	108,0
N-25	1.116,2	0,89	1.229,1	112,7	N-25	1.116,2	1,11	1.227,9	111,4
N-26	1.097,1	1,99	1.228,5	131,2	N-26	1.097,1	2,46	1.227,3	130,0
N-27	1.134,9	1,34	1.227,6	92,5	N-27	1.134,9	1,67	1.226,5	91,5
N-29	1.140,1	1,08	1.192,0	51,8	N-29	1.140,1	1,33	1.191,9	51,7
N-30	1.147,1	0,26	1.192,0	44,8	N-30	1.147,1	0,32	1.192,0	44,8
N-31	1.175,1	2,45	1.226,1	50,9	N-31	1.175,1	3,03	1.225,3	50,1
N-33	1.212,7	0,51	1.224,6	11,9	N-33	1.212,7	0,63	1.224,0	11,3
N-36	1.177,0	0,84	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	1,05	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,33	1.177,1	53,7	N-37	1.123,3	0,40	1.167,4	44,0
N-38	1.207,3	2,92	1.223,0	15,7	N-38	1.207,3	3,62	1.221,6	14,2
N-40	1.145,9	5,73	1.208,3	62,3	N-40	1.145,9	7,10	1.206,9	60,9
N-41	1.139,8	0,96	1.208,3	68,3	N-41	1.139,8	1,19	1.206,8	66,9
N-43	1.154,0	0,86	1.216,9	62,8	N-43	1.154,0	1,07	1.212,5	58,4
N-44	1.157,4	0,86	1.215,4	57,9	N-44	1.157,4	1,07	1.210,3	52,8
N-45	1.150,1	1,03	1.217,2	67,0	N-45	1.150,1	1,27	1.213,0	62,7
N-47	1.145,5	1,24	1.212,5	66,9	N-47	1.145,5	1,54	1.205,9	60,3
N-48	1.165,2	1,03	1.211,4	46,1	N-48	1.165,2	1,27	1.204,3	39,0
N-50	1.135,0	0,40	1.165,2	30,1	N-50	1.135,0	0,50	1.160,9	25,8
N-51	1.099,4	0,39	1.160,1	60,6	N-51	1.099,4	0,49	1.153,3	53,8

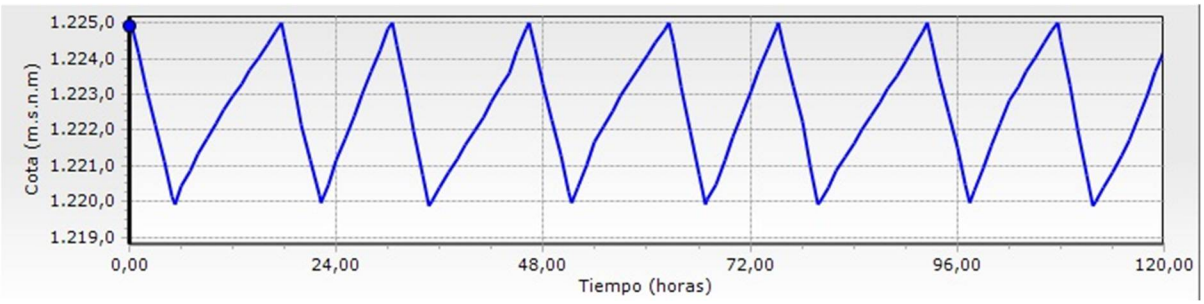


Gráfico 6. *Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta B, corto plazo.*

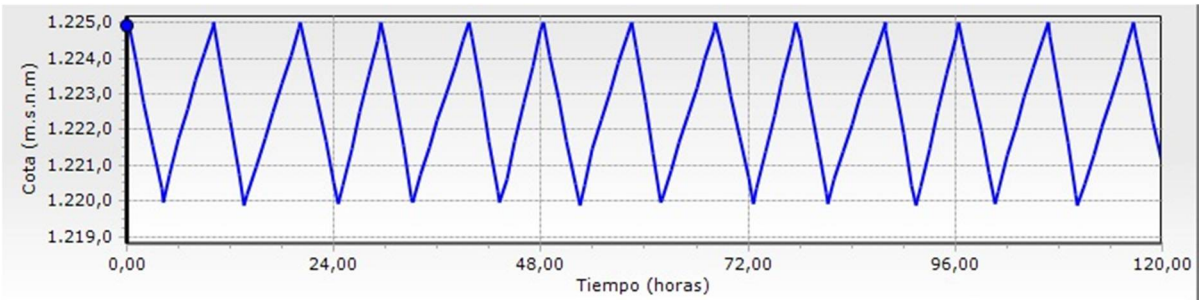


Gráfico 7. *Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta B, mediano plazo.*

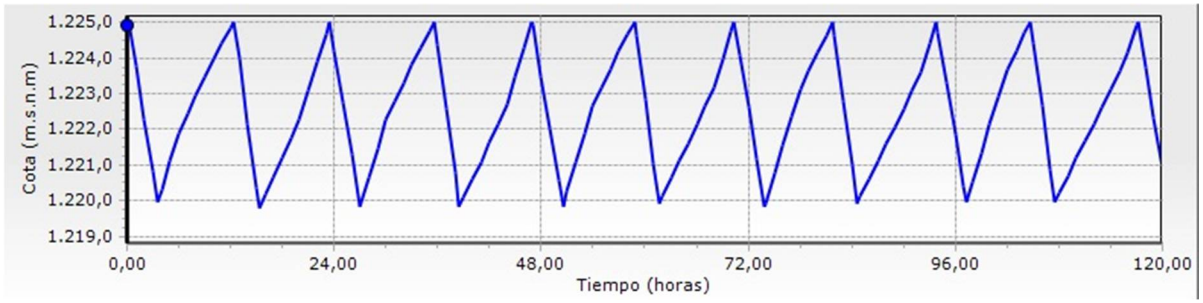


Gráfico 8. *Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta B, largo plazo.*

En la Figura 17, 18 y 19 se muestra un plano esquemático donde se ven reflejados los resultados de los parámetros hidráulicos de la red propuesta para el momento de máxima demanda a corto, mediano y largo plazo.

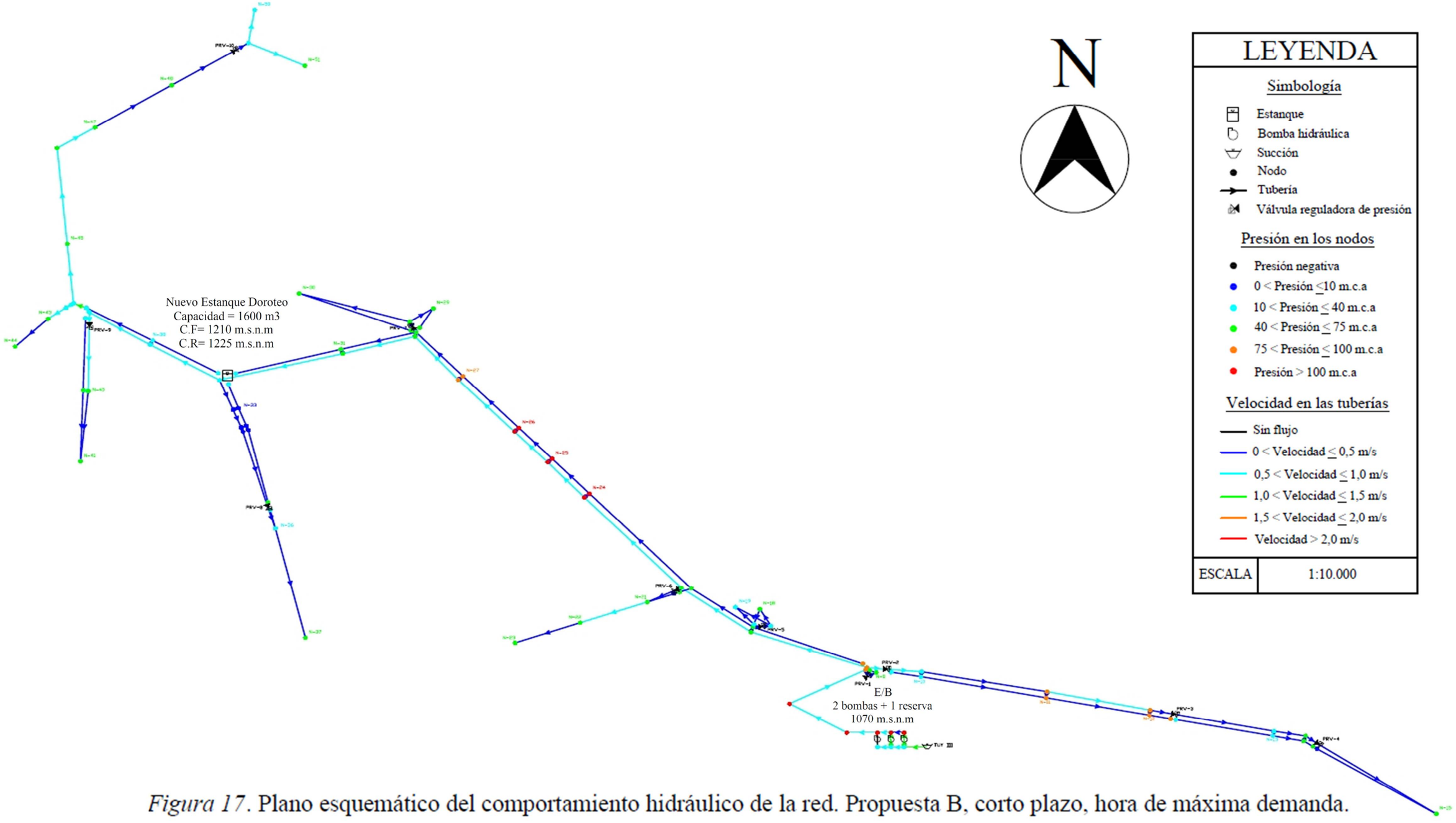


Figura 17. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta B, corto plazo, hora de máxima demanda.

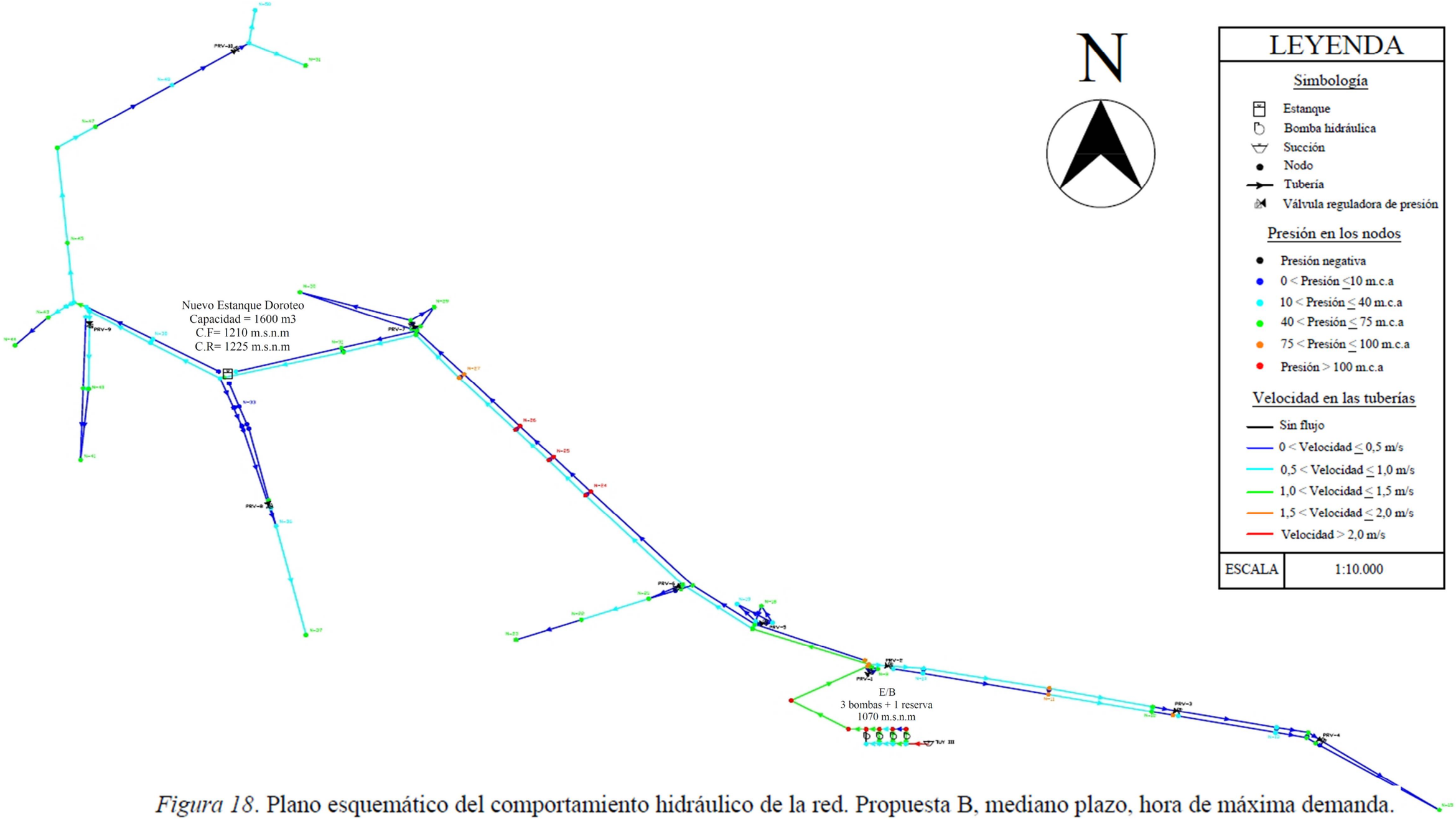


Figura 18. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta B, mediano plazo, hora de máxima demanda.

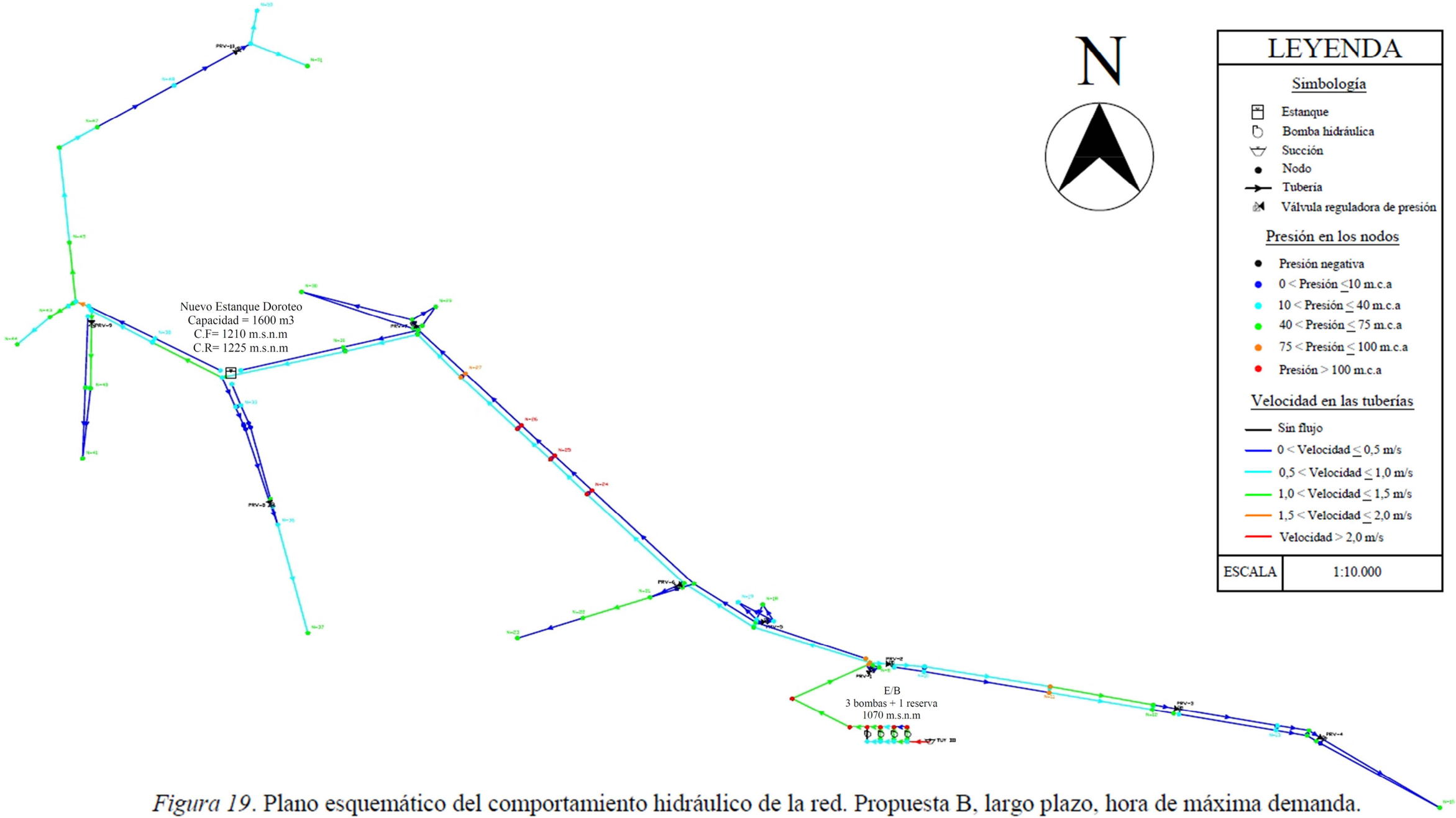


Figura 19. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta B, largo plazo, hora de máxima demanda.

VIII.4.2 Propuesta C

Tabla 19. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta C, corto plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	0,71	1.177,9	44,8	N-8	1.133,0	0,88	1.173,4	40,3
N-10	1.112,2	0,48	1.147,5	35,3	N-10	1.112,2	0,60	1.147,5	35,2
N-11	1.064,2	2,25	1.099,3	35,1	N-11	1.064,2	2,78	1.099,3	35,1
N-12	1.068,9	3,75	1.099,2	30,2	N-12	1.068,9	4,65	1.099,1	30,1
N-13	1.040,2	1,12	1.099,1	58,7	N-13	1.040,2	1,39	1.098,9	58,6
N-15	970,0	0,37	1.045,1	75,0	N-15	970,0	0,46	1.045,1	75,0
N-18	1.157,5	0,83	1.185,4	27,8	N-18	1.157,5	1,02	1.184,7	27,1
N-19	1.170,9	0,84	1.185,4	14,5	N-19	1.170,9	1,04	1.184,7	13,7
N-21	1.112,1	0,18	1.171,4	59,1	N-21	1.112,1	0,23	1.163,7	51,5
N-22	1.091,8	0,19	1.162,4	70,4	N-22	1.091,8	0,24	1.150,4	58,4
N-23	1.092,0	0,10	1.161,3	69,1	N-23	1.092,0	0,12	1.148,7	56,6
N-24	1.120,2	0,84	1.186,5	66,2	N-24	1.120,2	1,04	1.186,3	65,9
N-25	1.116,2	0,56	1.186,6	70,2	N-25	1.116,2	0,69	1.186,4	70,0
N-26	1.097,1	1,24	1.186,7	89,4	N-26	1.097,1	1,54	1.186,5	89,2
N-27	1.134,9	0,84	1.186,8	51,8	N-27	1.134,9	1,04	1.186,8	51,8
N-29	1.140,1	0,67	1.205,0	64,8	N-29	1.140,1	0,83	1.192,8	52,6
N-30	1.147,1	0,16	1.218,7	71,5	N-30	1.147,1	0,20	1.213,2	65,9
N-31	1.175,1	1,90	1.224,4	49,2	N-31	1.175,1	2,36	1.221,6	46,4
N-33	1.212,7	0,32	1.224,8	12,1	N-33	1.212,7	0,39	1.222,3	9,5
N-36	1.177,0	0,53	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	0,65	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,20	1.188,9	65,4	N-37	1.123,3	0,25	1.184,9	61,5
N-38	1.207,3	2,27	1.224,3	16,9	N-38	1.207,3	2,81	1.221,5	14,1
N-40	1.145,9	4,45	1.210,3	64,2	N-40	1.145,9	5,52	1.209,8	63,7
N-41	1.139,8	0,75	1.210,2	70,3	N-41	1.139,8	0,93	1.209,8	69,8
N-43	1.154,0	0,67	1.219,6	65,5	N-43	1.154,0	0,83	1.214,5	60,4
N-44	1.157,4	0,67	1.218,7	61,2	N-44	1.157,4	0,83	1.213,1	55,6
N-45	1.150,1	0,80	1.219,7	69,4	N-45	1.150,1	0,99	1.214,6	64,3
N-47	1.145,5	0,96	1.216,7	71,1	N-47	1.145,5	1,19	1.210,1	64,6
N-48	1.165,2	0,80	1.216,0	50,7	N-48	1.165,2	0,99	1.209,1	43,9
N-50	1.135,0	0,32	1.168,4	33,3	N-50	1.135,0	0,39	1.165,6	30,6
N-51	1.099,4	0,31	1.165,2	65,7	N-51	1.099,4	0,38	1.160,9	61,4

Tabla 20. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta C, mediano plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	0,88	1.181,6	48,5	N-8	1.133,0	1,09	1.179,0	45,9
N-10	1.112,2	0,60	1.147,2	34,9	N-10	1.112,2	0,74	1.147,0	34,7
N-11	1.064,2	2,80	1.099,3	35,0	N-11	1.064,2	3,47	1.099,2	35,0
N-12	1.068,9	4,68	1.098,8	29,8	N-12	1.068,9	5,80	1.098,6	29,6
N-13	1.040,2	1,40	1.098,5	58,2	N-13	1.040,2	1,74	1.098,1	57,8
N-15	970,0	0,47	1.045,1	74,9	N-15	970,0	0,58	1.045,1	74,9
N-18	1.157,5	0,93	1.183,0	25,4	N-18	1.157,5	1,15	1.181,1	23,5
N-19	1.170,9	0,94	1.183,0	12,0	N-19	1.170,9	1,17	1.181,0	10,1
N-21	1.112,1	0,23	1.162,3	50,0	N-21	1.112,1	0,29	1.150,2	38,0
N-22	1.091,8	0,24	1.149,1	57,1	N-22	1.091,8	0,30	1.130,5	38,6
N-23	1.092,0	0,12	1.147,5	55,4	N-23	1.092,0	0,14	1.128,2	36,1
N-24	1.120,2	1,04	1.185,7	65,4	N-24	1.120,2	1,29	1.185,1	64,7
N-25	1.116,2	0,69	1.185,9	69,6	N-25	1.116,2	0,86	1.185,4	69,0
N-26	1.097,1	1,55	1.186,1	88,9	N-26	1.097,1	1,92	1.185,7	88,4
N-27	1.134,9	1,04	1.186,6	51,6	N-27	1.134,9	1,29	1.186,4	51,4
N-29	1.140,1	0,84	1.223,0	82,8	N-29	1.140,1	1,04	1.221,8	81,5
N-30	1.147,1	0,20	1.215,0	67,7	N-30	1.147,1	0,25	1.209,7	62,5
N-31	1.175,1	2,14	1.223,5	48,3	N-31	1.175,1	2,65	1.222,5	47,3
N-33	1.212,7	0,39	1.224,7	12,0	N-33	1.212,7	0,49	1.224,2	11,5
N-36	1.177,0	0,66	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	0,82	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,25	1.184,9	61,5	N-37	1.123,3	0,31	1.179,0	55,6
N-38	1.207,3	2,55	1.223,5	16,1	N-38	1.207,3	3,17	1.222,4	15,0
N-40	1.145,9	5,01	1.209,0	62,9	N-40	1.145,9	6,21	1.207,9	61,8
N-41	1.139,8	0,84	1.208,9	69,0	N-41	1.139,8	1,05	1.207,8	67,8
N-43	1.154,0	0,76	1.216,6	62,5	N-43	1.154,0	0,94	1.212,2	58,1
N-44	1.157,4	0,76	1.215,4	57,9	N-44	1.157,4	0,94	1.210,5	53,0
N-45	1.150,1	0,89	1.216,7	66,4	N-45	1.150,1	1,11	1.212,3	62,0
N-47	1.145,5	1,08	1.212,9	67,3	N-47	1.145,5	1,34	1.206,8	61,2
N-48	1.165,2	0,89	1.212,1	46,8	N-48	1.165,2	1,11	1.205,5	40,3
N-50	1.135,0	0,36	1.167,0	32,0	N-50	1.135,0	0,44	1.163,6	28,6
N-51	1.099,4	0,35	1.163,1	63,6	N-51	1.099,4	0,43	1.157,8	58,3

Tabla 21. *Nodos de demanda, en horas de máxima y mínima demanda. Propuesta C, largo plazo.*

MÍNIMA DEMANDA					MÁXIMA DEMANDA				
Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)	Nodo	Cota (msnm)	Demanda (L/s)	Altura Piezométrica (m)	Presión (mca)
N-8	1.133,0	1,14	1.178,6	45,5	N-8	1.133,0	1,42	1.174,6	41,5
N-10	1.112,2	0,77	1.146,9	34,6	N-10	1.112,2	0,95	1.146,5	34,2
N-11	1.064,2	3,60	1.099,2	35,0	N-11	1.064,2	4,46	1.099,1	34,9
N-12	1.068,9	6,02	1.098,5	29,5	N-12	1.068,9	7,46	1.098,1	29,1
N-13	1.040,2	1,80	1.098,0	57,7	N-13	1.040,2	2,24	1.097,4	57,1
N-15	970,0	0,60	1.045,1	74,9	N-15	970,0	0,75	1.045,0	74,9
N-18	1.157,5	1,07	1.180,8	23,2	N-18	1.157,5	1,32	1.177,8	20,2
N-19	1.170,9	1,08	1.180,8	9,8	N-19	1.170,9	1,33	1.177,8	6,8
N-21	1.112,1	0,29	1.148,1	35,9	N-21	1.112,1	0,36	1.129,1	16,9
N-22	1.091,8	0,31	1.126,7	34,8	N-22	1.091,8	0,38	1.097,3	5,4
N-23	1.092,0	0,15	1.124,0	32,0	N-23	1.092,0	0,19	1.093,2	1,3
N-24	1.120,2	1,34	1.185,0	64,7	N-24	1.120,2	1,67	1.184,0	63,7
N-25	1.116,2	0,89	1.185,3	69,0	N-25	1.116,2	1,11	1.184,5	68,2
N-26	1.097,1	1,99	1.185,7	88,4	N-26	1.097,1	2,46	1.185,0	87,7
N-27	1.134,9	1,34	1.186,3	51,3	N-27	1.134,9	1,67	1.186,0	51,0
N-29	1.140,1	1,08	1.222,1	81,8	N-29	1.140,1	1,33	1.218,9	78,7
N-30	1.147,1	0,26	1.209,2	62,0	N-30	1.147,1	0,32	1.199,8	52,5
N-31	1.175,1	2,45	1.222,9	47,7	N-31	1.175,1	3,03	1.220,1	44,9
N-33	1.212,7	0,51	1.224,6	11,9	N-33	1.212,7	0,63	1.222,6	9,9
N-36	1.177,0	0,84	1.197,0	20,0	N-36	1.177,0	1,05	1.197,0	20,0
N-37	1.123,3	0,33	1.177,1	53,7	N-37	1.123,3	0,40	1.167,4	44,0
N-38	1.207,3	2,92	1.222,9	15,6	N-38	1.207,3	3,62	1.220,1	12,8
N-40	1.145,9	5,73	1.208,3	62,3	N-40	1.145,9	7,10	1.206,9	60,9
N-41	1.139,8	0,96	1.208,3	68,3	N-41	1.139,8	1,19	1.206,8	66,9
N-43	1.154,0	0,86	1.214,2	60,0	N-43	1.154,0	1,07	1.207,1	53,0
N-44	1.157,4	0,86	1.212,7	55,2	N-44	1.157,4	1,07	1.204,9	47,4
N-45	1.150,1	1,03	1.214,2	64,0	N-45	1.150,1	1,27	1.207,2	56,9
N-47	1.145,5	1,24	1.209,4	63,9	N-47	1.145,5	1,54	1.200,1	54,5
N-48	1.165,2	1,03	1.208,4	43,1	N-48	1.165,2	1,27	1.198,5	33,2
N-50	1.135,0	0,40	1.165,2	30,1	N-50	1.135,0	0,50	1.160,9	25,8
N-51	1.099,4	0,39	1.160,1	60,6	N-51	1.099,4	0,49	1.153,3	53,8

Gráfico 9. *Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta C, corto plazo.*

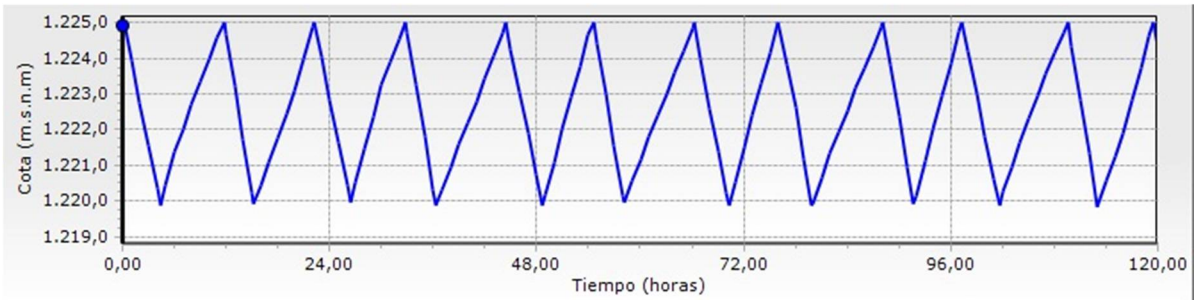


Gráfico 10. *Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta C, mediano plazo.*

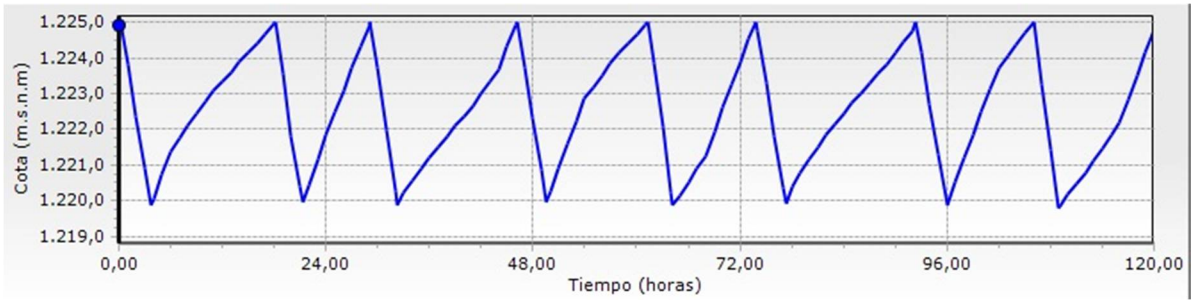


Gráfico 11. *Variación del nivel de agua del nuevo Estanque Doroteo. Propuesta C, largo plazo.*

En la Figura 20, 21 y 22 se muestra un plano esquemático donde se ven reflejados los resultados de los parámetros hidráulicos de la red propuesta para el momento de máxima demanda a corto, mediano y largo plazo.

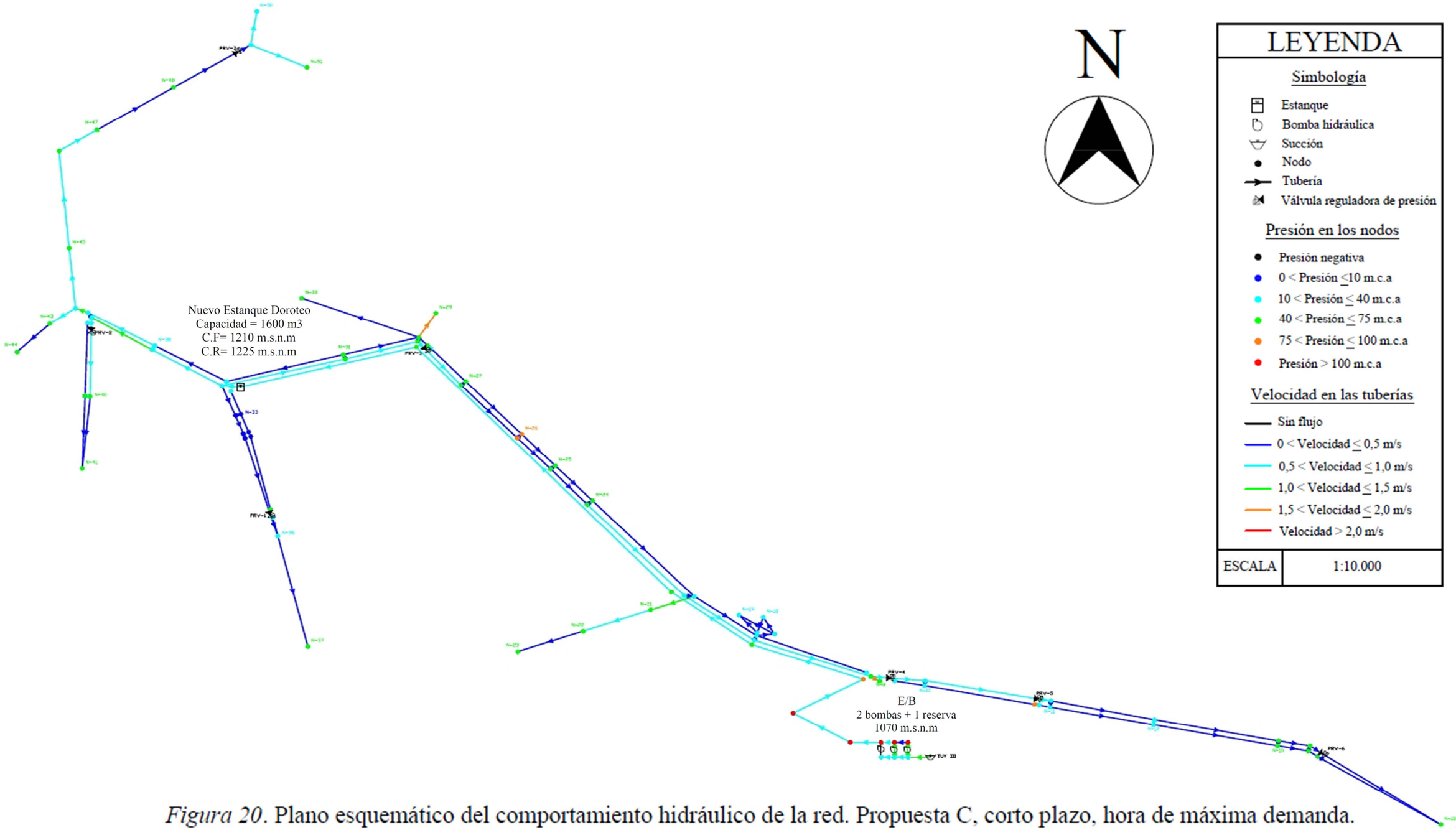


Figura 20. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta C, corto plazo, hora de máxima demanda.

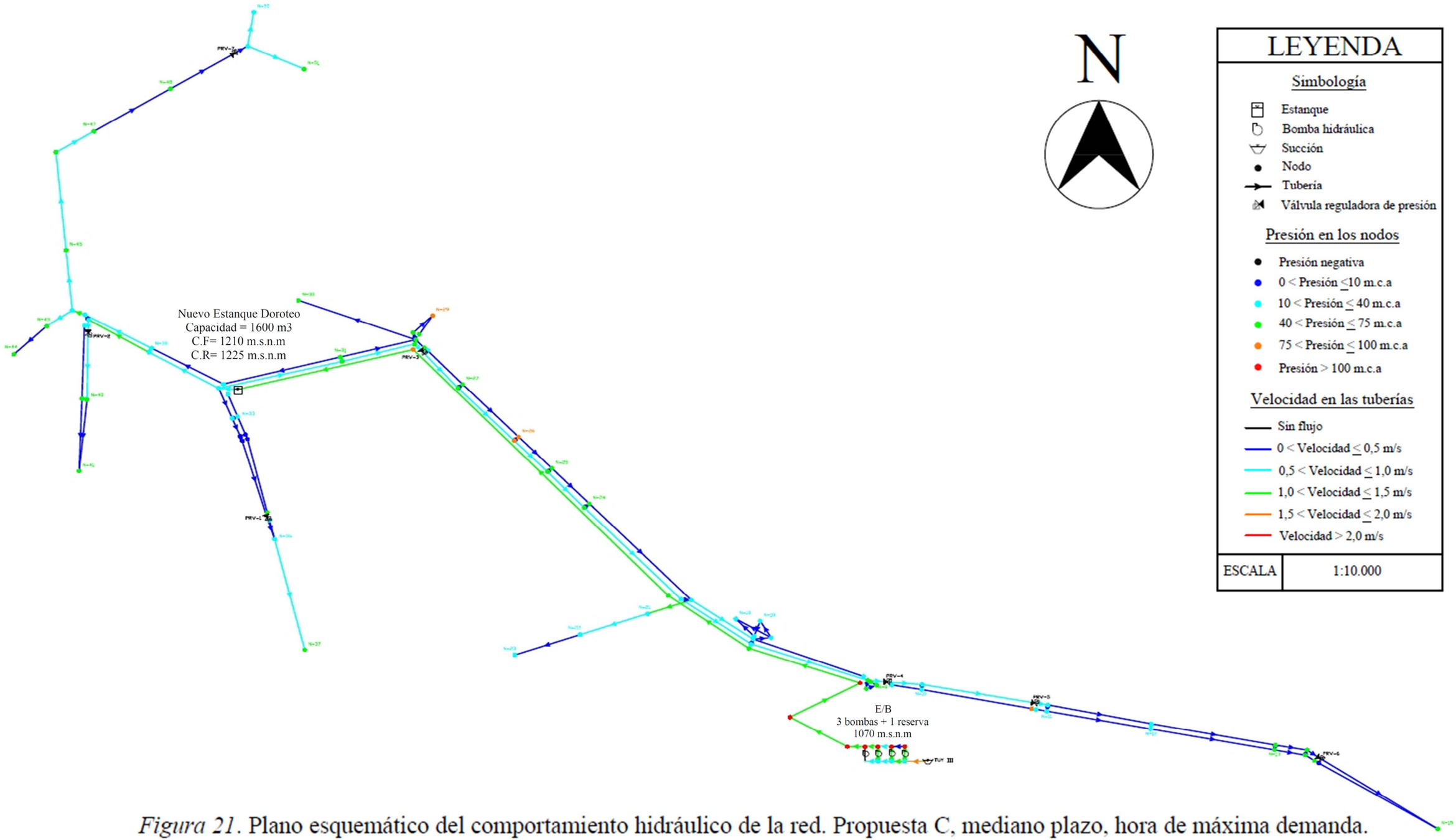


Figura 21. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta C, mediano plazo, hora de máxima demanda.

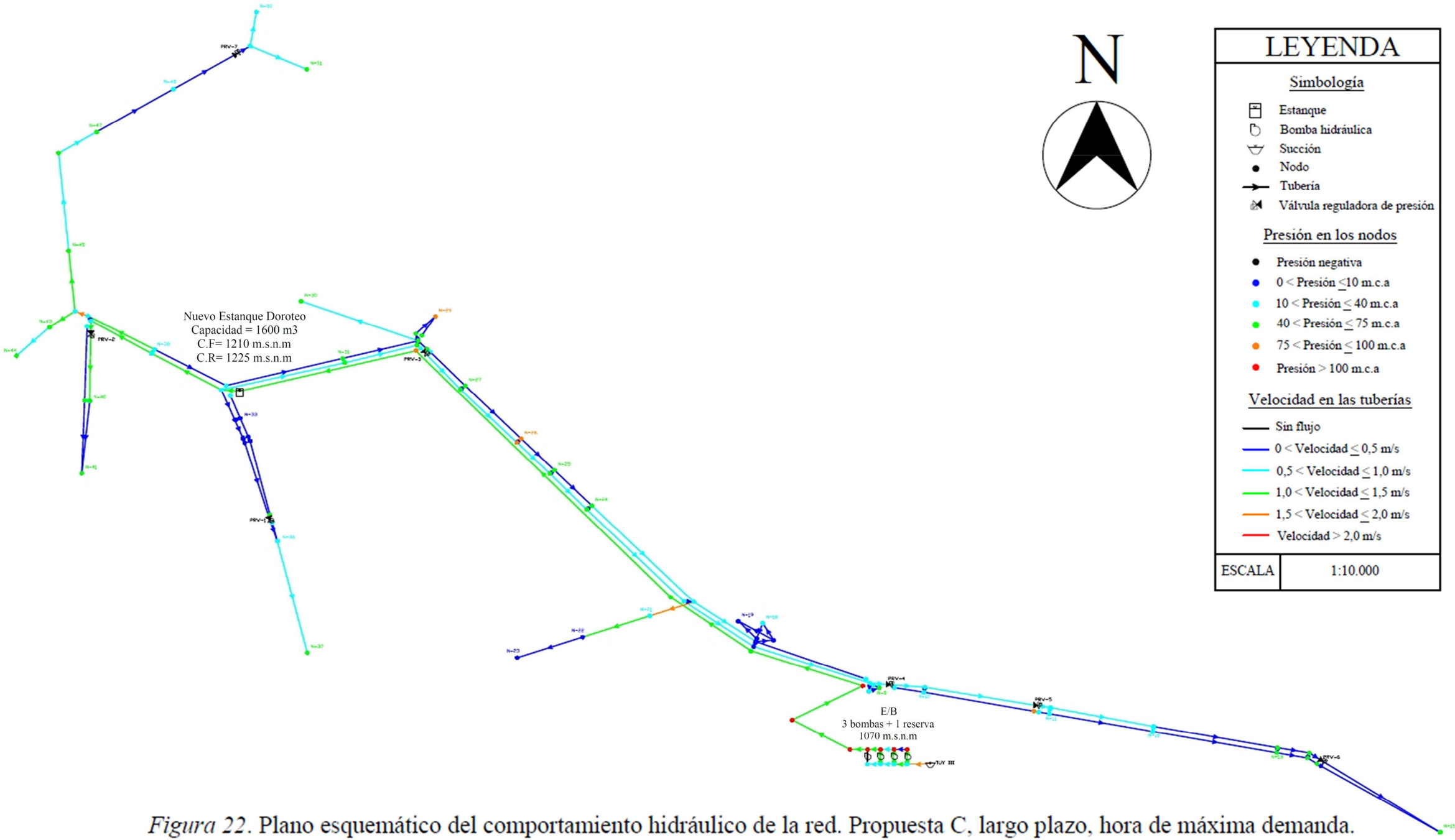


Figura 22. Plano esquemático del comportamiento hidráulico de la red. Propuesta C, largo plazo, hora de máxima demanda.

IX. CONCLUSIONES

- La red actual presenta gran vulnerabilidad por la propia configuración geométrica de la misma, al ser una red ramificada, así como por su operación al presentar bombeo contra la red sin estanque compensador.
- Debido al abastecimiento por bombeo contra la red sin estanque compensador, la operación del sistema se hace complicada y requiere de mucho mantenimiento.
- La red de distribución actual, no cuenta con la capacidad de conducción necesaria para satisfacer la demanda asociada al sector.
- Como está operando actualmente la E/B Lomas de Baruta, con un solo grupo de bombeo en operación, no es posible bombear todo el caudal demandado y a su vez vencer los desniveles estáticos entre los puntos altos de la red y la estación.
- La bomba operativa tipo KSB WKL 80/7-220mm-1750rpm, de la E/B Lomas de Baruta, trabaja con baja eficiencia, bastante alejada de su punto de operación óptima, lo que implica altos costos de energía.
- Actualmente, aproximadamente el 50% de la población del sector no recibe servicio de agua potable por parte de la red de distribución existente, y el otro 50% que si cuenta con servicio, solo recibe el 30% de lo que demandan.
- El 80% de la demanda se encuentra en los niveles de servicio 5, 6 y 7. Por tanto se justifica la existencia y ubicación de la E/B Lomas de Baruta (cota 1070 m.s.n.m), de tal forma que la misma abastezca a la mayor parte de los usuarios, los cuales se encuentran en cotas superiores a la E/B.
- La propuesta A: Bombeo contra la red sin estanque compensador, se considera la más económica como inversión inicial, pero hidráulicamente no recomendada. Esta alternativa presenta condiciones hidráulicas similares a las otras propuestas pero sin estanque compensador. La desventaja radica en la carencia de almacenamiento de agua para casos de emergencia o falla de la E/B, así como también la responsabilidad de los grupos de bombeo en amortiguar los picos de demanda.

- La propuesta B: Bombeo a través de la red con estanque compensador, se considera la más indicada desde el punto de vista técnico-económico, ya que da solución efectiva a los problemas presentados en la red actual, permitiendo la conducción de caudal con bajas pérdidas de energía, manteniendo los valores de velocidad menores 1,52 m/s y presiones dentro de los límites de red, además de la existencia de un estanque compensador, el cual amortigua las variaciones horarias del consumo con el objeto de hacer trabajar a la E/B de manera más eficiente.
- La propuesta C: Bombeo contra estanque distribuidor y abastecimiento por gravedad, se considera la más indicada desde el punto de vista hidráulico, ya que hidráulicamente mantiene el punto de operación óptimo de los grupos de bombeo, contempla un estanque distribuidor que cumple la función de estanque compensador al amortiguar los picos de demanda. La desventaja que presenta es que en este tipo de sectores es muy difícil mantener la línea de impulsión sin conexiones domiciliarias, por tanto la misma tiende a perder las características de línea de impulsión y el comportamiento del sistema pasa a ser más similar al de una red con estanque compensador. Adicionalmente representa una inversión inicial mayor por tener una línea de impulsión, adicional a la tubería de distribución.
- Las propuestas que contemplan la implementación de estanques, se consideran poco factibles desde el punto de vista constructivo, debido a la topografía del sitio de estudio, caracterizada por presentar un relieve montañoso, lo cual hace de la misma una zona de difícil acceso de vehículos pesados, aunado al poco espacio disponible para nuevas infraestructuras.
- Se considera poco factible abastecer directamente de la succión al sector Dos Kilómetros, ubicado parcialmente en cotas inferiores a la E/B, debido a las condiciones topográficas existentes entre la tubería de succión y dicho sector.

X. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis técnico-económico de las alternativas conceptuales propuestas, así como un estudio de factibilidad constructiva de las mismas, de los cuales derive en la solución más adecuada.
- Las dimensiones resultantes de la etapa de ingeniería básica, no pretenden ser definitivas y se recomienda un estudio posterior detallado, para definir con exactitud estos valores.
- Adquirir los terrenos en el lugar establecido para la ubicación del estanque, para su posterior construcción, en caso de ser seleccionada esta alternativa.
- Como material de las nuevas tuberías, además de considerar el acero, se sugiere PEAD de alta presión, el cual debe ir enterrado, presenta un menor envejecimiento ya que no se corroe, su rugosidad se mantiene a lo largo del tiempo y no requiere de sistema de protección catódica.
- En la propuesta A y B, en los sectores La Capilla, Campamento, y La Canoa, se recomienda colocar tomas múltiples con un sistema de regulación de presión, con el objeto de disminuir las presiones a valores admisibles, sin afectar la línea principal de distribución. La configuración de estas tomas múltiples dependerán del levantamiento realizado durante la construcción de las obras de mejora.
- Cambiar la geometría de los grupos de bombeo presentes en la E/B, modificando el ángulo que forman los múltiples de descarga con respecto a la tubería de descarga, de 90° a 60°, de manera tal de disminuir las perdidas localizadas generadas por el abrupto cambio de dirección del agua.
- Los grupos de bombeo en la E/B deben ser de iguales características para su fácil operación y garantizar la alternabilidad de los equipos.
- Los grupos de bombeo deben trabajar cercanos a su punto de operación óptimo, de manera tal de reducir los gastos de energía, operación y mantenimiento, logrando obtener un funcionamiento más eficiente.

- Colocar hidrantes en los sitios donde se presente alta densidad poblacional, para considerar la condición de incendio en este tipo de sectores.
- Las redes de distribución de agua potable no deben contar con planes de regulación, ya que su objetivo es el presentar un servicio continuo para satisfacer las necesidades de los usuarios.
- Creación de un plan de inversión, con el objeto de distribuir la construcción de la infraestructura necesaria, a lo largo del horizonte de diseño, de forma tal que la inversión vaya acorde al crecimiento de la demanda.
- El uso del software WaterCAD v8i, se recomienda para el diagnóstico y diseño de redes de distribución en este tipo de sectores, ya que facilita la simulación hidráulica de los escenarios de funcionamiento actual y futuro.
- Limitar el uso del software EPANET 2.0 a redes de distribución menos complejas, o para el uso didáctico exclusivamente, por carecer de herramientas útiles a la hora de realizar la modelación hidráulica y contar con una interfaz no actualizada para la fecha.
- Se recomienda la aplicación del método de estimación de población usado en este trabajo, en desarrollos no controlados de características similares.
- La implementación de la curva de variación horaria del consumo determinada por HIDROCAPITAL, BIWATER & M.G.A, para el diagnóstico y diseño de redes de distribución de agua potable en desarrollos no controlados. Esta representa en buena forma el comportamiento del consumo por parte de la población en este tipo de sectores, de manera tal de no incurrir en un diseño conservador de la red y sus componentes.
- Extender el programa de mediciones de HIDROCAPITAL a más sectores de la ciudad y con mayor regularidad, de tal forma de disponer de información más precisa que sirva para un mejor análisis y diseño de las redes de distribución.

- El diseño de acueductos en este tipo de sectores debe estar orientado para un horizonte de máximo 15 años, debido a que es difícil predecir el crecimiento en este tipo de sectores por su condición de desarrollo no controlado.
- Considerar en el análisis de demandas de estos sectores, la condición de incendio como una dotación adicional asignada por habitante, y no como un caudal concentrado en un hidrante.
- Incluir en los manuales de las hidrológicas, parámetros de diseño para los sistemas de abastecimiento de agua en desarrollos no controlados, como por ejemplo: velocidades máximas permisibles, presiones máximas y mínimas, condición de incendio; de manera tal de flexibilizar y estandarizar su diseño, con el objeto de hacer viable la construcción y operación de los mismos, brindar el servicio, consolidar estos sectores y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.
- Se recomienda complementar este trabajo con la realización de estudios posteriores, los cuales deriven en la generación de propuestas de un sistema de aguas residuales para el sector.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Almandoz, Carlos, & Sacchini, Federico, 2011. *Diagnóstico y propuestas de soluciones factibles de la red de distribución de agua potable en la zona sur-sur de Caracas*. UCAB, Caracas. 124 pág.

Arias, Fidias G, 2006. *El proyecto de Investigación.* 5ta edición, Editorial Episteme, Caracas. 143 pág.

Bentley Systems, Incorporated, 2015. *Water Distribution Modeling and Management, WaterCAD*. Extraído de: http://www.bentley.com/es-ES/Products/WaterCAD/Top-Reasons.htm

Bolinaga, J. J., & Colaboradores, 1999. *Proyectos de Ingeniería Hidráulica*. 2da edición, Fundación Polar, Caracas. 968 pág.

Briceño A., Roger A., & Montilla N., Leonardo J. E, 2003. *Estimación de los costos de suministro de agua del Sistema Tuy III*. UCV, Caracas. 144 pág.

ESTEREOFOTO. *Levantamiento aero-fotogramétrico a escala 1:5000*. Caracas, Venezuela. 1999.

HIDROCAPITAL. *Nuestros embalses y plantas de tratamiento*. 2011. Extraído de: http://www.hidrocapital.com.ve/internet/index.php/infraestructura-hidraulica

INGENIERÍA GALPECA C.A., 2006. *Presentación Proyecto Lomas de Baruta, Sector Hoyo de la Puerta*. Caracas.

Instituto Metropolitano de Urbanismo Taller Caracas, IMUTC, 2014. *Análisis de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en el Área Metropolitana de Caracas, Informe N°1*. Alcaldía Metropolitana de Caracas, Caracas. 107 pág.

Instituto Nacional de Estadística, 2011. *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, Resultados Básicos, Total Nacional y Entidades Federales.* República Bolivariana de Venezuela. 116 pág.

Instituto Nacional de Obras Sanitarias, 1966. *Normas de Proyectos y Especificaciones de Materiales para los Sistemas de Abastecimientos de Agua de Urbanizaciones*. INOS, Caracas.

Instituto Nacional de Obras Sanitarias, 1965. *Normas para el Diseño de los Abastecimientos de Agua*. INOS, Caracas.

Instituto Tecnológico del Agua, Universidad Politécnica de Valencia, 2010. *Análisis y simulación de redes hidráulicas a presión*. Extraído de: http://www.instagua.upv.es/Epanet/

KSB Group, 2004. *Manual Técnico e Curvas Características KSB WKL*. Brasil. 43 pág.

Ministerio del Desarrollo Urbano, República de Venezuela. *Regulaciones técnicas de urbanización y construcción de viviendas aplicables a los desarrollos urbanos progresivos.* Gaceta Oficial No 4.085 Extraordinario. 12 de Abril de 1989. Caracas, 1989.

Palacios, A, 2008. *Acueductos, cloacas y drenajes*. 2da edición, Publicaciones UCAB, Caracas. 232 pág.

Rivas, G, 1983. *Abastecimiento de Aguas y Alcantarillados*. Tercera Edición, Ediciones Vega, Madrid. 407 pág.

Rojas, J. F., & Tablante, F, 2000. *Análisis del funcionamiento hidráulico del área de influencia de la E/B Calle 18 – El Valle*. UCAB, Caracas. 46 pág.

Sabino, Carlos A, 2009. *¿Cómo hacer una tesis? Y elaborar todo tipo de escrito*. 2da edición, Editorial Panapo, Caracas. 141 pág.

Santalla, P. y Del Rosario, Z, 2008. *Guía para la elaboración de reportes de investigación.* 2da reimpresión, Editorial Texto, C.A., Caracas. 126 pág.

ANEXO A

Glosario

Glosario de abreviaciones:

a.m.: Ante meridiano.

amp: Amperios.

A.W.W.A: American Water World Association

E/B: Estación de bombeo.

Edo: Estado

Ha: Hectáreas.

Hm^3: Hectómetros cúbicos.

I.D.: Identificación

I.N.E.: Instituto Nacional de Estadística.

I.M.U.T.C.: Instituto Metropolitano de Urbanismo Taller Caracas

I.N.O.S.: Instituto Nacional de Obras Públicas.

Km: Kilometro.

l.p.p.d.: Litros por persona por día.

l.p.s.: Litros por segundo.

m: Metros.

m^3: Metros cúbicos.

m.c.a.: Metro de columna de agua.

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar.

p.m.: Post meridiano.

Qm: Caudal medio.

r.p.m.: Revoluciones por minuto.

s: Segundos.

T.E.G.: Trabajo especial de grado.

Glosario de términos usados en las ecuaciones:

A: Área transversal del flujo.

C: Factor de fricción de Hazen-Williams.

D: Diámetro de tubería.

f: Factor de fricción de Darcy-Weisbach.

g: Gravedad.

H: Energía.

h_f: Pérdida por fricción.

h_L: Pérdida localizada.

K_L: Coeficiente empírico que considera la magnitud de la pérdida localizada.

L: Longitud de tubería.

η: Eficiencia de la bomba.

P_B: Potencia de la bomba.

Q: Caudal

V: Velocidad de flujo.

γ: Peso unitario del fluido a ser bombeado.

Σ: Sumatoria.

ANEXO B

Datos demográficos

XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2011

Venezuela. Población, Densidad y Crecimiento. Censos 1873 – 2011

Censo	Población	Densidad 1/ (Hab/Km²)	Crecimiento		
			Absoluto	Relativo (%)	Tasa Anual Geométrica (%)
1873 (7 Nov.)	1.732.411	1,9	-	-	-
1881 (27 Abr.)	2.005.139	2,2	272.728	15,7	2,0
1891 (15 Ene.)	2.221.572	2,5	216.433	10,8	1,1
1920 (1 Ene.)	2.479.525	2,7	257.953	11,6	0,4
1926 (31 Ene.)	2.814.131	3,1	334.606	13,5	2,1
1936 (26 Dic.)	3.364.347	3,7	550.216	19,6	1,7
1941 (7 Dic.)	3.850.771	4,3	486.424	14,5	2,8
1950 (26 Nov.)	5.034.838	5,6	1.184.067	30,7	3,0
1961 (26 Feb.)	7.523.999	8,3	2.489.161	49,4	4,0
1971 (2 Nov.)	10.721.522	11,9	3.197.523	42,5	3,4
1981 (20 Oct.)	14.516.735	16,1	3.795.213	35,4	3,1
1990 (21 Oct.)	18.105.265	20,0	3.588.530	24,7	2,5
2001 (22 Oct.)	23.054.210	25,5	4.948.945	27,3	2,3
2011 (30 Oct.)	27.227.930	30,1	4.173.720	18,1	1,7

1/: La superficie del país es de 916.445 kilómetros cuadrados. Para el cálculo de la densidad no se incluyen 13.245 kilómetros cuadrados correspondientes a la superficie de los lagos Valencia y Maracaibo.
Nota: En el Censo 2001 se excluye a los 178.343 indígenas empadronados en sus Zonas Ancestrales
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, INE.

Estado Miranda. Población, Densidad y Crecimiento. Censos 1873 - 2011

Censo	Población	Densidad 1/ (Hab/Km²)	Crecimiento		
			Absoluto	Relativo (%)	Tasa Anual Geométrica (%)
1873 (7 Nov.)	109.917	13,8	-	-	-
1881 (27 Abr.)	127.844	16,1	17.927	16,3	2,0
1891 (15 Ene.)	141.446	17,8	13.602	10,6	1,0
1920 (1 Ene.)	174.266	21,9	32.820	23,2	0,0
1926 (31 Ene.)	189.572	23,8	15.306	8,8	1,4
1936 (26 Dic.)	216.527	27,2	26.955	14,2	1,2
1941 (7 Dic.)	227.604	28,6	11.077	5,1	1,0
1950 (26 Nov.)	276.273	34,8	48.669	21,4	2,2
1961 (26 Feb.)	492.349	61,9	216.076	78,2	5,8
1971 (2 Nov.)	856.272	107,7	363.923	73,9	5,3
1981 (20 Oct.)	1.421.442	178,8	565.170	66,0	5,2
1990 (21 Oct.)	1.871.093	235,4	449.651	31,6	3,1
2001 (22 Oct.)	2.330.872	293,2	459.779	24,6	2,0
2011 (30 Oct.)	2.675.165	336,5	344.293	14,8	1,4

1/: La superficie del Estado es de 7.950 kilómetros cuadrados.
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, INE.

ANEXO C

Estudio de Demandas por Sector

Estudio de Demanda del Sector Lomas de Baruta a corto plazo (Año 2015)

Sector	Población 2012 (Hab)	Tasa de Crecimiento Interanual (%)	Población 2015 (Hab)	Demanda 2015 (lps)
Bomparque	260	5,5	305	1,24
Dos Kilómetros	1642		1928	7,81
Alto Pino	363		426	1,73
Pueblo Nuevo	104		122	0,49
Campamento	304		357	1,45
La Capilla	272		319	1,29
La Canoa	366		430	1,74
Buen Amigo	416		488	1,98
Doroteo *	-	-	269	1,09
El Manguito	1740	3,2	1912	7,75
La Escuela	314		345	1,40
El Campito	744		818	3,31
		TOTAL	7721	31,28

* La población del año 2015 de este sector se estimó tomando la misma densidad demográfica del sector Pueblo Nuevo.

Estudio de Demanda del Sector Lomas de Baruta a mediano (Año 2022) y largo plazo (Año 2030)

Sector	Población 2015 (Hab)	Tasa de Crecimiento Interanual (%)	Población 2022 (Hab)	Población 2030 (Hab)	Demanda 2022 (lps)	Demanda 2030 (lps)
Bomparque	305	3,2	381	490	1,54	1,98
Dos Kilometros	1928		2404	3093	9,74	12,53
Alto Pino	426	1,7	480	549	1,94	2,22
Pueblo Nuevo	122	3,2	152	196	0,62	0,79
Campamento	357		445	573	1,80	2,32
La Capilla	319		398	512	1,61	2,08
La Canoa	430		536	689	2,17	2,79
Buen Amigo	488	1,7	550	629	2,23	2,55
Doroteo	269	3,2	335	431	1,36	1,75
El Manguito	1912	1,7	2152	2463	8,72	9,98
La Escuela	345		388	444	1,57	1,80
El Campito	818		920	1053	3,73	4,27
		TOTAL	9141	11122	37,03	45,05

Estudio de Demanda por Nivel de Servicio a corto plazo (Año 2015)

SECTOR DOS KILOMETROS					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
3	940 a 990	19,55	34,95	683	2,77
4	990 a 1040	15,80		552	2,24
5	1040 a 1090	16,68		583	2,36

SECTOR BOMPARQUE					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
5	1040 a 1090	13,45	10,66	143	0,58
6	1090 a 1140	15,17		162	0,66

SECTOR ALTO PINO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
7	1140 a 1190	5,67	75,13	426	1,73

SECTOR PUEBLO NUEVO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
5	1040 a 1090	7,34	7,13	52	0,21
6	1090 a 1140	9,78		70	0,28

SECTOR CAMPAMENTO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
6	1090 a 1140	10,66	18,48	197	0,80
7	1140 a 1190	8,65		160	0,65

SECTOR LA CAPILLA					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
6	1090 a 1140	11,13	28,69	319	1,29

SECTOR LA CANOA					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
6	1090 a 1140	16,73	25,72	430	1,74

SECTOR BUEN AMIGO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
6	1090 a 1140	3,41	53,28	182	0,74
7	1140 a 1190	5,75		306	1,24

SECTOR DOROTEO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
6	1090 a 1140	19,50	7,13	139	0,56
7	1140 a 1190	13,09		93	0,38
8	1190 a 1240	5,14		37	0,15

SECTOR EL MANGUITO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
5	1040 a 1090	6,38	71,00	453	1,83
6	1090 a 1140	8,99		638	2,59
7	1140 a 1190	8,67		616	2,49
8	1190 a 1240	2,89		205	0,83

SECTOR LA ESCUELA					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
6	1090 a 1140	1,40	81,95	115	0,46
7	1140 a 1190	2,81		230	0,93

SECTOR EL CAMPITO					
Nivel de servicio HIDROCAPITAL	Intervalos de cotas (m.s.n.m)	Área (Ha)	Densidad (Hab/Ha)	Población (Hab)	Demanda (lps)
5	1040 a 1090	3,68	28,21	104	0,42
6	1090 a 1140	12,13		342	1,39
7	1140 a 1190	13,18		372	1,51

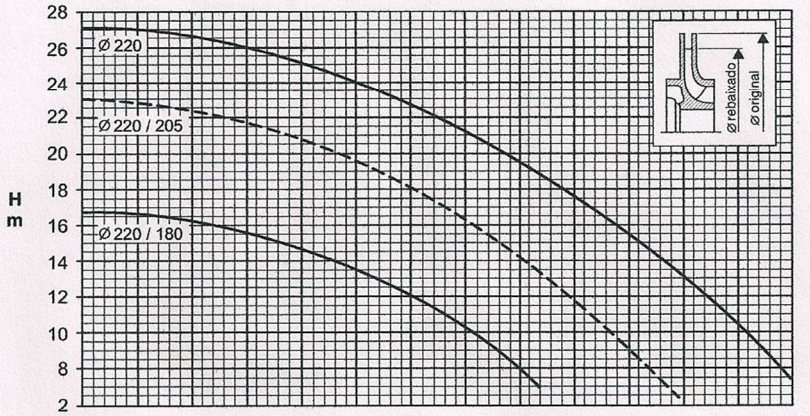
Nota: Todos los cálculos se hicieron para el año 2015. Debido al crecimiento poblacional prácticamente uniforme entre sectores hasta el año 2030, la proporcionalidad de la demanda se mantiene a lo largo del horizonte de diseño.

ANEXO D

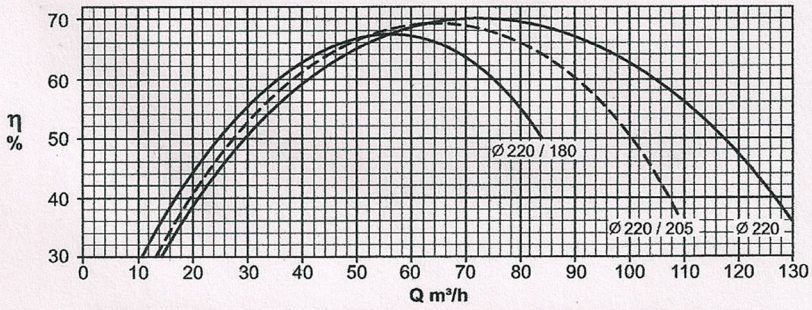
Curvas Características de Bombas KSB WKL 80/7-1750 rpm

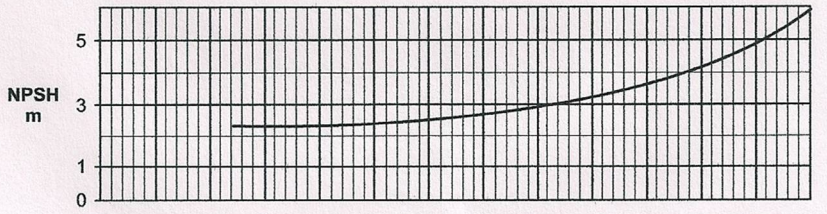
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba **KSB WKL**	Tamanho Size Tamaño **80**	KSB
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal **1750 rpm**

Altura Manométrica
Head
Altura Manométrica
por Estágio

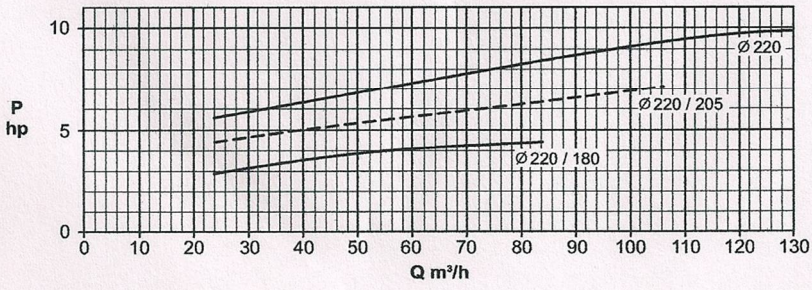


Rendimento
Efficiency
Rendimento





Potencia Necesaria
Shaft Power
Potência Necessária
por Estágio



Dados válidos para densidade de 1 kg/dm³ e viscosidade cinemática até 20 mm²/s.
Data applies to a density of 1 kg/dm³ and Kinematical viscosity up to 20 mm²/s.
Datos válidos para densidad 1 kg/dm³ y viscosidad cinemática hasta 20 mm²/s.

Tolerância de Performance conforme Hydraulic Institute, opção B.
Performance tolerance according to Hydraulic Institute level B.
Tolerancias de las curvas características según Hydraulic Institute situación B.