

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA TEÓRICA DE LA
ESTACIÓN DE BOMBEO E/B “LA 25”, UBICADA A LA SALIDA
DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA GUAIRITA EN LA
CIUDAD DE CARACAS.**

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:

Estrada Estrada, Arianne Isabella.

Véjar Rodríguez, Samuel Enrique.

PROFESOR GUÍA:

Ing. Griffin C, Carlos G.

FECHA:

Caracas, junio 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA TEÓRICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO
E/B "LA 25", UBICADA A LA SALIDA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE
LA GUAIRITA EN LA CIUDAD DE CARACAS.

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo, ha evaluado su
contenido con el resultado:

Dieciocho (18)



JURADO EXAMINADOR

Nombre: <u>Carlo Gerffin</u>	Nombre: <u>Jose DNASSO</u>	Nombre: <u>RAFAEL GUEVARRA</u>
Firma: <u>[Signature]</u>	Firma: <u>[Signature]</u>	Firma: <u>[Signature]</u>



AGRADECIMIENTOS

Ante todo, a Dios por no dejarme en ningún momento sola y así obtener la fuerza necesaria todos los días para lograr esta primera etapa de mi vida.

A mi mamá y a mi papá por todo el apoyo en mi formación y en el desarrollo de la carrera, con su cariño y amor me han enseñado que con perseverancia y trabajo lograré cumplir cualquier meta que me proponga. Gracias por siempre creer en mí y mostrarme desde mi nacimiento, la ingeniería que me rodea.

A mis hermanas, Marianna e Ygna, quienes con su ejemplo me inspiran todos los días. A pesar de las distancias, no hay lazo más fuerte que el amor y apoyo que me brindan.

A mi segunda Madre, Robmary Estrada por el apoyo incondicional y amor entregado, por darme fuerza con cada lección y prepararme ante los obstáculos que conseguí y conseguiré.

A los ingenieros Carlos Griffin, Fausto Puentes, Willians Viera y Celina Matos que, junto con la oficina de RYC219, fueron de vital apoyo en la realización de este estudio. Cada consejo, observación, risa y café compartido lo recordaré siempre.

A mi compañero de tesis y gran amigo Samuel Véjar, por toda la amistad durante el recorrido de la carrera y la realización de este Trabajo Especial de Grado.

A mis grandes amigos Egger Romero, Ismael Quijada, Luis Rangel, Kenny Meza, Gisselle Lopez, Angélica Morales y Eddy Aumaitre por estar en todo momento en las buenas y en las malas, enseñándome que con apoyo y compañerismo se logra cualquier meta propuesta.

Arianne Isabella Estrada Estrada.



AGRADECIMIENTOS

A mi madre Raiza Rodríguez por todo el amor incondicional que me otorgó durante estos veintitrés años de mi vida y por todo el apoyo durante estos años de mi formación como profesional, por siempre estar para cuando la necesito y por celebrar mis logros conmigo.

A mi padre Enrique Véjar que me enseñó a nunca rendirme, que si al mirar atrás veo todo lo que he recorrido me dará cuenta de lo poco que me falta para lograr mis metas y que puedo lograr lo que me proponga en esta vida.

A mi abuelo César Rodríguez, en paz descanse, por ser quien me motivó a estudiar ingeniería civil y ser mi ejemplo a seguir desde muy pequeño, este logro es para ti.

Agradezco a mi familia en general por siempre apoyarme durante mi vida y en todo mi camino durante la carrera de ingeniería civil, especialmente a mis abuelas Elizabeth Uzcátegui y Elodia Santos, a mis tías y tíos Elizabeth, Eliecer, Elvia, José y Dulce.

A mi tía Jacqueline Rodríguez por todo el cariño y las enseñanzas que me ha dado a lo largo de mi vida.

A mi segunda madre Lesbia García, en paz descanse, por siempre mostrar un gran amor hacia mí y tratarme como un hijo más para ella, gracias por todo.

A mis hermanas y hermanos Valeria, Camila, Enrique y Eduardo porque sin ellos no sería la misma persona que soy hoy en día, los amo inmensamente.

A mis mejores amigos Jean-Michell De Martino y Ricardo Aponte por siempre estar para mí cuando los necesité y ayudarme a seguir adelante durante los momentos más difíciles.

A nuestro tutor, el ingeniero Carlos Griffin y a su equipo de trabajo de RYC219, Fausto Puente, Willians Viera, Celina Matos, Ismael Quijada y Gerardo Rangel por todo el apoyo y la ayuda en la realización de este Trabajo Especial de Grado.

A mi compañera de tesis y excelente amiga Arianne Estrada, por estos años de tan buena amistad, de pasar momentos divertidos juntos y de sostenernos mutuamente, lo que nos motivó a que realizáramos este trabajo juntos.

A mis grandes amigos fuera y dentro de la universidad, especialmente a Victor Trejo, Daniel Giraud, Alex De Sousa, Sandra Ledezma, Angelimar Ramírez, Luis Rangel y Gerardo Ruíz por brindarme una mano amiga siempre que lo necesité, tanto en los buenos como en los malos momentos.

Samuel E. Véjar R.



RESUMEN

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como propósito la caracterización hidráulica de la estación de bombeo 25 ubicada a la salida de la planta de potabilización La Guairita del Sistema Tuy II, con la intención de establecer de forma teórica y real las condiciones hidráulicas, mecánicas y operativas de dicha estación. De esta manera, se responden a las distintas incógnitas sobre su funcionamiento teórico y real, además de suministrar información de importancia para estudios y trabajos futuros.

Para ello, se recopiló información documentada por diversas fuentes, de las cuales se obtuvieron las curvas características teóricas de las bombas y a su vez se realizaron visitas de campo para identificar los elementos que componen los distintos grupos de bombeo, tales como: dispositivos de control y regulación de flujo, dispositivos de medición y también cierta información planimétrica. Con estos datos recopilados, se graficaron las curvas características de los grupos de bombeo y la curva de operación hidráulica de los Alimentadores, para así obtener los puntos de operación teóricos de los grupos de bombeo Norte y Sur. También se tomaron mediciones de las condiciones hidráulicas actuales de los grupos de bombeo de la estación (presión y caudal) y poder graficar las curvas de operación real, entonces con la misma metodología que en el arreglo teórico, obtener los puntos de operación reales de los grupos. A su vez, se realizó un diagnóstico de los diversos elementos de la estación.

Además, se obtuvo la curva de operación hidráulica de la descarga Este, que contempla el comportamiento del flujo para diferentes condiciones de carga hidráulica en la estación y caudal en dicho sistema. También se define una posible condición más favorable para la estación, que establece mayor caudal hacia el Alimentador Este, suministrando información sobre la diferencia de energía en su descarga.

De esta forma, se muestra en este Trabajo Especial de Grado una visión teórica y real de las condiciones operativas de la estación de bombeo 25, que evidencia el desgaste de los equipos y que tan alejado se encuentra el comportamiento que debería tener la estación con el que tiene actualmente, ante diferentes condiciones de succión, cantidad de equipos encendidos y solicitudes del sistema. También, se evidencia el estado de deterioro que posee la estación, haciendo referencia a fugas en tuberías y al desgaste físico de los elementos de la misma, que se pueden apreciar en cada uno de los ramales de bombeo.

De esta manera, se logra conocer sobre los aspectos que rigen las características hidráulicas de la estación, planteando recomendaciones, como la realización de estudios más detallados y el mantenimiento adecuado de los equipos, que buscan ayudar a mejorar el rendimiento de la misma para que esta trabaje en una condición de menor estrés y más cercana a lo que indica el análisis teórico.



INTRODUCCIÓN

El sistema Tuy es una obra de infraestructura hidráulica que se encarga de abastecer de agua al Área Metropolitana de Caracas. Está constituido en la actualidad por tres subsistemas y un cuarto que se encuentra en construcción. El Tuy II es uno de estos subsistemas que abastecen al sistema de distribución de la ciudad de Caracas, el cual da servicio a un conjunto de alimentadores y matrices que se encargan de abastecer de agua potable a las zonas Norte, Este y parte del Sur de la ciudad capital.

Este sistema es alimentado principalmente por los embalses de Lagartijo, Taguaza y por las derivaciones de San Antonio de Yare y Taguacita, utilizando además el embalse de La Pereza como elemento compensador, logrando así, una capacidad instalada de producción de hasta 7200 l/s.

Esta producción de agua cruda llega a Caracas a través de tuberías que poseen una longitud total de más de 100 Km, pasando hasta por cuatro estaciones de bombeo desde el sistema de embalses hasta la planta potabilizadora “La Guairita”, ubicada en la urbanización Macaracuay, donde se envía al sistema de distribución de la ciudad mediante el conjunto de alimentadores Norte, Sur y Este.

Las líneas de distribución de agua, conocidos como alimentadores, inician en la estación de bombeo “La 25”, denominada así por pertenecer al sistema Tuy II (2) y ser la quinta (5) estación de bombeo. Dicha estación se encuentra ubicada al sur-este de la ciudad de Caracas, a una cota de 925 m.s.n.m. Estas líneas de distribución antes mencionadas reciben el nombre de Alimentadores Norte, Este y Sur. Los dos primeros abastecidos por bombeo directo desde la 25 (25 Norte y 25 Sur) y el sistema Este por gravedad desde la succión de la mencionada estación.

El suministro de agua a través de los alimentadores hacia las matrices, hasta las tuberías de distribución ocurre mediante compensación intermedia, utilizando tanques debidamente ubicados.

Con esto se puede afirmar que “La 25” es actualmente una de las estaciones de bombeo del sistema de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Caracas más influyentes en su tarea, con un servicio estimado entre el 30 y 35% del área metropolitana de la ciudad. Si ésta estación no opera correctamente, se ve afectado una porción considerable de los habitantes de la ciudad, de la misma manera, el funcionamiento de la estación se ve afectado por problemas de operación de la línea de aducción Tuy II entre los embalses y la planta potabilizadora y por el desgaste propio de los equipos de bombeo.

Con base en lo expresado anteriormente, se asevera la importancia de la caracterización real de la estación de bombeo 25, para las condiciones de operación, desgaste y servicio actual, además del establecimiento de comparaciones con la caracterización hidráulica teórica.



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	V
INTRODUCCIÓN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIV
CAPITULO I. EL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Objetivo General.....	1
1.3 Objetivos Específicos.....	1
1.4 Referencias.....	2
1.5 Justificación.....	2
1.6 Alcance y Limitaciones.....	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Bomba Hidráulica.....	5
2.2 Curva Característica de una Bomba Centrífuga.....	7
2.3 Altura Neta Positiva de Aspiración (NPSH).....	7
2.4 Potencia.....	9
2.5 Curvas de Operación Hidráulica de Tuberías.....	9
2.6 Estación de Bombeo.....	9
2.7 Sistema de Bombeo en Paralelo.....	9
2.8 Línea de altura Piezométrica.....	10
2.9 Planta Potabilizadora.....	10



2.10 Tubo de Venturi.....	10
2.11 Válvulas.....	11
2.12 Instrumentos de Medición Hidráulica.....	12
2.13 Estanque Compensador.....	13
2.14 Red de Distribución de Agua.....	13
2.15 Principio de Energía.....	13
2.16 Pérdidas de Energía.....	14
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	19
3.1 Tipo de Investigación.....	19
3.2 Diseño de Investigación.....	19
3.3 Descripción General Metodológica.....	20
3.3.1 Trazado Planimétrico de la Estación.....	20
3.3.2 Reconocimiento de los Dispositivos de Bombeo.....	20
3.3.3 Montaje de las Curvas de Bombeo.....	20
3.3.4 Montaje de las Curvas del Sistema Hidráulico.....	21
3.3.5 Montaje de las Curvas Reales de los Grupos de Bombeo.....	24
CAPITULO IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE CARACAS.....	25
4.1 Descripción de los Sistemas Tuy I, II y III.....	25
4.2 Descripción del Sistema de Abastecimiento del Alimentador Norte y Mariches Norte.....	28
4.3 Descripción del sistema de abastecimiento del Alimentador Sur, Mariches Sur y Dolorita Sur.....	29
4.4 Descripción del sistema de Abastecimiento Este de la ciudad de Caracas.....	30
CAPITULO V. DIAGNOSTICO FÍSICO DE LA E/B 25.....	32
5.1 Descripción general de la estación de bombeo.....	32



5.2 Descripción física de los Grupos de bombeo Norte y Sur, de la Compuerta del Este y otros elementos de la estación.....	40
5.2.1 Descripción Física de los Grupos de Bombeo Norte.....	42
5.2.2 Descripción Física de los Grupos de Bombeo Sur.....	54
5.2.3 Descripción física de la descarga Este.....	63
CAPITULO VI. CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	64
6.1 Generalidades.....	64
6.2 Determinación de los Puntos de Operación por medio del Método Gráfico de los Grupos de Bombeo Norte y Sur.....	65
6.3 Desarrollo del Método Gráfico del Alimentador Este.....	75
6.3.1 Calibración del Método Gráfico del Alimentador Este.....	79
6.4. Curva de Operación Hidráulica del Alimentador Este.....	80
6.5 Esquema Operativo Actual de la Estación.....	81
6.5.1 Curvas de Operación Real de los Grupos de Bombeo Norte y Sur...	83
6.5.2 Condición Actual de la Descarga Este.....	89
6.5.3 Condiciones Generales la Estación de Bombeo.....	91
CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....	94
CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Partes de una bomba centrífuga.....	6
Figura N°2. Curva característica de una bomba con sus componentes principales.....	7
Figura N°3. Ejemplos de instalación de bombeo en carga y en succión.....	8
Figura N°4. Acoplamiento de bombas idénticas en paralelo.....	10
Figura N°5. Sección longitudinal de un Tubo Venturi.....	11
Figura N°6. Expansiones graduales.....	16
Figura N°7. Valores de K en contracciones graduales.....	16
Figura N°8. Confluencia.....	17
Figura N°9. Derivación.....	18
Figura N°10. Valores de K para vario tipos de derivaciones.....	18
Figura N°11. Alimentador Norte en estudio.....	22
Figura N°12. Alimentador Sur en estudio.....	23
Figura N°13. Alimentador Este en estudio.....	23
Figura N°14. Sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Caracas.....	25
Figura N°15. Áreas de abastecimiento de agua que cubren cada uno de los sistemas Tuy.....	26
Figura N°16. Embalse de Lagartijo.....	27
Figura N°17. Sectores que se abastecen del Alimentador Norte.....	29
Figura N°18. Sectores que se abastecen del Alimentador Sur.....	30
Figura N°19. Sectores que se abastecen del Alimentador Este.....	31
Figura N°20. Esquema de tuberías dentro de la estación de bombeo 25.....	33
Figura N°21. Tanque compensador de la estación de bombeo.....	34
Figura N°22. Múltiple de succión de la estación en conexión con el sistema contra golpe de ariete del Grupo de bombeo Sur.....	35
Figura N°23. Ventosas del múltiple de succión.....	36



Figura N°24. Bombas 5, 4, 3 y 2 de las cinco que forman grupo de bombeo Sur.....	36
Figura N°25. Bombas que forman parte del Grupo de bombeo Norte.....	37
Figura N°26. Válvula mariposa del Alimentador Este conocida como la “Compuerta del Este”.....	37
Figura N°27. Dispositivos disipadores de Golpe de Ariete del Grupo de bombeo Norte y del Grupo de bombeo Sur respectivamente.....	38
Figura N°28. Manómetros del centro de control, de izquierda a derecha: Grupo Sur, múltiple de succión y Grupo Norte.....	39
Figura N°29. Escala con la que se lee el manómetro de succión.....	39
Figura N°30. Esquema de salidas dentro de la estación de bombeo 25.....	41
Figura N°31. Arreglo esquemático de los Grupos de bombeo de la estación 25.....	41
Figura N°32. Medidores de caudal de los Alimentadores Sur, Norte y Este respectivamente.....	42
Figura N°33. Uno de los ramales contruidos y fuera de operación, pertenecientes a los grupos de bombeo Norte.....	42
Figura N°34. Bomba centrífuga KSB RDL 500-71L del grupo de bombeo Norte.....	43
Figura N°35. Bomba centrífuga KSB RDL 400-540A del ramal 4 del grupo de bombeo Norte.....	44
Figura N°36. Válvula mariposa VAG EKN.....	45
Figura N°37. Tubería principal de entrada al ramal, válvula mariposa, contracción y tramo de tubería antes de la bomba del ramal número 3.....	46
Figura N°38. Expansión, válvula de paso anular, válvula mariposa y tubería principal de salida al Alimentador Norte del ramal número 3.....	47
Figura N°39. Fuga de agua en la bomba centrífuga del ramal número 1, solventada de forma inapropiada.....	48
Figura N°40. Ramal de bombeo número 1, grupos Norte E/B 25.....	48
Figura N°41. Manómetros de la bomba centrífuga del ramal número 2.....	49
Figura N°42. Ramal de bombeo número 2, grupos Norte E/B 25.....	50
Figura N°43. Manómetros de la bomba centrífuga del ramal número 3.....	50



Figura N°44. Ramal de bombeo número 3, grupos Norte E/B 25.....	51
Figura N°45. Ramal de bombeo número 4, grupos Norte E/B 25.....	52
Figura N°46. Fugas de agua de la bomba del ramal número 5, de izquierda a derecha: Fugas soportadas por trapos, fuga por el eje de la bomba, fuga por el eje de la bomba cerca de los manómetros.....	52
Figura N°47. Válvula de paso anular VAG RIKO del ramal número 5.....	53
Figura N°48. Ramal de bombeo número 5, grupos Norte E/B 25.....	53
Figura N°49. Ramal de bombeo número 6, grupos Norte E/B 25.....	54
Figura N°50. Bomba centrífuga KSB HE 250-62 del Grupo de bombeo Sur.....	55
Figura N°51. Tramo de succión de los cinco ramales, se pueden apreciar las cinco válvulas mariposa siendo la más visible la del ramal número 5.....	57
Figura N°52. Tramo de tubería con codo a 90° del ramal número 1.....	57
Figura N°53. Válvulas de paso anular y compuerta del ramal número 1, grupos Sur E/B 25.....	59
Figura N°54. Filtraciones de agua de la válvula de paso anular del ramal número 5.....	61
Figura N°55. Estado de las tuberías antes y después de la bomba del ramal número 5, grupos Sur E/B 25.....	62
Figura N°56. Fuga de agua en la convergencia entre el ramal número 5 y el Alimentador Sur.....	62
Figura N°57. Válvula mariposa conocida como la “Compuerta del Este” que da inicio al Alimentador Este.....	63
Figura N°58. Válvula mariposa de la tubería Bypass de la válvula P.....	64
Figura N°59. Curvas características de las bombas centrífugas de los Grupos Norte KSB RDL 400-540 A (Izquierda) y Sur KSB HE 250-620 (Derecha).....	69
Figura N°60. Sistema genérico tomado para el desarrollo de las curvas de operación hidráulica de la red de los Alimentadores Norte y Sur.....	71
Figura N°61. Sistema genérico tomado para el desarrollo de las curvas de operación hidráulica de la red.....	76
Figura N°62. Fragmento de las planillas de medición utilizadas, valores de un día de medición.....	82



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Tablas de valores A y B para el coeficiente K en codos.....	15
Tabla N°2. Tablas de valores de K para codos segmentados, lisos o rugosos.....	15
Tabla N°3. Valores de “m” para diferentes ángulos.....	16
Tabla N°4. Valores de “p” para diferentes relaciones de áreas.....	17
Tabla N°5. Características de placa de motores del Grupo Norte.....	45
Tabla N°6. Características de placa de motores del Grupo Sur.....	56
Tabla N°7. Valores de K dados por porcentajes de apertura.....	66
Tabla N°8. Factores del sistema para el Grupo de bombeo Norte.....	67
Tabla N°9. Factores del sistema para el Grupo de bombeo Sur.....	68
Tabla N°10. Consideraciones en el bombeo para el Grupo de bombeo Norte (Izquierda) y Sur (Derecha).....	68
Tabla N°11. Pérdidas localizadas para un ramal del Grupo de bombeo Norte.....	70
Tabla N°12. Pérdidas localizadas para un ramal del Grupo de bombeo Sur.....	70
Tabla N°13. Puntos de operación teóricos del sistema hidráulico según el número de bombas encendidas.....	75
Tabla N°14. Factores del sistema para el Alimentador Este.....	76
Tabla N°15. Caudal requerido en el sistema del Alimentador Este.....	79
Tabla N°16. Valores de Energía y Caudal de la calibración del sistema Este.....	80
Tabla N°17. Funcionamiento hidráulico del sistema Este para distintos valores de energía en la estación de bombeo.....	80
Tabla N°18. Puntos de operación reales del sistema hidráulico Norte según el número de bombas encendidas.....	85
Tabla N°19. Puntos de operación reales del sistema hidráulico Norte según el número de bombas encendidas.....	87
Tabla N°20. Porcentajes de variación de los puntos de operación reales con respecto a los teóricos.....	87
Tabla N°21. Elementos de la estación, áreas, caudales y velocidades que manejan.....	93



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1. Curva de operación hidráulica del Alimentador Norte vs curvas de seis equipos en paralelo de bomba Norte KSB 400-540 A.....	73
Gráfico N°2. Curva de operación hidráulica del Alimentador Sur vs curvas de cinco equipos en paralelo de bomba Sur KSB HE 200-62.....	74
Gráfico N°3. Método Gráfico del Alimentador Este.....	78
Gráfico N°4. Condición de operación hidráulica del Este.....	81
Gráfico N°5. Curvas de las bombas KSB 400-540 A Norte reales junto con las teóricas.....	84
Gráfico N°6. Curvas de las bombas KSB HE 200-62 Sur reales juntos con las teóricas.....	86
Gráfico N°7. Curva característica, de potencia y NPSH de las bombas KSB RDL 400-540 A.....	88
Gráfico N°8. Curva característica y de potencia de las bombas KSB HE 200-62.....	89
Gráfico N°9. Valores de caudal y energía de la válvula del Este y su Bypass.....	90
Gráfico N°10. Curva de operación hidráulica del Alimentador Este con puntos de medición.....	90
Gráfico N°11. Condición de succión de los grupos Norte, curva NPSH y X-7 de la estación.....	91
Gráfico N°12. Condición diaria de la estación en febrero de 2019.....	92
Gráfico N°13. Condición de la válvula P en relación con la presión del múltiple de succión de la estación.....	93



CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La Estación de bombeo 25 es la encargada de llevar el agua proveniente del sistema Tuy II a diversas zonas de la ciudad de Caracas. Por medio del Alimentador Sur llega al estanque compensador de El Paují, ubicado en la urbanización Los Naranjos, además de enviar agua hacia la zona de Mariche y Dolorita Sur en Petare, así como a la urbanización de El Encantado. Por medio del Alimentador Norte, el agua llega hasta el estanque compensador de El Calvario y surte a su vez, hacia la zona de Mariche Norte en Petare. El Alimentador Este surte agua por gravedad y da succión a diversas estaciones de rebombeo al este de Caracas, entre ellas a la de El Marqués, y llega hasta el estanque de Chuao.

Sin embargo, es escasa la información que se tiene registrada sobre el funcionamiento hidráulico, mecánico, operacional y servicio de la estación, lo cual dificulta identificar los diversos problemas que ocurren dentro de la misma, afectando el correcto suministro de agua potable a una porción considerable de la población de Caracas. Esta problemática comenzaría a solventarse si se conociera la condición actual de la estación en todos sus aspectos, así como el funcionamiento teórico que debería tener la misma, a fin de lograr atacar los problemas y mejorar el suministro de agua potable en los sectores de la ciudad que le competen.

1.2. Objetivo General

Realizar la caracterización teórica integral de la estación de bombeo E/B “La 25” del Sistema Tuy II, que se encuentra a la salida de la planta potabilizadora de La Guairita.

1.3. Objetivos Específicos

1. Buscar las curvas teóricas de bombeo individuales por equipo, así como la configuración de curvas de operación de los grupos de bombeo.
2. Elaborar la curva de descarga por gravedad para la descarga Este.
3. Estimar los puntos de operación teóricos (caudal vs presión) dadas las condiciones de borde de servicio para los grupos Norte, Este y Sur.
4. Analizar el esquema operativo actual de la estación de bombeo.



1.4. Referencias

Para este trabajo, se han tomado como fuente de información y referencia los siguientes proyectos:

- HIDROCAPITAL. “*Ingeniería Conceptual del Sistema sur-sur*”. M.G.A Ingenieros Civiles S.C., (1999).
- HIDROCAPITAL. *Memoria descriptiva, especificaciones de proyecto de construcción estación de bombeo "La Guarita" (Nº5 - Tuy 2)*. Yanes, A. (1966).
- HIDROCAPITAL. “*Plan Maestro del Noreste de Caracas*”. M.G.A Ingenieros Civiles S.C., (1997).
- HIDROVEN. “*Aspectos Técnicos y Operacionales de la infraestructura de los sistemas de abastecimiento de agua potable a nivel nacional*”. (2017)
- IMUTC. “*Análisis de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en el Área Metropolitana de Caracas*”. (2014).
- INOS. “*Est. De bombeo Nº 5 La Guairita*”. Marconi Hnos. (1969).
- KSB. “*Manual Técnico Nº A1385.0P/3*”. KSB Bombas Hidráulicas SA, (2007).
- Mays, Larry W. “*Manual de Sistemas de Distribución de Agua*”. Mc Grawhill, (2002).

En años anteriores se realizaron diversos Trabajos Especiales de Grado relacionados con funcionamientos hidráulicos en otras zonas y/o estaciones de bombeo en Caracas. Se han tomado como referencias metodológicas los siguientes:

- U.C.A.B. Trabajo Especial de Grado. “*Análisis de funcionamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable del área de influencia de la E/B Lomas de Baruta*” (Ortiz & Bolinaga. 2015)
- U.C.A.B. Trabajo Especial de Grado. “*Redimensionamiento de las áreas de influencia de las estaciones de bombeo El Valle (cañicito Nuevo) y San Antonio en la Parroquia El Valle*” (Espinoza & Di Lucente. 2000)
- U.C.A.B. Trabajo Especial de Grado. “*Estudio del comportamiento hidráulico de las redes de distribución del acueducto metropolitano, zonas : El Rosal, Campo Alegre, Chacao, Bello Campo y La Floresta*” (Bernardo & Ramírez. 1997)
- U.C.A.B. Trabajo Especial de Grado. “*Estudio hidráulico para el mejoramiento del sistema de distribución de agua potable del sector la Unión - El Hatillo*” (García & Nebreda. 2004)

1.5. Justificación

Es de conocimiento público las fallas que viene sufriendo el Sistema Tuy II, afectando la operatividad de la estación de bombeo E/B “La 25”, la cual, a su vez, mantiene afectada su operatividad debido a deficiencias en cuanto a mantenimiento y



rehabilitación, comprometiendo así la correcta operatividad en la distribución de agua potable.

La justificación del presente Trabajo de Grado, responde a la incógnita sobre el funcionamiento de la estación de bombeo 25, la cual surte, mediante diversos Alimentadores, a varios sectores correspondientes al Norte, Este y Sur de la ciudad de Caracas. De este modo, presenta información que puede ser de utilidad a futuros estudios orientados a mejorar la operación de la misma.

1.6. Alcance y Limitaciones

El Trabajo de Grado, está orientado al análisis operativo de la estación E/B 25, dirigido a su funcionamiento interno sin vincular la calidad del agua y su distribución a través de la red.

Se fundamenta en las mediciones de sus equipos en diferentes escenarios y combinaciones que influyen en su comportamiento en situación actual, de manera que el enfoque sea las cargas de energía y caudal que maneja. De este modo el presente trabajo está limitado a presentar únicamente información sobre el comportamiento hidráulico de la estación, descartando mediciones eléctricas, eficiencia y optimización.

El ámbito de estudio comprende a los Alimentadores que surten a los sectores Norte, Este y Sur-Este de la ciudad de Caracas, que engloba las comunidades desde la Avenida Baralt hasta Boleíta al norte del Distrito Capital, desde los Samanes hasta los Naranjos y El Hatillo del Estado Miranda.

Entre las limitaciones que se presentaron para la realización de este Trabajo Especial de Grado, se pueden mencionar:

- Las particularidades electromecánicas de las bombas hidráulicas que se encuentran en la estación, ya que la mayoría son modelos no convencionales y/o discontinuados, lo que dificulta la obtención de sus curvas características y datos mecánicos. Esto mismo ocurrió con algunos modelos de válvulas.
- La escasa e inexacta información confirmada que puede encontrarse sobre distintos aspectos, como lo son longitudes de tuberías, sus diámetros, información de tanques compensadores y demás, esto para los sectores de El Encantado, Mariche Norte, Mariche Sur, y Dolorita Sur. Por esta razón, se han considerado como “extracciones puntuales” o “nodos de extracción” dentro de la estación, los caudales que se surten a los sectores antes mencionados.



- La estación presenta dispositivos atenuadores de golpe de Ariete, estos serán reflejados en los esquemas, pero no forman parte del estudio hidráulico.
- El estado de los diversos elementos hidromecánicos que se describen en este trabajo, pertenecientes a la estación de bombeo, están sujetos a un diagnóstico comprendido entre los meses de enero y junio del año 2019. Por lo que pudiese que, algunas condiciones hidromecánicas cambien con el tiempo, a causa de reparaciones o cualquier tipo de alteración de los elementos de la estación.



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los fundamentos básicos en los que se apoya este trabajo de investigación, los criterios y principios hidráulicos en sistemas de conducción de agua a presión, así como los conceptos que ayudan a la comprensión de cada elemento en estudio.

2.1 Bomba Hidráulica

Es una máquina de propulsión la cual se encarga de transformar la energía mecánica de un motor eléctrico en energía hidráulica del fluido incompresible que intenta mover. Al incrementar la energía del fluido, aumenta su presión, velocidad o altura debido al principio de Bernoulli. Generalmente una bomba hidráulica se emplea para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover así el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Las bombas hidráulicas cumplen dos funciones: primero, su acción mecánica crea un vacío en el múltiple de succión lo cual permite que la presión atmosférica fuerce al líquido del tanque de almacenamiento hacia la entrada de la bomba. Segundo, la misma acción entrega éste líquido a la salida de la bomba y lo empuja hacia el circuito hidráulico.

Las bombas pueden ser clasificadas como:

- Bombas de desplazamiento negativo o rotodinámicas: Son las que desplazan una cantidad variable de líquido dependiendo de la presión del sistema, a mayor presión menor cantidad de líquido se desplazará. Estas bombas producen un flujo continuo y su órgano propulsor no contiene elementos móviles; es decir, que es de una sola pieza, o de varias ensambladas en una sola.
A este grupo pertenecen las bombas centrífugas, cuyo elemento propulsor es un impelente o impulsor giratorio. Si la salida de una bomba de desplazamiento negativo fuese bloqueada mientras el elemento de bombeo continuaría en movimiento, la presión se incrementaría al máximo, pero el caudal sería cero. Esto se conoce como punto de obturación de la bomba.
- Bombas de desplazamiento positivo: Son las que desplazan una cantidad constante de líquido, independientemente de la presión del sistema. Estas bombas poseen un órgano propulsor que contiene elementos móviles de modo tal que por cada revolución se genera de manera positiva un volumen dado de fluido, independientemente de la contrapresión a la salida.

Por otra parte, en una bomba de desplazamiento positivo, si el puerto de salida fuese bloqueado, la presión se incrementaría instantáneamente hasta

el punto que el elemento de bombeo, la carcasa u otro elemento interno falle.

El tipo de bomba más utilizada para bombear líquidos en general es la bomba centrífuga, también denominada bomba rotodinámica. Estas son siempre rotativas y transforman la energía mecánica del movimiento del impelente o impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible, aumentando por ende su velocidad. En la Figura N°1 se pueden apreciar las partes de una bomba centrífuga.

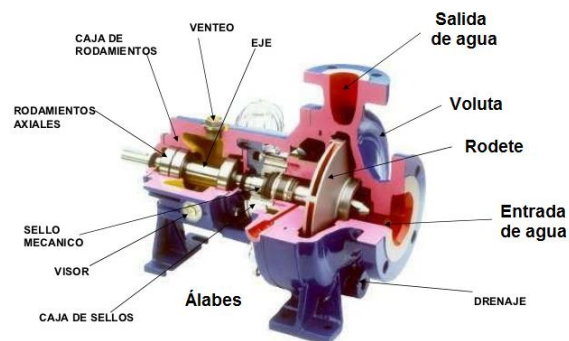


Figura N°1. Partes de una bomba centrífuga.

Fuente: All Pumps Argentina S.A.

El fluido entra por el centro del impulsor, el cual dispone de unos álabes o paletas para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba de donde se transporta hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor.

Las Bombas Centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Por la dirección del flujo: radial, axial y mixto.
- Por la posición del eje de rotación: horizontales, verticales e inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: voluta y las de turbina.
- Por el diseño mecánico de la coraza en: axialmente bipartidas y las radialmente bipartidas.
- Por la forma de succión en: sencilla y doble.

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido.

absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación.

Si la bomba opera con una succión (aspiración) excesiva, la presión a la entrada puede disminuir hasta llegar a alcanzar la presión de vapor del agua. Existen dos tipos de NPSH:

- **NPSH requerido:** Es un valor que depende únicamente de las características de la bomba, por lo que es establecido por el fabricante, y se refiere al NPSH mínimo que se necesita para evita la cavitación.
- **NPSH disponible:** Este valor depende de las características de la instalación hidráulica y equivale a la reserva total de presión por encima de la presión de vapor del fluido, que se encuentra disponible en la zona de la brida de aspiración de la bomba. Se debe calcular. Este valor resume en un sólo concepto todas las características de la instalación que influyen en la altura de aspiración de una bomba.

Para que no se produzca cavitación, el NPSH disponible debe ser mayor al NPSH requerido.

Una estación de bombeo puede trabajar en succión o en carga, dependiendo de si el nivel de líquido a bombear se sitúa por debajo o por encima del eje de la bomba. La Figura N°3 ayuda a aclarar esto.

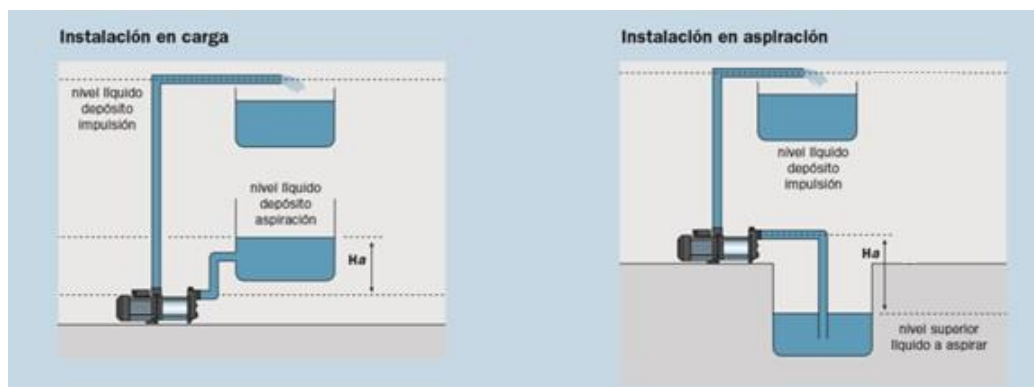


Figura N°3. Ejemplos de instalación de bombeo en carga y en succión.

Fuente: Catálogo de bombas ESPA.



2.4 Potencia

Existen dos tipos de potencia, la potencia útil y la potencia en sí. Según Méndez (1995), la potencia útil es la energía hidráulica suministrada al fluido por la bomba. Se calcula con la expresión $Pu = \gamma QH$, en donde γ es el peso específico del fluido en $\frac{Kgf.m}{s}$, Q es el caudal en $\frac{m^3}{s}$ y H es la altura total de bombeo en m.c.a.

Por otra parte, la potencia se refiere a la energía en el eje de transmisión, es decir, la requerida por la bomba en un determinado punto de trabajo. Se calcula dividiendo la potencia útil entre la eficiencia de la bomba.

2.5 Curvas de Operación Hidráulica de Tuberías

Como su nombre lo indica, es una curva que permite obtener la diferencia de energía para distintos caudales en un sistema hidráulico, además de conocer la relación existente entre el caudal conducido por el sistema y las pérdidas de carga que se generan por la conducción del fluido. Dicha curva se obtiene a partir del principio de conservación de la energía.

2.6 Estación de Bombeo

Las estaciones de bombeo son estructuras cuya función es aumentar el nivel energético de un fluido hasta el nivel deseado. Se utilizan en redes de abastecimiento de agua potable, red de alcantarillado, sistema de riego, sistema de drenaje, etc.

Generalmente las estaciones de bombeo constan de las siguientes partes: rejas, cámara o múltiple de succión, las bombas propiamente dichas, línea de impulsión, línea de descarga, etc. Como también pueden tener servicios auxiliares tales como dispositivos de protección contra el golpe de ariete.

2.7 Sistema de Bombeo en Paralelo

Las bombas centrífugas a menudo se utilizan juntas para aumentar el caudal o la presión de suministro más allá de lo que sería posible con una sola bomba. Dos o más bombas están operando en paralelo, cuando sus caudales terminan en una tubería común, sumándose para obtener un mayor caudal; manteniendo la misma altura total. Si las bombas que se encuentra en paralelo son todas iguales, el caudal se duplicará, triplicará, etc. según sea el caso; si son diferentes, el caudal resultante será la suma parcial del caudal unitario de cada bomba.

En un gráfico Caudal vs Energía un sistema de bombas en paralelo se representaría de la siguiente manera cómo podemos ver en la Figura N°4.

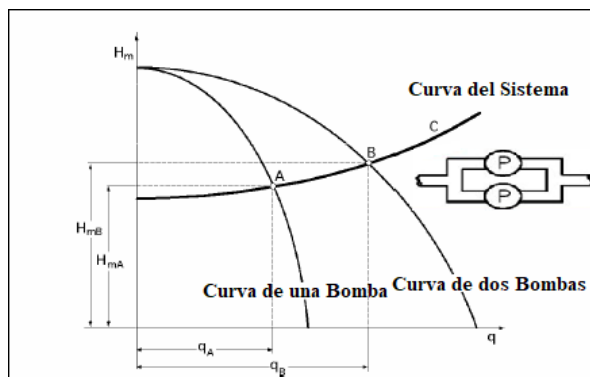


Figura N°4. Acoplamiento de bombas idénticas en paralelo.

Fuente: Universidad de Sevilla.

Cuando se trata de satisfacer las necesidades o demandas de agua variables en el tiempo, como por ejemplo en redes de distribución de agua potable, se justifica el acoplamiento de dos o más bombas en paralelo.

2.8 Línea de altura Piezométrica

Es la carga energética que tiene el agua, como producto de la energía potencial y de presión. Generalmente se mide en unidades de m.c.a.

2.9 Planta Potabilizadora

Son el conjunto de estructuras en las que se trata el agua cruda mediante diversos procesos químicos y mecánicos, con el propósito de que cumpla con los requerimientos para el consumo humano.

2.10 Tubo de Venturi

Es un dispositivo diseñado para medir la velocidad de un fluido. Consiste en un tubo formado por dos secciones cónicas unidas por un tubo estrecho (garganta), en el que el fluido se desplaza a mayor velocidad. Este dispositivo origina una pérdida de presión en el fluido que pasa por él, así, al colocar un manómetro o instrumento registrador que conecte la garganta con la región ancha se puede medir la caída de presión y calcular la velocidad y el caudal instantáneo.

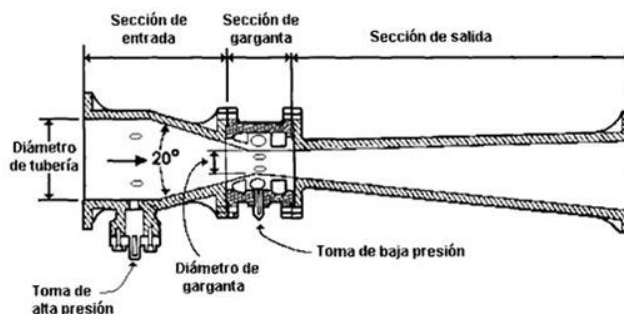


Figura N°5. Sección longitudinal de un Tubo Venturi.

Fuente: TECPA Ingeniería y Medio Ambiente.

2.11 Válvulas

Según Méndez (1995), una válvula es un elemento que se coloca en un tramo de tubería como auxiliar indispensable para la adecuada operación, mantenimiento y seguridad de los sistemas de conducción de fluidos. De acuerdo al tipo de instalación hidráulica donde se van a colocar y la tarea que cumple la misma, se definen el tipo, diseño y los materiales con los cuales se fabrican y se protegen.

En general, las válvulas están constituidas por los siguientes elementos:

- El cuerpo, para alojar el órgano obturador. Las formas más comunes del cuerpo de las válvulas son las esféricas, cilíndricas o elipsoidales.
- El obturador o elemento móvil de la válvula, cuya función es abrir, restringir o bloquear completamente el área de flujo. Debe diseñarse de forma tal que resista las solicitaciones de origen mecánico-hidráulico, asociadas con la operación. Pueden tener forma de disco, esfera, cono, etc.
- El actuador, o conjunto de partes mecánicas mediante las cuales se modifica desde el exterior la posición del obturador.

Las válvulas suelen clasificarse según su función, siendo agrupadas de la siguiente manera:

- Válvulas de Paso: Tienen como objetivo permitir o interrumpir la totalidad del flujo en la tubería. Por lo general su accionamiento se realiza en situaciones relacionadas con el mantenimiento o emergencias en los sistemas de conducción de fluidos. Las válvulas que más se utilizan con este propósito son las de tipo compuerta y de mariposa.
- Válvulas de Regulación: Tienen como finalidad la regulación o el control de diversas magnitudes hidráulicas, principalmente la presión y el caudal.



Los análisis hidromecánicos generalmente favorecen a las válvulas tipo paso anular, de globo y las rotatorias (esfera y cono).

- Válvulas de Control Direccional de Flujo: Su diseño mecánico solo admite flujo en una dirección. Las más comunes son la de retención a clapeta basculante y las válvulas de pie. Estas válvulas funcionan en un sistema de bombeo para impedir la giración inversa de moto-bombas.

2.12 Instrumentos de Medición Hidráulica

Existen diversos instrumentos con los que se miden presiones, caudales y velocidades en tuberías a presión, entre los que suelen encontrarse en sistemas de abastecimiento de agua tenemos los siguientes:

- Medidores de presión.
 - Barómetros: Miden presión absoluta ambiental.
 - Manómetros: Miden la presión absoluta en espacios cerrados.
 - Manómetros diferenciales: Miden la diferencia de presiones en dos puntos de un fluido confinado.
 - Piezómetros: Forma más elemental de un manómetro, que utiliza un fluido con mayor peso específico que el agua para funcionar.
- Medidores de Caudal y velocidades.
 - Medidores volumétricos y de velocidad: Se utilizan para contabilizar consumos de agua. El caudalímetro electromagnético es un medidor volumétrico y su funcionamiento está basado en la ley de Faraday, la cual nos dice que al pasar un fluido conductor por un campo magnético se produce un voltaje inducido directamente proporcional a la velocidad del fluido.
 - Medidores diferenciales: En este apartado se encuentra cualquier dispositivo que modifique su geometría para incrementar la velocidad del flujo, generando un diferencial de presiones que es proporcional al caudal o velocidad. El tubo de Venturi es un ejemplo.
 - Medidores hidráulicos de velocidad: Utilizan como sensor básico un tubo de Pitot.
 - Medidores ultrasónicos: Se miden los tiempos de recepción de ondas emitidas desde dos puntos de una tubería, separados a una distancia conocida. El tiempo de relación se relaciona con la velocidad media del flujo.
 - Mediciones de inserción: Originan un campo magnético que utiliza la energía del flujo dentro de la tubería como generador de electricidad que es proporcional a la velocidad del líquido.



2.13 Estanque Compensador

Es una estructura que tiene como función almacenar agua y servir como compensador de consumos para la red de distribución, debido a los cambios que experimenta la demanda de agua a lo largo de un día y así ofrecer un servicio continuo. También se encargan de mantener las presiones en la red de distribución que sale del mismo.

2.14 Red de Distribución de Agua

Se refiere al sistema constituido por una serie de obras hidráulicas que se encargan de llevar agua potable a los diversos usuarios de la red. La línea de distribución se inicia, generalmente, en el tanque de agua tratada, y consta de estaciones de bombeo y rebombeo; Alimentadores principales, matrices y tuberías de distribución; tanques de almacenamiento intermediarios (compensadores); válvulas que permitan operar la red, y sectorizar el suministro en casos excepcionales, como son: reparaciones, mantenimiento, ampliaciones y emergencias; dispositivos para macro y micro medición; derivaciones domiciliarias.

Las redes de distribución de agua potable en los pueblos y ciudades son generalmente redes que forman anillos cerrados.

2.15 Principio de Energía

Según Méndez (1995), la operación en estos sistemas de conducción de fluidos suele considerarse estable debido a su comportamiento de régimen permanente, continuo y unidireccional. Haciéndose referencia a la Ecuación de Bernoulli que contempla los componentes que reflejan energía cinética, potencial y de presión del flujo durante su movimiento.

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}, \text{ donde}$$

- H: Altura total del sistema, en m.
- z: Cota o energía potencial, en m.
- P: Presión estática, en $\frac{Kgf}{m^2}$.
- γ : Densidad del fluido, en $\frac{Kg}{m^3}$.
- $\frac{P}{\gamma}$: Energía de presión, en m.
- V: Velocidad del fluido, en $\frac{m}{s}$.
- g: Gravedad, en $\frac{m}{s^2}$.
- $\frac{V^2}{2g}$: Energía cinética, en m.



$$H_1 = H_2 + \sum h_f + \sum h_L, \text{ donde}$$

- H_1 : Altura total del sistema en el punto 1, en m.
- H_2 : Altura total del sistema en el punto 2, en m.
- $\sum h_f$: Sumatoria de las pérdidas por fricción, en m.
- $\sum h_L$: Sumatoria de las pérdidas localizadas, en m.

2.16 Pérdidas de Energía

Al momento de analizar el movimiento de un fluido, la acción de la viscosidad genera resistencia, causando una disipación de la energía mecánica del flujo, produciendo la denominada pérdida por fricción, mientras que las pérdidas localizadas se asocian a procesos de separación de la capa límite. Estos aspectos son considerados en los esquemas de energía piezométrica, únicamente dentro de la estación, exceptuando la red de abastecimiento por desarrollarse fuera de los alcances de este estudio. Para ello se ha establecido que los valores de pérdidas localizadas en la red representan un 10% de las pérdidas por fricción.

Pérdidas por fricción: Según Méndez (1995) se refieren a la disipación de la energía que posee el flujo, debido a la presencia de esfuerzos cortantes y resistencia a la fricción ante las rugosidades del material en su conducción.

Ecuación de Darcy-Weisbach:
$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación de Hazen-Williams:
$$h_f = 10,67 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \frac{L}{D^{4,87}}$$

Pérdidas localizadas: Según Méndez (1995) resultan ante la separación de la capa límite y vorticidad en elementos y dispositivos de cambios de dirección u obstrucciones en la conducción del flujo.

Ecuación de pérdidas localizadas:
$$h_f = \sum k * \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Coefficientes K de pérdidas localizadas:

- Codos:

$$k = \frac{H_L}{V^2/2g} = A * B,$$

Siendo “A” y “B” parámetros que se determinan según la Tabla N°1.

Tabla N°1. Tablas de valores A y B para el coeficiente K en codos.

VALORES DE A PARA EL COEFICIENTE DE PERDIDAS LOCALIZADAS EN CODOS

α	$\leq 70^\circ$	90°	$\geq 100^\circ$
A	$0,9 \text{ sen } \alpha$	1	$0,7 + 0,35 \cdot \alpha/90^\circ$

VALORES DE B PARA EL COEFICIENTE DE PERDIDAS LOCALIZADAS EN CODOS

r/D	0,5 - 1	> 1
B	$0,21/(r/D)^{2,5}$	$0,21/(r/D)^{0,5}$

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

Además de la expresión antes mencionada, se utilizó la tabla de la Tabla N°2 para la determinación del valor de “K” en codos específicos.

Tabla N°2. Tablas de valores de K para codos segmentados, lisos o rugosos.

 $K_s = 0,016$ $K_r = 0,024$	 $K_s = 0,034$ $K_r = 0,044$	 $K_s = 0,042$ $K_r = 0,062$	 $K_s = 0,066$ $K_r = 0,104$	 <table border="1"> <tr> <th>α/D</th> <th>K_s</th> <th>K_r</th> </tr> <tr><td>0,71</td><td>0,507</td><td>0,510</td></tr> <tr><td>0,943</td><td>0,350</td><td>0,415</td></tr> <tr><td>1,174</td><td>0,333</td><td>0,384</td></tr> <tr><td>1,42</td><td>0,261</td><td>0,377</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>0,280</td><td>0,376</td></tr> <tr><td>1,86</td><td>0,289</td><td>0,390</td></tr> <tr><td>2,56</td><td>0,356</td><td>0,429</td></tr> <tr><td>3,14</td><td>0,346</td><td>0,426</td></tr> <tr><td>3,72</td><td>0,356</td><td>0,460</td></tr> <tr><td>4,89</td><td>0,389</td><td>0,455</td></tr> <tr><td>5,59</td><td>0,392</td><td>0,444</td></tr> <tr><td>6,28</td><td>0,399</td><td>0,444</td></tr> </table>	α/D	K_s	K_r	0,71	0,507	0,510	0,943	0,350	0,415	1,174	0,333	0,384	1,42	0,261	0,377	1,50	0,280	0,376	1,86	0,289	0,390	2,56	0,356	0,429	3,14	0,346	0,426	3,72	0,356	0,460	4,89	0,389	0,455	5,59	0,392	0,444	6,28	0,399	0,444									
α/D	K_s	K_r																																																		
0,71	0,507	0,510																																																		
0,943	0,350	0,415																																																		
1,174	0,333	0,384																																																		
1,42	0,261	0,377																																																		
1,50	0,280	0,376																																																		
1,86	0,289	0,390																																																		
2,56	0,356	0,429																																																		
3,14	0,346	0,426																																																		
3,72	0,356	0,460																																																		
4,89	0,389	0,455																																																		
5,59	0,392	0,444																																																		
6,28	0,399	0,444																																																		
 $K_s = 0,130$ $K_r = 0,165$	 $K_s = 0,236$ $K_r = 0,320$	 $K_s = 0,471$ $K_r = 0,684$	 $K_s = 1,129$ $K_r = 1,265$																																																	
 $K_s = 0,112$ $K_r = 0,284$	 $K_s = 0,150$ $K_r = 0,268$	 $K_s = 0,143$ $K_r = 0,227$	 $K_s = 0,108$ $K_r = 0,236$	 <table border="1"> <tr> <th>α/D</th> <th>K_s</th> <th>K_r</th> </tr> <tr><td>1,186</td><td>0,120</td><td>0,294</td></tr> <tr><td>1,40</td><td>0,124</td><td>0,282</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>—</td><td>0,250</td></tr> <tr><td>1,63</td><td>0,124</td><td>0,266</td></tr> <tr><td>1,86</td><td>0,117</td><td>0,272</td></tr> <tr><td>2,329</td><td>0,096</td><td>0,317</td></tr> <tr><td>2,40</td><td>0,096</td><td>—</td></tr> <tr><td>2,91</td><td>0,108</td><td>0,317</td></tr> <tr><td>3,49</td><td>0,130</td><td>0,318</td></tr> <tr><td>4,65</td><td>0,148</td><td>0,310</td></tr> <tr><td>5,06</td><td>0,142</td><td>0,313</td></tr> </table>	α/D	K_s	K_r	1,186	0,120	0,294	1,40	0,124	0,282	1,50	—	0,250	1,63	0,124	0,266	1,86	0,117	0,272	2,329	0,096	0,317	2,40	0,096	—	2,91	0,108	0,317	3,49	0,130	0,318	4,65	0,148	0,310	5,06	0,142	0,313												
α/D	K_s	K_r																																																		
1,186	0,120	0,294																																																		
1,40	0,124	0,282																																																		
1,50	—	0,250																																																		
1,63	0,124	0,266																																																		
1,86	0,117	0,272																																																		
2,329	0,096	0,317																																																		
2,40	0,096	—																																																		
2,91	0,108	0,317																																																		
3,49	0,130	0,318																																																		
4,65	0,148	0,310																																																		
5,06	0,142	0,313																																																		
 $K_s = 0,188$ $K_r = 0,320$	 $K_s = 0,202$ $K_r = 0,323$	 $K_s = 0,400$ $K_r = 0,534$	 $K_s = 0,400$ $K_r = 0,601$																																																	
 <table border="1"> <tr> <th>α/D</th> <th>K_s</th> <th>K_r</th> </tr> <tr><td>1,15</td><td>0,193</td><td>0,347</td></tr> <tr><td>1,44</td><td>0,196</td><td>0,320</td></tr> <tr><td>1,47</td><td>0,150</td><td>0,300</td></tr> <tr><td>1,70</td><td>0,149</td><td>0,299</td></tr> <tr><td>3,91</td><td>0,184</td><td>0,312</td></tr> <tr><td>2,17</td><td>0,167</td><td>0,337</td></tr> <tr><td>2,16</td><td>0,172</td><td>0,342</td></tr> <tr><td>4,11</td><td>0,190</td><td>0,354</td></tr> <tr><td>4,70</td><td>0,192</td><td>0,360</td></tr> <tr><td>6,10</td><td>0,201</td><td>0,360</td></tr> </table>	α/D	K_s	K_r	1,15	0,193	0,347	1,44	0,196	0,320	1,47	0,150	0,300	1,70	0,149	0,299	3,91	0,184	0,312	2,17	0,167	0,337	2,16	0,172	0,342	4,11	0,190	0,354	4,70	0,192	0,360	6,10	0,201	0,360	 <table border="1"> <tr> <th>α/D</th> <th>K_s</th> <th>K_r</th> </tr> <tr><td>1,23</td><td>0,157</td><td>0,300</td></tr> <tr><td>1,67</td><td>0,156</td><td>0,378</td></tr> <tr><td>2,57</td><td>0,143</td><td>0,264</td></tr> <tr><td>3,77</td><td>0,160</td><td>0,242</td></tr> </table>	α/D	K_s	K_r	1,23	0,157	0,300	1,67	0,156	0,378	2,57	0,143	0,264	3,77	0,160	0,242			
α/D	K_s	K_r																																																		
1,15	0,193	0,347																																																		
1,44	0,196	0,320																																																		
1,47	0,150	0,300																																																		
1,70	0,149	0,299																																																		
3,91	0,184	0,312																																																		
2,17	0,167	0,337																																																		
2,16	0,172	0,342																																																		
4,11	0,190	0,354																																																		
4,70	0,192	0,360																																																		
6,10	0,201	0,360																																																		
α/D	K_s	K_r																																																		
1,23	0,157	0,300																																																		
1,67	0,156	0,378																																																		
2,57	0,143	0,264																																																		
3,77	0,160	0,242																																																		

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

- Expansiones Graduales:

$$k = 3,2 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \left(\tan \frac{\alpha}{2}\right)^{\frac{5}{4}}$$

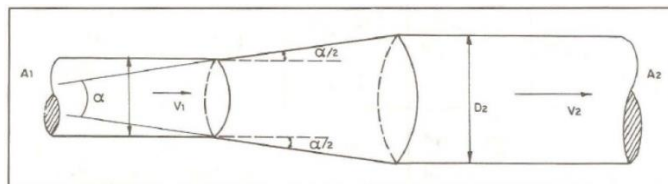


Figura N°6. Expansiones graduales.

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”

- Contracciones Graduales: Se obtuvieron los valores de K utilizando la Figura N°7.

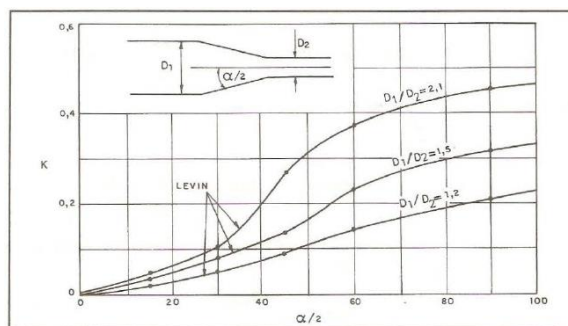


Figura N°7. Valores de K en contracciones graduales.

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

- Confluencias o Convergencias:
 - Con ángulo diferente a 90°:

$$k_{1-3} = 1 + \left(\frac{A_3 Q_1}{A_1 Q_3}\right)^2 - 2 \left(1 - \frac{Q_1}{Q_3}\right)^2 - m \frac{A_3}{A_1} \left(\frac{Q_1}{Q_3}\right)^2$$

$$k_{2-3} = 1 - \left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 - m \frac{A_3}{A_2} \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2$$

Tabla N°3. Valores de “m” para diferentes ángulos.

σ	30°	45°	60°
m	1,74	1,41	1

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

- Con ángulo igual a 90° :

$$k_{1-3} = p \left[1 + \left(\frac{A_3 Q_1}{A_1 Q_3} \right)^2 - 2 \left(1 - \frac{Q_1}{Q_3} \right)^2 \right]$$

Tabla N°4. Valores de “p” para diferentes relaciones de áreas.

A_1/A_3	0 - 0,2	0,3 - 0,4	0,6	0,8	1
p	1	0,75	0,7	0,65	0,6

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

$$k_{2-3} = 1,55 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) - \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2$$

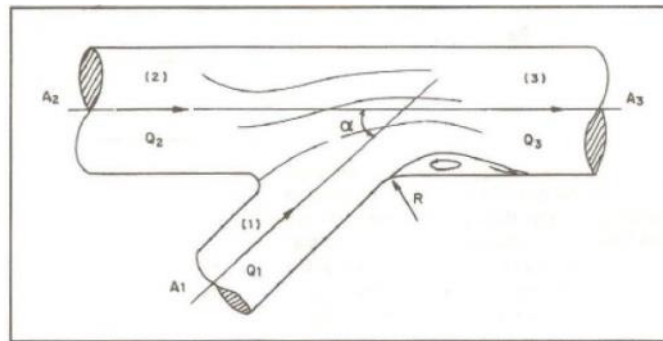


Figura N°8. Confluencia.

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

- Derivaciones o Divergencias:

- Con ángulo diferente a 90° :

$$k_{3-1} = m \left[1 + \left(\frac{V_1}{V_3} \right)^2 - 2 \frac{V_1}{V_3} \cos \alpha \right],$$

Siendo “m”:

$$m = 1 \text{ para } \frac{V_1}{V_3} \leq 0,8$$

$$m = 0.9 \text{ para } \frac{V_1}{V_3} > 0,8$$

$$k_{3-2} = 0,4 \left(1 - \frac{V_2}{V_3} \right)^2$$

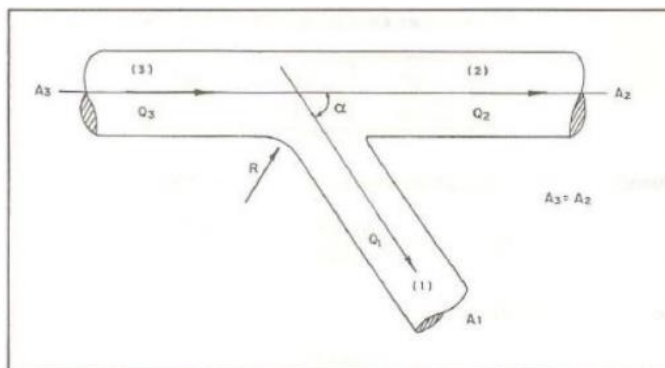


Figura N°9. Derivación.

Fuente: Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

- Con ángulo igual a 90° : Para este caso se tomaron los valores de “K” según la Figura N°10.

Figura					
K	0.5	1.0	1.5	3.0	0.05

Figura				
K	0.1	0.15	2.0	3.0

Figura N°10. Valores de K para vario tipos de derivaciones.

Fuente: Mataix, C (1982). “Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas”.



CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Entre los varios tipos de investigaciones existentes, la selección de un tipo u otro o la combinación de más de uno depende de los fines que se persiguen.

Como se ha mencionado antes, el objetivo principal de este trabajo engloba las características teóricas de la estación de bombeo como parámetros de estudio, de forma que el enfoque de investigación es aplicado a las particularidades actuales que presentan dichas características, sin influir en ellas. Asimismo, este trabajo posee un carácter descriptivo, ya que exige exploración y observación, justificado en los requerimientos empíricos y de trabajo de campo. Tal y como el Ing. Pedro José Salinas (2010) en su libro “Metodología de la Investigación Científica” afirma.

-“Investigación Descriptiva: Es investigación de evaluación, ya que pretende determinar la eficacia de un programa, práctica, procedimiento o política y evaluar su validez (...). Es aquella que se refiere a la descripción de algún objeto, sujeto, fenómeno, etc. en total o parte del mismo (...). Se acepta como perfectamente válida y original, la descripción de alguna variación o modificación de algo ya descrito” (pág. 17-18).

En este sentido, la propuesta busca identificar, medir y desarrollar las variables según las diferentes condiciones de trabajo de la estación, a través de un análisis hidráulico por medio de métodos gráficos. De esta manera, al establecerse el comportamiento hidráulico teórico, este se puede utilizar como fundamento para la identificación de los problemas de la estación, además de los ajustes que se consideren pertinentes para adaptarse a las exigencias actuales. Por estas razones se considera este trabajo como explicativo y aplicable.

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación constituye el esquema metodológico para obtener respuestas a las interrogantes de la misma. Ante todo, para definirlo, primero se establecen los aspectos de fuente, control de variables y perspectiva temporal.

El presente trabajo se apoya en información documental existente de las instalaciones y los requerimientos en el sistema, llamados “condiciones de borde” para la determinación de los puntos operativos. Conjuntamente, se apoya en las estrategias de medición efectuadas sobre las variables que caracterizan el comportamiento y operación de la estación de bombeo, las cuales solo son dirigidas por el operador de la misma. Por esta razón, la investigación se considera de tipo mixto, ya que comprende características de investigación bibliográfica y de campo.



A su vez, el trabajo es calificado como de diseño transversal descriptivo, ya que se analizan los diversos procesos de la estación, así como sus caudales, presiones y aperturas de válvulas para un tiempo definido, además de la influencia y magnitud que presentan estas variables.

3.3. Descripción General Metodológica

3.3.1. Trazado planimétrico de la estación. El primer paso consistió en la recopilación de información histórica de la estación de bombeo y en la visita a la misma, ya que se deseaba conocer su información planimétrica, la descripción de sus dispositivos mecánicos, los registros de maniobras y condiciones hidráulicas dentro de la estación, además de conocer sobre los diversos proyectos que hayan sido realizados, o solo propuestos, para su operación, mantenimiento, inspección o expansión. Se encontraron las especificaciones del proyecto de construcción de la estación, las cuales datan del año 1966, proporcionándonos la información referente a las condiciones iniciales estimadas por los proyectistas y algunos planos estructurales del proyecto. También, se ubicó en la planoteca de Hidrocapital, la información de un proyecto para la construcción de la estación de bombeo 25 Este, que data del año 2013, siendo esta proyectada en un terreno adyacente a la estación, pero sin profundizar en las condiciones que llevaba la misma en ese año. Sin embargo, ese proyecto da razón de la existencia de tuberías y derivaciones encontradas hoy en día, ajenas al funcionamiento de la estación.

Asimismo, durante las primeras visitas realizadas a la estación, se identificaron los elementos que componen los distintos grupos de bombeo, además de tomar mediciones directas de diámetros externos e internos, expansiones, reducciones, codos y longitudes de tuberías; ampliando aún más la información con registro fotográfico de los modelos de bomba y tipos de válvulas, así como de los elementos antes mencionados.

De esta forma y ordenando la información recopilada, se pudo obtener una idea más clara y palpable de las condiciones superficiales que presenta la estación actualmente, para poder así desarrollar un levantamiento planimétrico actualizado de la misma, además de un diagnóstico de la estación y reconocimiento del área de estudio y sus limitaciones.

3.3.2. Reconocimiento de los dispositivos de bombeo. Se investigó en diversos catálogos de bombas para conseguir las curvas características de las mismas, siendo el modelo de los Grupos Norte fácil de conseguir, mientras que el modelo de los Grupos Sures fue un poco más complicado debido a sus particularidades. Por otro lado, se identificaron diversos dispositivos y elementos mecánicos de importancia, como modelos de válvulas, medidores, manómetros, etc. y se calcularon los coeficientes de pérdidas posibles en cada una de ellas y los demás dispositivo de la estación.

3.3.3. Montaje de las curvas de bombeo. Justo después del análisis de documentos y el ordenamiento de datos, se empezó con la primera fase necesaria para la



realización del método gráfico en formato Excel, la cual fue el montaje del arreglo de las curvas de bombeo teóricas. Utilizando las curvas características encontradas en los catálogos, se hizo el trazado de las curvas para bombas en paralelo, tanto del grupo Sur como el grupo Norte. Utilizando los valores de los coeficientes de pérdidas localizadas que se presentan en un ramal de bombeo, se corrigieron las curvas de los catálogos y trazaron en Excel.

3.3.4. Montaje de las curvas del sistema hidráulico. El siguiente objetivo fue realizar la curva de operación hidráulica del sistema, la cual constituye la segunda fase para el método gráfico. Esta curva es diferente para cada Alimentador, ya que estas dependen de las rutas, longitudes y diámetros particulares de cada uno de ellos. Para el método gráfico se delimitaron los sistemas de esta manera:

- Sistema Norte: Por razones prácticas, debido a la complejidad que posee esta red, como línea de estudio se escogió para la determinación de la curva del sistema el propio Alimentador Norte, el cual va desde la salida del múltiple de descarga norte de la E/B 25 (a 923 m.s.n.m.), hasta un punto antes de la válvula de conexión con el Tuy III, ubicado en La Salle (a 882 m.s.n.m.), resultando así, una tubería de 12,24 Km a una diferencia de cota de 41m considerando una reducción de diámetro de 72” a 54”. A su vez, sobre el Alimentador se asignaron nodos de consumo en sectores convenientemente ubicados. Los valores de consumos de dichos nodos, fueron adaptados según los cálculos de dotación realizados por empresas asociadas a Hidrocapital. A pesar de que Mariche Norte es un abastecimiento que le compete a la E/B 25 Norte, se tomó como una extracción dentro de la estación de bombeo.
- Sistema Sur: Inicia en la E/B 25 en el Alimentador Sur (a 924 m.s.n.m) hasta el estanque compensador de El Paují (a 1245 m.s.n.m.), siendo este el punto contra el que bombea la estación. Contempla en todo su trayecto un diámetro de 30” y una longitud de 5,43 km. A pesar de que El Encantado, Mariche Sur y Dolorita le competen a la E/B 25 Sur, estas se toman como extracciones dentro de la estación de bombeo. Los valores de caudales de dichas extracciones, fueron adaptados según los valores arrojados por diversas mediciones de caudal realizadas in-situ por personal de Hidrocapital.
- Sistema Este: El Alimentador Este queda delimitado, en su tramo principal, desde la estación E/B 25, pasando por el Nodo de Distribución ubicado en la Av. Paris de la California, que divide el caudal hacia tres matrices de distribución conectados hasta La Floresta (853 m.s.n.m), La Lucha (865 m.s.n.m.) y La Prefectura (832 m.s.n.m.), arrojando una longitud sumada de 9,60 Km con consideraciones de cambios de diámetros de 54” y 48” en el tramo de E/B 25 hacia el Nodo, 24” y 20” en el tramo de La Floresta, 36” en el tramo de La Lucha y 24” en el tramo de La Prefectura. Se

considera que la descarga en el Alimentador Este inicia con flujo a canal, esto debido a diversas causas como pueden ser la pérdida de energía generada en su transporte y la pérdida a través de la Válvula mariposa del Este (Válvula P), pero luego de pocos metros presuriza la tubería, de manera que es posible tomar esta circunstancia como condición de borde en la energía al inicio del Alimentador. A su vez, el método gráfico contempla la restricción de energía causada por la Válvula Reguladora de Presión (VRP) a pocos metros del Nodo en la conexión de La Floresta, adoptando la altura total en ese punto como energía del Nodo.

A continuación, se muestran en las siguientes figuras la delimitación de los sistemas hidráulicos en estudio, desde el punto de inicio en la E/B 25 hasta sus extremos respectivos, así como se describe en el texto anterior.

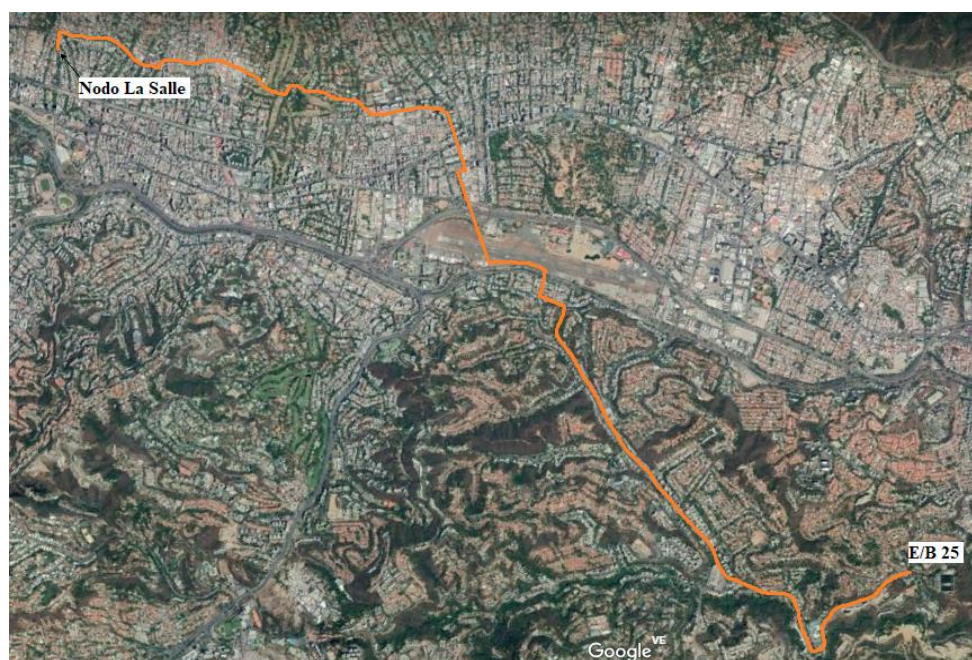


Figura N°11. Alimentador Norte en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

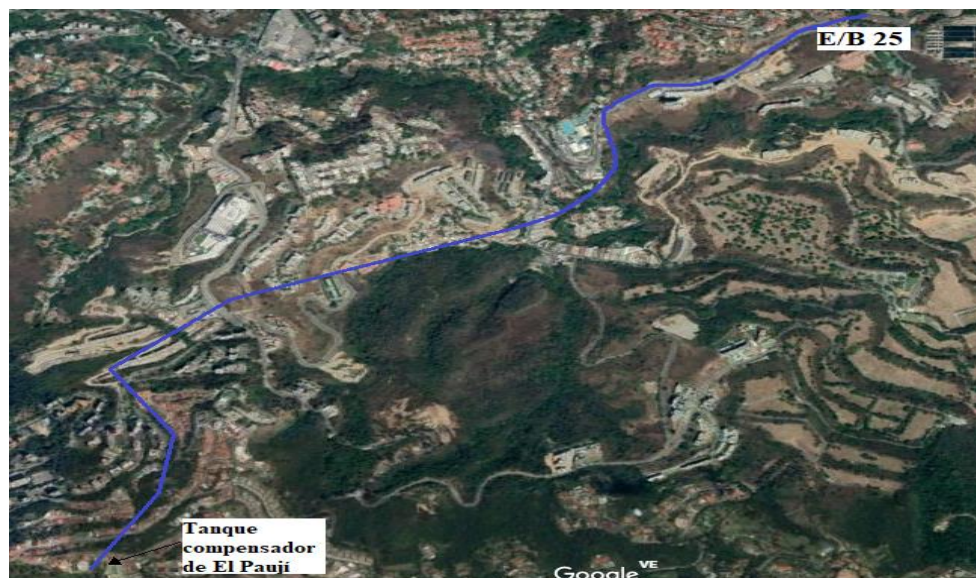


Figura N°12. Alimentador Sur en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

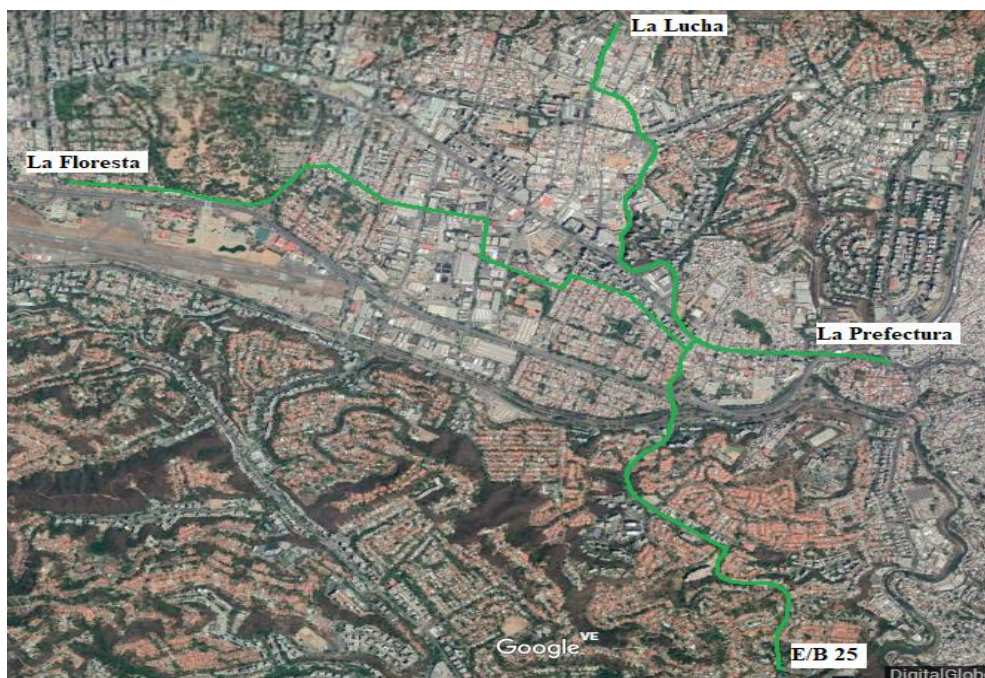


Figura N°13. Alimentador Este en estudio.

Fuente: Elaboración propia.



Con los factores del sistema ya establecidos, se calcularon las pérdidas de energía probables en función del caudal que se surte y se procedió al trazado de cada curva individual.

3.3.5. Montaje de las curvas reales de los Grupos de bombeo. Luego del análisis teórico de la estación, se tomaron mediciones de caudal y presión en la estación de bombeo, correspondientes a los Grupos Norte, Sur y al múltiple de succión. Además se entablaron conversaciones con el operador tanto de la estación como de la planta potabilizadora para así saber que maniobras se realizan y los efectos que tienen las mismas en el comportamiento hidráulico de la estación. Estas maniobras se refieren a cuantas bombas se encienden y qué válvulas se abren para abastecer un sector durante un tiempo determinado, así como los niveles piezométricos para cada alimentador.

Estas mediciones se organizaron en una hoja de Excel y se realizaron con ellas diversos gráficos, donde se observaron nubes de puntos de caudal y presión de los Grupos de bombeo Norte y Sur para diversas condiciones. Con estos valores de presión y caudal, se graficaron las curvas características reales de ambos grupos de bombeo

Una vez finalizados los distintos métodos gráficos, se obtuvo el funcionamiento teórico y real de la estación de bombeo, este último ajustado a las condiciones actuales de la misma, logrando así concebir una herramienta que permite la evaluación de la estación para diversos parámetros, como lo son operatividad, carga hidráulica, entre otros. De este modo, esta herramienta puede ser utilizada para el desarrollo y mejoramiento del esquema de abastecimiento en la ciudad de Caracas.

4.1. Descripción de los Sistemas Tuy I, II y III

Desde que se fundó la Villa de Caracas (AMC) hasta 1950, las necesidades de agua para consumo humano se satisfacían de fuentes propias, es decir, de la cuenca del río Guaire. A partir de la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad, el incremento de la demanda ha hecho necesario que se tenga que aprovechar fuentes externas al valle de Caracas para satisfacer la demanda de agua potable.

El sistema Tuy nace de la necesidad de transportar agua a la creciente población del Área Metropolitana de Caracas, ubicada a una cota promedio de 900 m.s.n.m. Para ello se inició el Tuy I en 1953, con la captación lateral del río Tuy en San Antonio de Yare. Luego el Tuy II en 1968 y el Tuy III en 1981.

Estos Sistemas están compuestos por diversas infraestructuras diseñadas para la captación, conducción y elevación de los caudales requeridos. En la Figura N°14 se presenta un esquema de los Sistemas Tuy I, II y III.

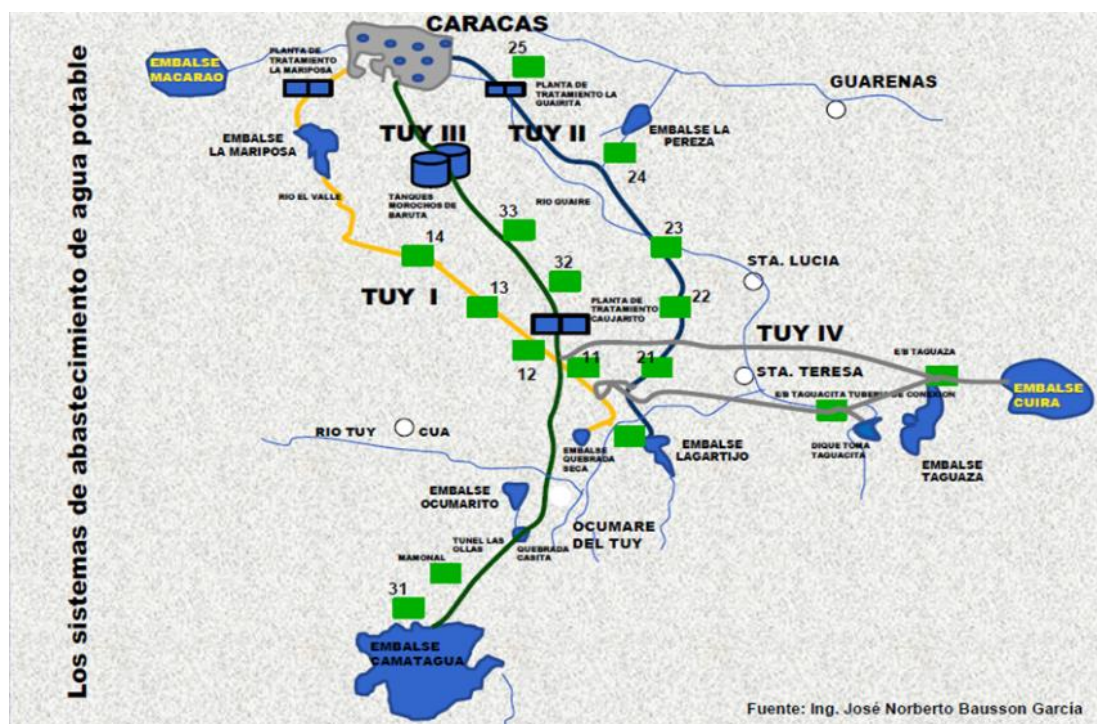


Figura N°14. Sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Caracas.

Fuente: Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.

En la Figura N°15 se observa el área que cubre cada uno de los sistemas Tuy en el Área Metropolitana de Caracas.

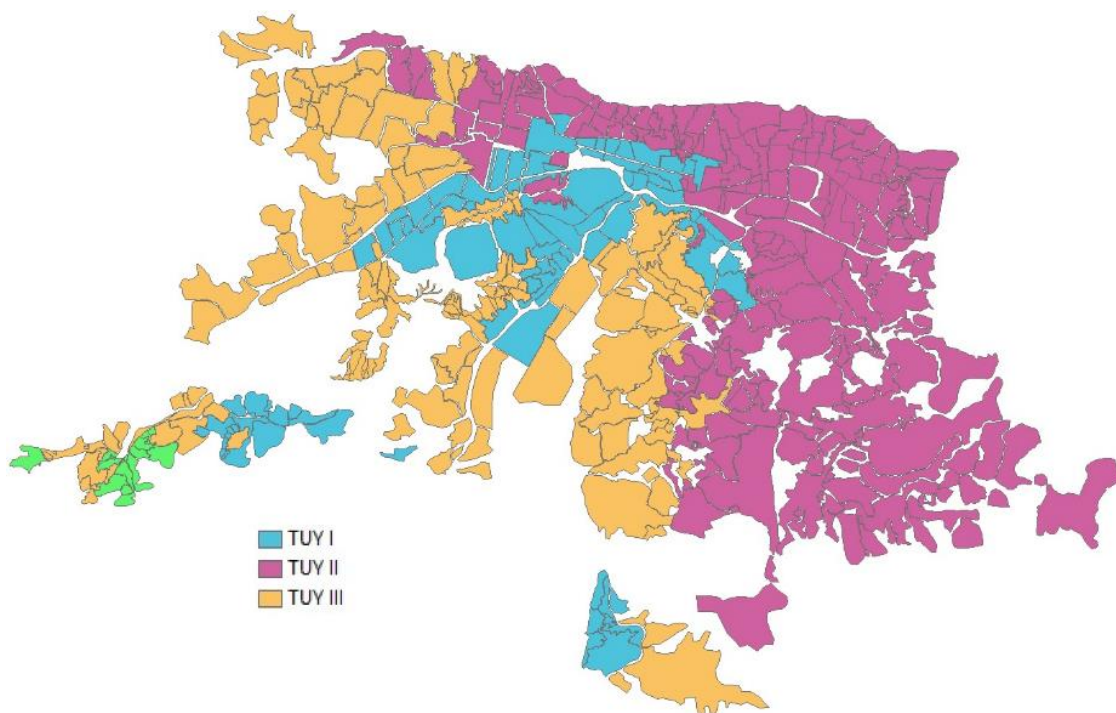


Figura N°15. Áreas de abastecimiento de agua que cubren cada uno de los sistemas Tuy.

Fuente: Hidrocapital

Desde sus inicios, el proceso de urbanización de la ciudad ha sido determinante en la configuración de la red de distribución de agua, pues parte de la misma fue construida de manera que se asegurara la capacidad hidráulica adecuada (Martínez, 2013). En cambio, en las zonas informales que comenzaron a aparecer a partir de la segunda mitad del siglo XX, las redes de distribución no han sido planificadas, dando como resultado una precaria calidad de la prestación del servicio. En estas áreas se registran ciclos de varios días sin agua, baja presión en la red y problemas en la potabilidad

Este trabajo de investigación corresponde al estudio de uno de los componentes más importantes del sistema Tuy II dentro de su función de abastecer a la ciudad de Caracas, como lo es la E/B 25. En atención a esto conviene, ante los diversos problemas en suministro, contextualizar el sistema y ver como se integran entre sí sus componentes hidráulicos.

El sistema del Tuy II tiene como fuente de producción fundamentalmente el agua almacenada en el embalse de Lagartijo, con eventuales refuerzos por interconexiones desde el sistema Taguaza-Taguacita y por aportes de la obra de derivación de San Antonio de Yare. El embalse de La Pereza se utiliza como un elemento compensador para almacenar los excesos no absorbidos por la demanda.

El embalse de Lagartijo se construyó entre los años 1960 y 1962, con una capacidad de almacenamiento de 80 millones de metros cúbicos. Se ubica cerca de San Francisco de Yare, en el estado Miranda.



Figura N°16. Embalse de Lagartijo.

Fuente: Diario Correo del Orinoco.

Posee cuatro estaciones entre bombeo, re-bombeo y más de 100 km de tuberías que trasportan el agua cruda desde sus fuentes hasta la Planta Potabilizadora “La Guairita” en el sector de Macaracuay, ya dentro de la ciudad de Caracas, que se encarga del tratamiento completo del agua para hacerla apta para el consumo. A su vez, la planta se encarga de redirigir su flujo hacia la última estación de bombeo del Sistema Tuy II, la E/B 25. Dicha estación se encuentra ubicada al sur-este de la ciudad de Caracas, a una cota de 925 m.s.n.m., desde allí cuenta con 2 grupos de bombeo, el grupo Norte y el grupo Sur, y a su vez con el inicio del Alimentador Este, que abastece por gravedad. El Sistema Tuy II abastece a los municipios de El Hatillo, la parte de Baruta, Sucre, y una gran parte del municipio de Libertador (Caracas).



4.2 Descripción del sistema de abastecimiento del Alimentador Norte y Mariche Norte

El sistema está diseñado de forma que bombea contra la red, con un sistema de almacenamiento al final de la misma, en la colina de El Calvario. Dicho sistema lo conforman tres tanques: el tanque Calvario Alto Viejo, el tanque Calvario Alto Nuevo y el tanque Calvario Bajo, estos se ubican entre la cota 970 y 978 m.s.n.m. El abastecimiento comienza una vez elevada la energía de flujo en la estación de bombeo 25 Norte, se transporta por presión al Alimentador Norte que recorre 84,19 km en toda su extensión. En su camino existen unas 25 derivaciones importantes, cambios de dirección y dispositivos de regulación que permiten un mayor control de la operación. Abastece más de 60 sectores en el norte de la ciudad de Caracas, los cuales se pueden englobar en dos partes:

- Al norte del Rio Guaire: desde Boleíta en el municipio Sucre, hasta Nueva Tacagua y los Magallanes de Catia, al oeste en el municipio Libertador.
- Al sur del Rio Guaire: Las zonas correspondientes al Cafetal, hasta Santa Inés y Lomas del Mirador de San Román.

En la avenida La Salle, parroquia El Recreo del municipio Libertador, el Alimentador Norte está interconectado con el Tuy III, que le aporta caudal y energía al flujo, entre válvulas y bypass se regula el aporte. A través de la conexión de Mariche Norte se abastecen sectores de Mariche parte Baja, a cotas entre 890 m.s.n.m y 1000 m.s.n.m.

A continuación, se muestra en la Figura N°17 el área de influencia del Alimentador Norte en la ciudad de Caracas.

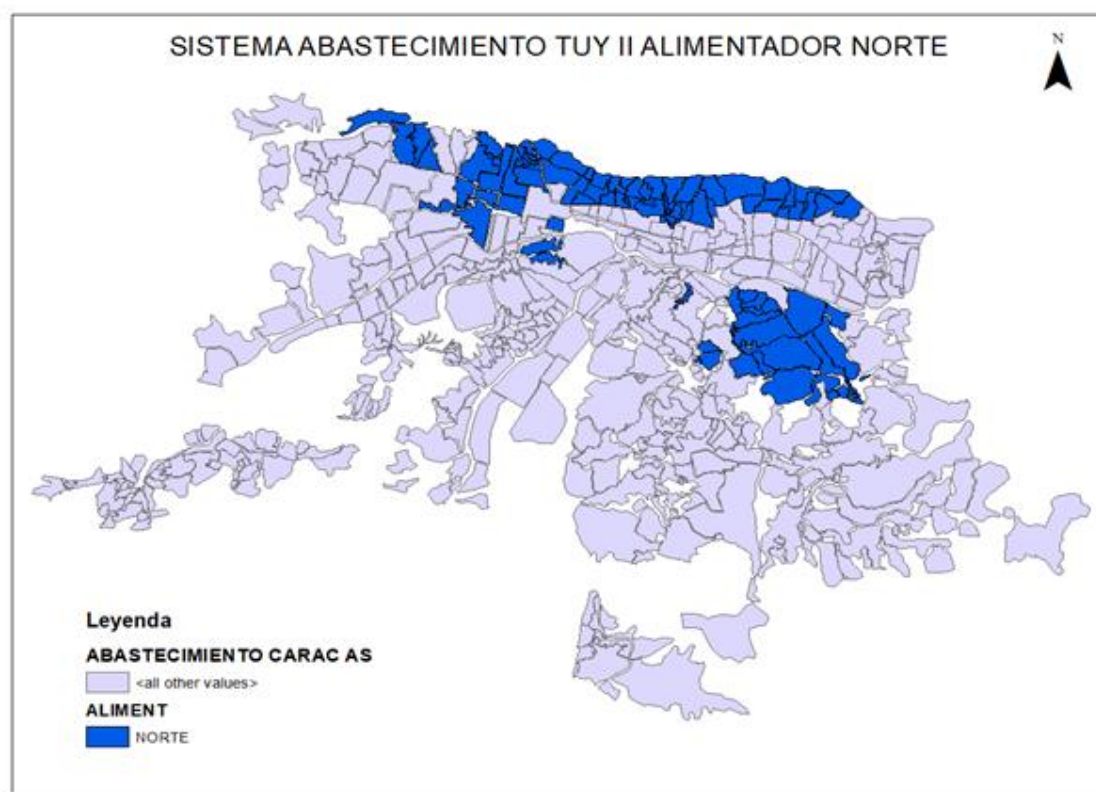


Figura N°17. Sectores que se abastecen del Alimentador Norte.

Fuente: Hidrocapital.

4.3 Descripción del sistema de abastecimiento del Alimentador Sur, Mariche Sur y Dolorita Sur.

A diferencia del Sistema de Abastecimiento Norte de la estación, el Sistema Sur está diseñado para bombear hacia el estanque compensador de El Paují, ubicado a una cota aproximada de 1240 m.s.n.m., a través de una tubería de 750 mm (30”) de diámetro, con una longitud de 5430 m desde la estación hasta el estanque. Además de esto, la estación 25 Sur también bombea hacia el estanque compensador de la Urbanización de El Encantado a una cota aproximada de 1238 m.s.n.m., el cual se encuentra ubicado a la misma cota que el estanque de El Paují, pero con una menor longitud de tubería. Por último, la estación bombea agua a las zonas de Dolorita Sur y Mariche Sur, en Petare.

El Sistema de Abastecimiento Sur tiene el objetivo de abastecer más de 25 sectores en el sur-este de la ciudad de Caracas, los cuales se pueden englobar en la zona comprendida entre La Trinidad, Los Naranjos, El Hatillo, La Lagunita, Fila de Mariche y Dolorita y El Encantado.

A continuación, se muestra en la Figura N°18 el área de influencia del Alimentador Sur en la ciudad de Caracas.

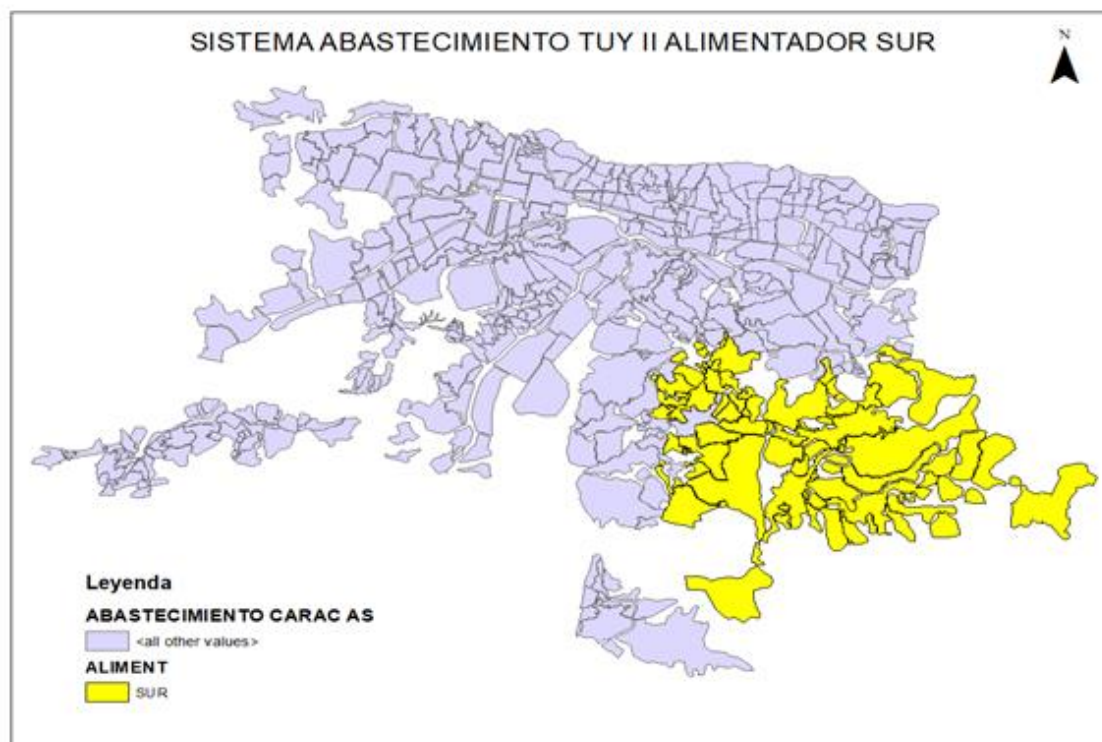


Figura N°18. Sectores que se abastecen del Alimentador Sur.

Fuente: Hidrocapital

4.4 Descripción del sistema de Abastecimiento Este de la ciudad de Caracas

Este sistema está diseñado para descargar directamente a la red. Se inicia a la salida de la estación de bombeo 25 a gravedad, hasta los puntos donde se rebombee el flujo, como las que se encuentran ubicadas en El Marqués y en Chuao. En su trayectoria, el flujo es transportado a través del Alimentador Este que atraviesa las comunidades de Macaracuay, Brisas de Petare y Colinas de La California, llega hasta un Nodo de Distribución, en la Avenida París del sector La California y se divide en 3 matrices de distribución. Estos cubren los siguientes sectores:

- Matriz 1, Oeste: Sans Souci, El Rosal, Las Mercedes, Tamanaco, La Carlota, Chuao, Los Ruices y La California.

- Matriz 2, Norte: San Miguel, Campo Rico, El Marqués Sur, El Marqués E/B, Horizonte, Industrial Boleita, Monte Cristo, Santa Eduvigis, Parque del Este, Bello Campo, La Castellana, La Lucha, San Marino, Boleita y Este de Boleita.
- Matriz 3, Este: El Llanito, El Dorado, Lebrún, Buena Vista, Casco Petare y La Urbina

En cada uno de estos ramales existen diferentes cambios de diámetros, derivaciones, cambios de dirección y dispositivos de regulación que permiten un mayor control en su administración. A su vez, posee un dispositivo de control llamado Válvula Reguladora de Presión (VRP), con una tanquilla que lleva por nombre “Nivel 0” ubicada en el sector de La California, cerca del Nodo de Distribución antes mencionado en el matriz oeste. Esta válvula se encarga de disminuir la energía que el flujo lleva en ese punto del trayecto, a valores manejables para la red en su transporte.

A continuación, se muestra en la Figura N°19 el área de influencia del Alimentador Este en la ciudad de Caracas.

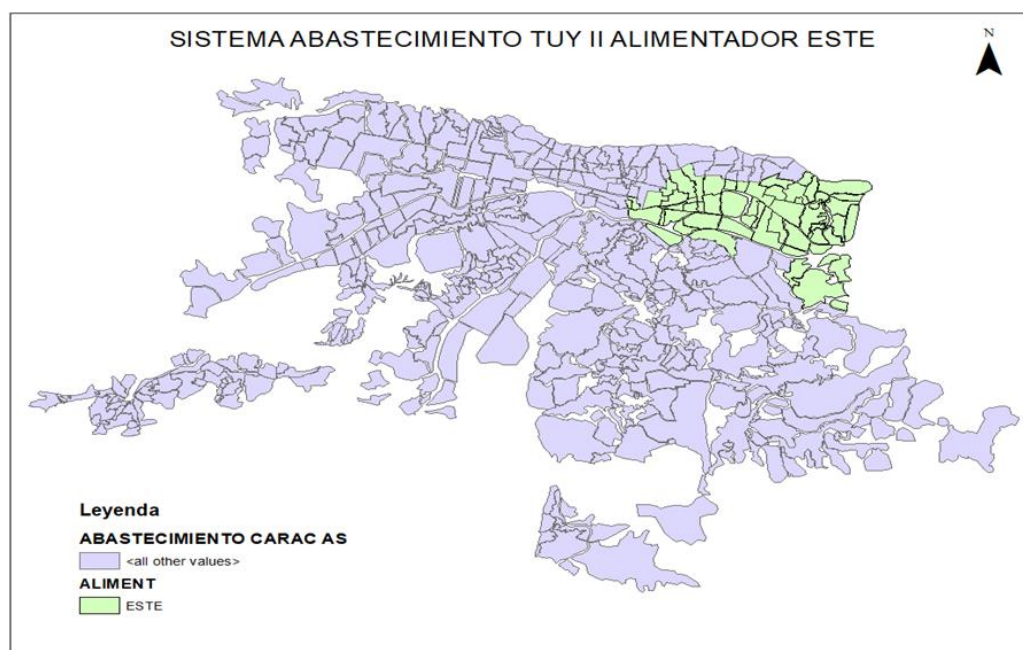


Figura N°19. Sectores que se abastecen del Alimentador Este.

Fuente: Hidrocapital



CAPÍTULO V. DIAGNOSTICO FÍSICO DE LA E/B 25

5.1. Descripción general de la estación de bombeo

La estación de bombeo 25 del Sistema Tuy II se ubica dentro de la ciudad de Caracas, en la urbanización de Macaracuay, al final de la avenida Principal de Macaracuay a cota de 925 m.s.n.m. Recibe el agua que proviene de la planta potabilizadora de La Guairita, aportándole energía para así ser transportada a los diferentes usuarios en diversos sectores del Este, Norte y Sur de la ciudad de Caracas.

En la Figura N°20 podemos observar como es el arreglo completo de la estación, apreciándose todas sus tuberías y válvulas principales, sobre una foto aérea de la misma.

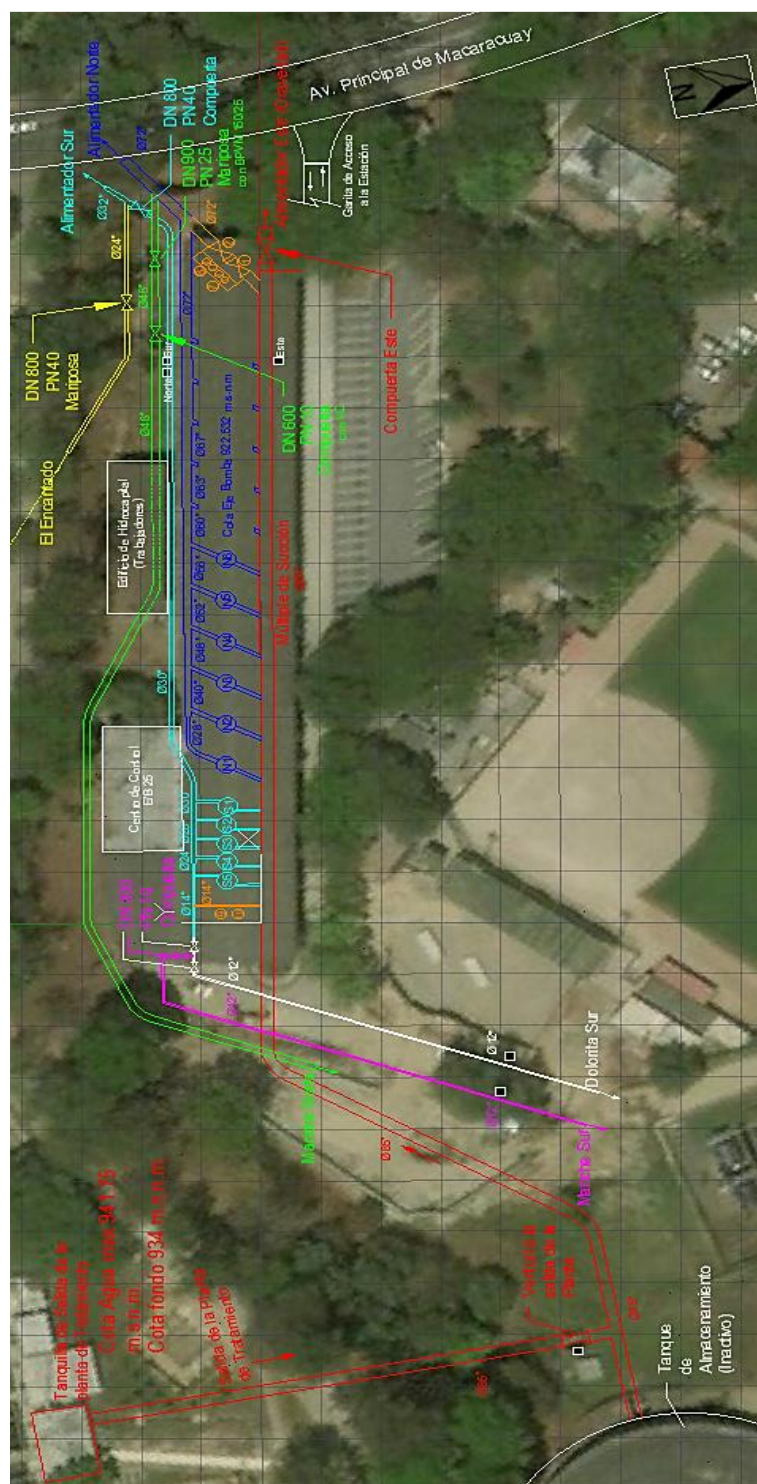


Figura N°20. Esquema completo de tuberías dentro de la estación de bombeo 25.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta una breve descripción de los componentes de La estación de bombeo 25.

- Tanque compensador: se encuentra actualmente fuera de funcionamiento debido a fallas estructurales. Este tanque fue construido para generar carga hidráulica suficiente en el múltiple de succión de los Grupos de bombeo y también para generar volúmenes de compensación. Tiene cerca de 60 m de diámetro y unos 10 m de altura. Se ubica en los terrenos de la estación, en un espacio entre la misma y la planta potabilizadora, a una cota de fondo de 936 m.s.n.m. y posee un volumen aproximado de 28274 m^3 .



Figura N°21. Tanque compensador de la estación de bombeo.

Fuente: Elaboración propia.

Según información de Hidrocapital, durante su construcción la cúpula superior se precipitó hacia el fondo, pero no causó ningún problema relevante. Posterior a su construcción, el tanque estuvo funcionando por un tiempo, sin embargo, debido a unas fallas estructurales en la losa, hubo que sacarlo de servicio nuevamente, por lo que se halla inoperativo en la actualidad.

Debido a esto, el operador de la estación junto con el de la planta de potabilización realiza diversas maniobras, que involucran válvulas y bombas, para garantizar así que siempre haya un mínimo de $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ (10 m.c.a) de presión en el múltiple de succión. Según los registros tomados por los autores de este trabajo, esto solo es posible manteniendo un máximo de dos bombas del grupo Norte encendidas, manteniendo el grupo Sur apagado si la Compuerta del Este se encuentra 100% abierta. Por el contrario, si la Compuerta del Este se encuentra cerrada, puede encenderse todo el grupo Sur, manteniendo la condición de un máximo de dos bombas del grupo Norte encendidas.

Actualmente, la tanquilla de salida de la planta de potabilización es la que se encarga de proporcionar cierto nivel de compensación para la succión de la estación.

- **Múltiple de Succión:** Se ubica bajo la losa de concreto más al norte de la estación. Posee una longitud de 130,4 m desde el muro este de la estación, por donde ingresa, hasta el muro oeste, justo antes del Alimentador Este. Se encarga de conducir el agua a la succión de cada uno de los grupos de bombeo y a la descarga por gravedad en su tramo final, la cual da inicio al Alimentador Este. Tiene un diámetro de 2160 mm (85"). El múltiple posee conectados un medidor de presión a la entrada y un medidor de caudal justo antes de su descarga. A lo largo de su longitud tiene dos ventosas que se encargan de expulsar el aire que se encuentre dentro de la tubería.



Figura N°22. Múltiple de succión de la estación en conexión con el sistema contra golpe de ariete del Grupo de bombeo Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Ambas ventosas sobresalen por sobre la losa, por encima del múltiple de succión. Son fabricadas por la empresa alemana Airvalve, tienen una presión nominal (PN) $64 \frac{kg}{cm^2}$ y poseen una pequeña válvula de compuerta. Presentan desgaste a simple vista y solo se observó una vez en funcionamiento la que se encuentra más cercana al Alimentador Este. Ambas poseen un diámetro nominal de 25.4 mm (1") y se pueden apreciar en la Figura N°23.



Figura N°23. Ventosas del múltiple de succión.

Fuente: Elaboración propia.

- Los Grupos de bombeo Sur: Están conformados por cinco bombas centrífugas arregladas en paralelo, cuyas características se verán en los apartados más adelante. Cada ramal está compuesto por un tramo de succión de 400 mm (16”) de diámetro, la bomba centrífuga y el tramo de descarga de 350 mm (14”). Conduce el flujo bombeado hacia el Alimentador Sur.



Figura N°24. Bombas 5, 4, 3 y 2 de las cinco que forman parte del Grupo de bombeo Sur.

Fuente: Elaboración propia.

- Los Grupos de bombeo Norte: Los cuales están conformados por seis bombas centrífugas arregladas en paralelo, cuyas características se verán en los apartados más adelante. Cada ramal se compone de un tramo de succión de 700 mm (28”) de diámetro, bomba centrífuga y tramo de descarga del ramal del mismo diámetro. Conectarse al Alimentador Norte.



Figura N°25. Bombas que forman parte del Grupo de bombeo Norte.

Fuente: Elaboración propia.

- Descarga del Alimentador Este: El cual forma parte del múltiple de succión de la estación de bombeo. Posee una válvula mariposa de 1397 mm (55”) de diámetro, como órgano de paso y una tubería bypass con una pequeña válvula de mariposa. La válvula de mariposa antes mencionada es considerada como el final del múltiple de succión y el comienzo del Alimentador Este.



Figura N°26. Válvula mariposa del Alimentador Este conocida como la “Compuerta del Este”.

Fuente: Hidroven.

- Dispositivos disipadores de Golpe de Ariete: Hay uno para cada grupo de bombeo y ambos están compuestos por conexiones directas entre el múltiple de succión y el alimentador respectivo, manteniendo el diámetro de esta última tubería en el lugar donde se conectan. Posee diversos tipos de válvulas, entre las cuales podemos encontrar válvulas de paso anular, de compuerta y mariposas, estas dos últimas con sus respectivas tuberías bypass. En la Figura N°27 podemos observar estos dispositivos para el Grupo de Bombeo Norte y Sur respectivamente.



Figura N°27. Dispositivos disipadores de Golpe de Ariete del Grupo de bombeo Norte y del Grupo de bombeo Sur respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

- Centro de Control de la estación: Desde donde se gestiona la misma y está ubicado el escritorio del operador. En este lugar se encuentra el diario del operador, donde se toma registro de las maniobras, mediciones, visitas y cambios ocurridos en la estación. También se localizan los tres manómetros que indican la presión del múltiple de succión y de los Grupos

de bombeo Norte y Sur en su tramo de descarga. Cabe destacar que, en cuanto a maniobras dentro de la estación, el operador y el personal de la misma se encarga únicamente de aquellas maniobras que involucren la conexión y desconexión de las bombas, las aperturas de las válvulas de los ramales y del control de la válvula mariposa del Alimentador Este junto con su válvula del bypass. El manejo de los demás dispositivos son responsabilidad de personal externo a dicha estación, pertenecientes a Hidrocapital según su esquema de abastecimiento.



Figura N°28. Manómetros del centro de control, de izquierda a derecha: Grupo Sur, múltiple de succión y Grupo Norte.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a razones que no están en nuestro conocimiento, el manómetro del múltiple de succión que se encuentra en el centro de control de la estación debe leerse con una escala externa a la del manómetro en sí. En la Figura N°29 se puede apreciar dicha escala.



Figura N°29. Escala con la que se lee el manómetro de succión.

Fuente: Elaboración propia.



- Válvulas de Mariche, Dolorita y El Encantado: Además del inicio de los Alimentadores Norte, Sur y Este, en la estación también se encuentran otros Alimentadores, de menor alcance en este estudio que los antes mencionadas, y que son a su vez derivaciones de los Alimentadores Norte y Sur. Estas tuberías se encargan de transportar el agua hacia las zonas de Mariche y Dolorita en Petare y al tanque de El Encantado. Este esquema de distribución es controlado desde la estación mediante diversas válvulas, entre las que encontramos:
 - Pertenecientes al Alimentador Norte: Válvula de mariposa DN 900 mm y PN 25 $\frac{kg}{cm^2}$; y válvula de compuerta DN 600 mm y PN 10 $\frac{kg}{cm^2}$. Ambas ubicadas en la tubería de Mariche Norte.
 - Pertenecientes al Alimentador Sur: Válvula mariposa ubicada en la tubería de El Encantado con DN 800 mm y PN 40 $\frac{kg}{cm^2}$. Válvula de Compuerta, conocida como “la manivela”, ubicada en el Alimentador Sur pero en sentido Este. Después de esta válvula, la tubería se bifurca en dos tramos, uno que pasa por la válvula de compuerta de Mariche Sur y otra que pasa por la válvula de compuerta de Dolorita Sur. Estas tres válvulas poseen las mismas características, tienen DN 300 mm y PN 10 $\frac{kg}{cm^2}$.

5.2. Descripción física de los grupos de bombeo Norte y Sur, de la Compuerta del Este y otros elementos de la estación

Los Grupos de bombeo y la descarga Este se conectan a diversos Alimentadores que comienzan dentro de la estación y conducen agua a distintos sectores de la ciudad, según el esquema de abastecimiento. En la Figura N°30 se muestran los nombres de cada una de las tuberías de conducción nacientes en la estación para cada Grupo y para la descarga del Este.

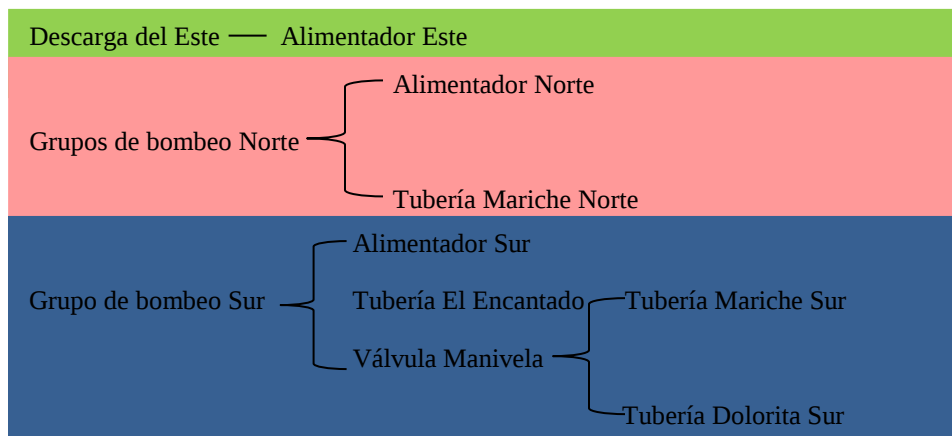


Figura N°30. Esquema de distribución de la estación de bombeo 25.

Fuente: Elaboración propia.

El arreglo de los grupos de bombeo de la estación, como se expresó anteriormente, es en paralelo, tanto para el Grupo Norte como para el Sur. El grupo Norte está formado por once ramales de bombeo, de los cuales seis están habilitados pero solo dos funcionan. Las bombas son enumeradas de izquierda a derecha si nos ubicamos encima del múltiple de succión. El Grupo Sur consta de cinco bombas, enumeradas de derecha a izquierda si ubicamos en el mismo lugar. En la Figura N°31 podemos apreciar cómo se encuentran distribuidas las bombas

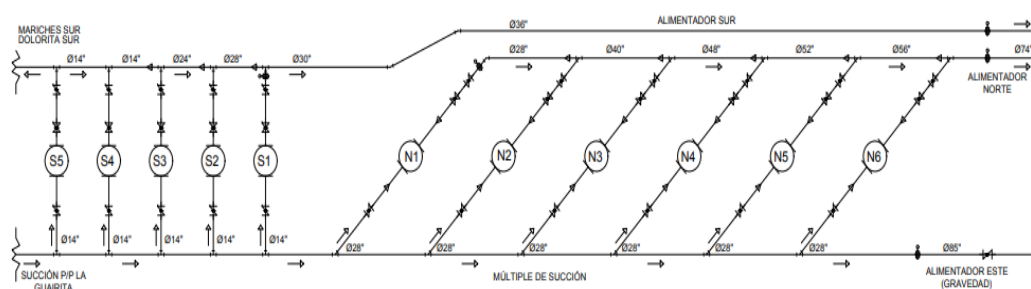


Figura N°31. Arreglo esquemático de los Grupos de bombeo de la estación 25.

Fuente: Elaboración propia.

En la estación existen tres medidores electromagnéticos de caudal, uno para cada alimentador. Los medidores del Alimentador Norte y Alimentador Sur se encuentran juntos, cerca de la válvula de compuerta de Mariche Norte, mientras que el medidor del Alimentador Este se encuentra sobre la losa encima del múltiple de succión, cerca de los dispositivos de golpe de ariete del Grupo de bombeo Norte. En la Figura N°32 se pueden observar los medidores.



Figura N°32. Medidores de caudal de los Alimentadores Sur, Norte y Este respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las características, estado actual y demás aspectos que posee cada elemento de la estación y los grupos de Bombeo. Cabe destacar que, si se quiere conocer más acerca de la condición de los elementos de la estación, junto a este Trabajo Especial de Grado se anexa una carpeta de archivos con una memoria fotográfica de la estación completa.

5.2.1. Descripción física de los grupos de bombeo Norte. Originalmente, en los planos de la estación, se diseñaron once ramales de bombeo para el Grupo Norte, los cuales, por razones desconocidas, no se encuentran instalados actualmente. Dentro de la estación se pueden observar, cubiertas por tapas metálicas, cinco fosas con espacios de derivación, sellados con un elemento circular, como se puede apreciar en la Figura N°33.



Figura N°33. Uno de los ramales construidos y fuera de operación, pertenecientes a los grupos de bombeo Norte.

Fuente: Elaboración propia.

De los seis ramales de bombeo habilitados solo están completamente operativos dos de ellos (el ramal 1 y el ramal 5), los demás no se encuentran operativos por diversas razones que se nombrarán más adelante.

Cada uno de los ramales, con excepción del ramal número 4, posee una bomba centrífuga KSB RDL 500-71L con las siguientes características:

- Fecha de fabricación: 1967
- Caudal: $3600 \frac{m^3}{h}$ (1000 l/s)
- Altura manométrica: 110 m
- Velocidad: 1200 rpm



Figura N°34. Bomba centrífuga KSB RDL 500-71L del grupo de bombeo Norte.

Fuente: Elaboración propia.

El ramal número 4 posee una bomba centrífuga KSB RDL 400-540A, la cual se encuentra actualmente a espera de instalarse. Cuenta con las siguientes características:

- Fecha de fabricación: 2011
- Caudal: $3240 \frac{m^3}{h}$ (900 l/s)
- Altura manométrica: 110 m
- Velocidad: 1750 rpm



Figura N°35. Bomba centrífuga KSB RDL 400-540A del ramal 4 del grupo de bombeo Norte.

Fuente: Elaboración propia.

Según la información oficial de Hidrocapital, los ejes de las bombas se encuentran ubicados a una cota de 922.53 m.sn.m.

A pesar de la existencia de una bomba diferente en uno de los ramales, esta es sumamente parecida en cuanto a características hidráulicas a las otras 5 bombas del grupo, las cuales, por su estado actual que será descrito más adelante, se espera que sean cambiadas prontamente durante trabajos de mantenimiento, sustituyéndolas así por el modelo del 2011, el cual es más moderno.

Debido a la fecha de fabricación de los modelos RDL 500-71L, estos se encuentran fuera de los catálogos de KSB de su página web y de los físicos que poseen entes relacionados con Hidrocapital, por lo que pueden considerarse descontinuadas, siendo sumamente difícil encontrar sus curvas características. Por estas razones, para el método gráfico, se consideró la curva característica del modelo KSB RDL 400-540A, ya que, como se dijo antes, es lo suficientemente parecida en cuanto a características hidráulicas, haciendo que las variaciones sean despreciables.

Todos los conjuntos moto-bombas del Grupo son de instalación horizontal, los cuales operan con seis unidades de motores de inducción, que según un informe de Hidrocapital (2005), se alimentan eléctricamente de una barra a 6,6 Kv y 60 Hz, la cual es a su vez alimentada desde el secundario de dos transformadores trifásicos. Los seis motores de la E/B Norte son iguales y tienen las características de placa que se pueden observar en la Tabla N°5.

Tabla N°5. Características de placa de motores del Grupo Norte.

Marca	Siemens
Tensión	6600 V
Corriente	245 A
Potencia	2400 kW
Cos φ	0,89
Velocidad	-
Q refriger.	190 l/min
Motor	Inducción a 60 Hz

Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de los ramales se encuentra conectado al múltiple de succión con un ángulo de 60° en el plano horizontal y llega con este mismo ángulo al Alimentador Norte. Todos los ramales presentan los dispositivos que veremos a continuación, variando su modelo y año de fabricación en algunos casos.

En el tramo de succión:

- Tubería principal de entrada al ramal, la cual es una derivación del múltiple de succión que posee un diámetro de 700 mm (28").
- Válvula Mariposa VAG EKN de eje horizontal. Presión nominal (PN) $10 \frac{kg}{cm^2}$, diámetro de 700 mm (28"). Es la misma para todo el Grupo de bombeo Norte.

**Figura N°36.** Válvula mariposa VAG EKN.

Fuente: ERIKS-Econosto Group.

- Contracción gradual de longitud corta, que va de un diámetro de 700mm (28") a 540 mm (20"), a través de una longitud horizontal aproximada de 40 cm.
- Tramo de tubería, de aproximadamente 80 cm de longitud horizontal.



Figura N°37. Tubería principal de entrada al ramal, válvula mariposa, contracción y tramo de tubería antes de la bomba del ramal número 3.

Fuente: Elaboración propia.

- Conjunto moto-bomba, siendo las bombas centrifugas KSB, modelo RDL 500-71L para los ramales 1, 2, 3, 5 y 6; y modelo KSB RDL 400-540A para el ramal 4.

En el tramo de descarga:

- Expansión gradual de longitud mediana, que va de un diámetro de 400 mm (16") a 700 mm (28"), a través de una longitud horizontal aproximada de 169 cm.
- Válvula de paso anular, de las cuales existen dos modelos colocados en los grupos de bombeo Norte, ambos con un contrapeso hidráulico y un actuador eléctrico. Todas trabajan con una presión nominal (PN) $25 \frac{kg}{cm^2}$ y diámetro de 700 mm (28").
- Válvula mariposa VAG EKN de eje vertical, con presión nominal (PN) $25 \frac{kg}{cm^2}$ y diámetro de 700 mm (28"). Este modelo es diferente al que se encuentra antes de la bomba. Cuenta con una pequeña tubería Bypass con una válvula de compuerta en ella.
- Ramal de descarga al Alimentador Norte, la cual es parte de una confluencia que posee un diámetro de 700 mm (28").



Figura N°38. Expansión, válvula de paso anular, válvula mariposa y tubería principal de salida al Alimentador Norte del ramal número 3.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se expondrá la condición de cada ramal individualmente, en el orden anteriormente mostrado.

Ramal número 1. Es uno de los dos únicos ramales operativos del Grupo Norte y suele encontrarse encendido. Sin embargo, es uno de los ramales que presenta mayor deterioro y desgaste superficial. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula mariposa de la succión: Es una VAG EKN de eje horizontal y se encuentra ubicada en el tramo de succión, antes de la bomba. Este modelo se repite en todos los ramales de bombeo. Esta válvula no presenta deterioro o desgaste a simple vista.
- Tramos de tubería: Todos los tramos de tubería, la contracción y la expansión presentan inicios de deterioro superficial.
- Bomba centrífuga: Es el elemento que presenta mayor deterioro y desgaste en este ramal. La bomba tiene inhabilitados por completo los tres termómetros, pero se observa que estos están conectados a diversos lugares de la misma. Además de esto, únicamente tiene conectado uno de los tres manómetros que posee y se desconoce su operatividad debido a su estado de decadencia. La bomba en sí, tiene partes de la carcasa que se encuentran fisuradas y con pequeñas fugas de agua que son solventadas provisionalmente con prendas de vestir, tal como la de la Figura N°39.



Figura N°39. Fuga de agua en la bomba centrífuga del ramal número 1, solventada de forma inapropiada.

Fuente: Elaboración propia.

- Motor: El motor de este conjunto se encuentra en condiciones operativa. La carcasa del motor no es la que le corresponde, ya que tiene escrito que pertenece al motor del conjunto moto-bomba del ramal número 6.
- Válvula de paso anular de la descarga: Es un modelo particularmente antiguo según la casa comercial VAG en Venezuela, por lo que no se encuentra en los catálogos comerciales. Tiene una forma de carcasa particular, la cual se asemeja a dos esferas picadas por la mitad y ensambladas en ese mismo por el eje central. Se encuentra en funcionamiento.
- Válvula mariposa de la descarga: Se encuentra en el tramo de descarga, antes de la salida hacia el Alimentador Norte, es una VAG EKN de eje vertical. Esta se repite en todos los ramales de bombeo. Este modelo de válvula mariposa, al igual que la de paso anular, es antiguo y tampoco se encuentra en los catálogos actuales de la empresa VAG. La válvula se encuentra deteriorada, no posee instalada su manivela de control, por lo que presenta dificultad para cerrarla. Además, posee filtraciones de agua donde debería encontrarse dicha manivela, lo que genera corrosión en la superficie de la misma.



Figura N°40. Ramal de bombeo número 1, grupos Norte E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal número 2. Este ramal no se encuentra operativo, sin embargo no presenta mayor deterioro superficialmente, a excepción de la bomba. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula mariposa de la succión: VAG EKN de eje horizontal. No presenta deterioro o desgaste a simple vista.
- Tramos de tubería: Todos los tramos de tubería, la contracción y la expansión se encuentran en buen estado superficialmente.
- Bomba centrífuga: Al igual que en la bomba del ramal número 1, esta bomba tiene inhabilitados por completo sus tres termómetros. Tiene conectados los tres manómetros que debe tener, pero, como se puede ver en la Figura N°41, se encuentran en muy mal estado, por lo que desconoce su operatividad. Además, posee uno de los apoyos del eje del impelente de la bomba sin su carcasa.



Figura N°41. Manómetros de la bomba centrífuga del ramal número 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial, pero debido a que no está en funcionamiento, no se conoce su operatividad. No tiene colocada su carcasa.
- Válvula de paso anular de la descarga: La válvula que se encuentra en este ramal es igual al del ramal número 1. Tiene el actuador eléctrico desarmado y fue removido el contrapeso hidráulico.
- Válvula mariposa de la descarga: VAG EKN de eje vertical. No presenta deterioro a simple vista.



Figura N°42. Ramal de bombeo número 2, grupos Norte E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal número 3. Este ramal no se encuentra operativo y actualmente está removida la válvula de paso anular. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula mariposa de la succión: VAG EKN de eje horizontal. No presenta deterioro a simple vista, sin embargo no funciona correctamente, ya que en la junta entre un tramo de tubería y la bomba se puede observar una fuga de agua.
- Tramos de tubería: La expansión gradual después de la bomba se encuentra bastante mal internamente, se puede apreciar como se desprendió una capa de la pared interna de la misma que se encuentra depositada dentro de la tubería.
- Bomba centrífuga: No posee termómetros instalados. Superficialmente se encuentra en mejor estado que las dos anteriores. Tiene conectados dos de los tres manómetros que debe tener y a diferencia de los casos anteriores, no se encuentran en mal estado, pero no se conoce su operatividad.



Figura N°43. Manómetros de la bomba centrífuga del ramal número 3.

Fuente: Elaboración propia.

- Motor: El motor de este conjunto se encuentra desinstalado actualmente.
- Válvula de paso anular de la descarga: La válvula de este conjunto se encuentra desinstalada actualmente.
- Válvula mariposa de la descarga: VAG EKN de eje vertical. A simple vista internamente y externamente no se encuentra ningún tipo de problema.



Figura N°44. Ramal de bombeo número 3, grupos Norte E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal número 4. Este ramal no se encuentra operativo y actualmente está completamente desarmado. En este ramal se encuentra la bomba KSB RDL 400-540A. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula mariposa de la succión: Se encuentra desinstalada actualmente.
- Tramos de tubería: Se encuentran desinstalados actualmente. La expansión gradual después de la bomba se encuentra en buen estado internamente.
- Bomba centrífuga: Es totalmente nueva, por lo que se encuentra en excelente estado. Está actualmente desinstalada pero colocada en su lugar de trabajo.
- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial, pero debido a que no está en funcionamiento, no se conoce su operatividad. No tiene colocada su carcasa.
- Válvula de paso anular de la descarga: La válvula de este conjunto se encuentra desinstalada actualmente. Es el mismo modelo visto en los anteriores ramales. Superficialmente se encuentra en buen estado, tanto por fuera como por dentro. Tiene desarmado el actuador eléctrico.
- Válvula mariposa de la descarga: Se encuentra desinstalada actualmente.



Figura N°45. Ramal de bombeo número 4, grupos Norte E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal número 5. Es el segundo de los dos únicos ramales operativos del Grupo Norte y suele encontrarse siempre encendido. Es otro de los ramales más deteriorados en cuanto a la bomba se refiere. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula mariposa de la succión: VAG EKN de eje horizontal. No presenta deterioro a simple vista.
- Tramos de tubería: No presentan deterioro superficial.
- Bomba centrífuga: Presenta un gran nivel de deterioro y desgaste. No tiene instalado ningún termómetro. Tiene conectados dos de los tres manómetros que debería tener y estos se encuentran en tan mal estado que no se conoce su operatividad. Tiene fugas de agua en diversas partes de la misma, algunas que brotan libremente y otras solventadas provisionalmente con prendas de vestir. Esto último se puede observar en la Figura N°46.

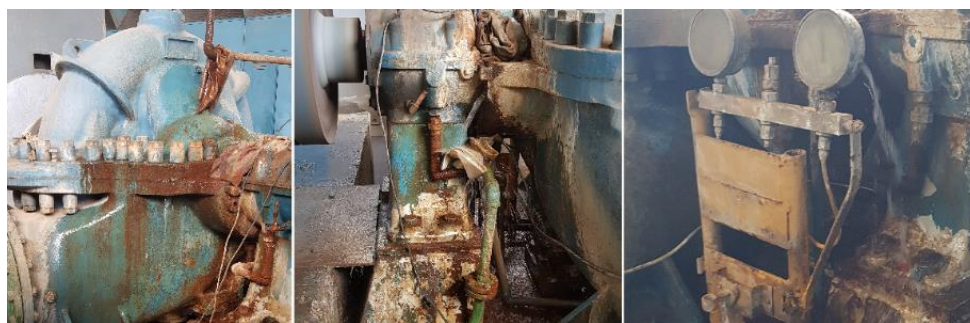


Figura N°46. Fugas de agua de la bomba del ramal número 5, de izquierda a derecha: Fugas soportadas por trapos, fuga por el eje de la bomba, fuga por el eje de la bomba cerca de los manómetros.

Fuente: Elaboración propia.

- Motor: El motor de este conjunto no presenta complicaciones a simple vista y está en funcionamiento. Tiene colocada su carcasa.
- Válvula de paso anular de la descarga: Esta es la única válvula del grupo de bombeo Norte que es diferente a las anteriores. Es una válvula de paso anular VAG RIKO, actualmente en catálogo. A diferencia del otro modelo, esta tiene un cuerpo mucho más pequeño, conformado por una sola pieza sin juntas en su eje central.



Figura N°47. Válvula de paso anular VAG RIKO del ramal número 5.

Fuente: Elaboración propia.

- Válvula mariposa de la descarga: VAG EKN de eje vertical. A simple vista no presenta deterioro por desgaste y está en funcionamiento.



Figura N°48. Ramal de bombeo número 5, grupos Norte E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal número 6. Este es el último ramal del Grupo Norte. No se encuentra operativo actualmente y no tiene instalada la válvula de paso anular. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula mariposa de la succión: VAG EKN de eje horizontal. Esta válvula no presenta deterioro o desgaste a simple vista, sin embargo no funciona correctamente, ya que en el tramo de la descarga del ramal donde debería estar instalada la válvula de paso anual se puede observar como fluye el agua hacia el suelo, indicando que no cierra como debería.
- Tramos de tubería: La expansión gradual después de la bomba se encuentra internamente en buen estado.
- Bomba centrífuga: No presenta deterioro alarmante superficialmente pero si algo de desgaste. Esta bomba fue reconstruida en algún momento por la empresa Bombas Goulds de Venezuela, como lo indica una placa encontrada en su carcasa. No tiene colocadas las carcassas que cubren los extremos del eje de la bomba. No tiene instalado ningún termómetro, sin embargo si tiene el tablero donde deberían estar. Tiene conectados dos de los tres manómetros que debería tener y se encuentra en muy mal estado, desconociéndose su operatividad.
- Motor: El motor de este conjunto no presenta superficialmente señales de deterioro o desgaste, pero no se conoce su operatividad. Tiene colocada su carcasa.
- Válvula de paso anular de la descarga: No se encuentra instalada.
- Válvula mariposa de la descarga: VAG EKN de eje vertical. A simple vista se encuentra un buen estado internamente y externamente.



Figura N°49. Ramal de bombeo número 6, grupos Norte E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Descripción física de los grupos de bombeo Sur. A diferencia de los grupos de bombeo Norte, los cuales tienen ubicadas las bombas a la misma altura que los tramos de succión y descarga de los ramales, los grupos Sur tienen las bombas a una altura mayor que dichos tramos. Las bombas se ubican al mismo nivel de la losa que se encuentra por encima del múltiple de succión, mientras que los tramos de succión y descarga se

encuentran por debajo de esta, haciendo necesario el uso de codos para unir cada bomba con su succión y descarga respectiva.

Cada uno de los ramales posee una bomba centrífuga KSB HE 250-62 con las siguientes características:

- Fecha de fabricación: 1974
- Caudal: $1115 \frac{m^3}{h}$ (310 l/s)
- Altura manométrica: 336 m
- Velocidad: 1800 rpm



Figura N°50. Bomba centrífuga KSB HE 250-62 del Grupo de bombeo Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que sucede con la mayoría de las bombas del Grupo Norte, los modelos HE 250-62 se encuentran fuera de los catálogos de KSB de su página web y de los físicos que poseen entes relacionados con Hidrocapital, por lo que probablemente esas bombas estén discontinuadas. A pesar de esto se logró encontrar la curva característica de la misma.

Todos los conjuntos moto-bombas del Grupo son de instalación horizontal, los cuales operan con cinco unidades de motores sincrónicos, que según un informe de Hidrocapital (2005), se alimentan eléctricamente de la misma manera que los Grupos Norte. Los cinco motores de la E/B Sur son iguales y tienen las características de placa que se pueden observar en la Tabla N°6.

**Tabla N°6.** Características de placa de motores del Grupo Sur.

Marca	Siemens
Tensión	6600 V
Corriente	145 A
Potencia	1600 kW
Cos φ	1
Velocidad	1800 r.p.m
Q refriger.	183 l/min
Motor	Sinc. Trif a 60 Hz

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia del Grupo Norte, los cinco ramales de bombeo del sur están completamente operativos, siendo encendidos en diferentes combinaciones según el plan de abastecimiento de Hidrocapital. A pesar de funcionar los cinco ramales, se pueden observar diversos problemas que se nombrarán más adelante.

Cada uno de los ramales se encuentra conectado al múltiple de succión con un ángulo de 90° en el plano horizontal y llega con este mismo ángulo al Alimentador Sur. Todos los ramales presentan los dispositivos que veremos a continuación.

En el tramo de succión:

- Tubería principal de entrada al ramal, la cual es una derivación del múltiple de succión que posee un diámetro de 400 mm (16").
- Válvula Mariposa VAG EKN de eje horizontal, presión nominal (PN) $10 \frac{kg}{cm^2}$, diámetro de 400 mm (16"). Es la misma que posee el Grupo de bombeo Norte pero de menor diámetro.
- Codo de 90° que conduce el flujo de agua hacia una altura superior.
- Contracción gradual de longitud corta, que va de un diámetro de 400mm (16") a 350 mm (14"). La misma traspasa la losa donde se encuentran las bombas a través de un agujero, para así conectarse con la bomba.



Figura N°51. Tramo de succión de los cinco ramales, se pueden apreciar las cinco válvulas mariposa siendo la más visible la del ramal número 5.

Fuente: Elaboración propia.

- Conjunto moto-bomba, siendo las bombas centrifugas KSB, modelo HE 250-62.

En el tramo de descarga:

- Expansión gradual de longitud corta, que va de un diámetro de 250 mm (10") a 350 mm (14").
- Tramo de tubería que incluye un codo a 90° en un plano inclinado y desciende hacia una cota menor que la de la bomba, como se ve en la Figura N°52.



Figura N°52. Tramo de tubería con codo a 90° del ramal número 1.

Fuente: Elaboración propia.

- Válvula de paso anular, de las cuales existen dos modelos al igual que en el Grupo de bombeo Norte. Todas tienen un contrapeso y un actuador



eléctrico. Trabajan con una presión nominal (PN) $40 \frac{kg}{cm^2}$ y diámetro de 350 mm (14").

- Válvula de compuerta, que trabaja con presión nominal (PN) $40 \frac{kg}{cm^2}$ y diámetro de 350 mm (14"). Posee instalado un actuador eléctrico.
- Tubería principal de salida al Alimentador Sur, la cual es parte de una confluencia que posee un diámetro de 350 mm (14").

Cabe destacar que, debido a la arquitectura del lugar donde se encuentran el Grupo Sur, es complicado acceder a los ramales número 2,3 y 4, a causa de que no existe un espacio para transitar cómodamente entre ramales, sino que hay que saltar entre los mismos para llegar a los centrales.

A continuación se expondrá la condición de cada ramal individualmente.

Ramal número 1. Es el ramal que se encuentra más cerca del Grupo Norte, es decir, el que está más al oeste de todos. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula Mariposa: Es una VAG EKN de eje horizontal y se encuentra ubicada en el tramo de succión, antes de la bomba. Este modelo se repite en todos los ramales de bombeo. Esta válvula presenta cierto nivel de deterioro a simple vista.
- Tramos de tubería: Superficialmente, los que se encuentran antes de la bomba presentan corrosión debido a un bote de agua de una de las tuberías de refrigeración y de una manguera que se encuentran en la parte delantera de la bomba. Los tramos que se encuentran después de la bomba no presentan deterioro ni desgaste a simple vista.
- Bomba Centrífuga: Se encuentra en funcionamiento. Presenta cierto deterioro por corrosión en la parte delantera de la misma debido al bote de agua antes mencionado, el cual se intentó solventar con un trapo. En su parte trasera, cerca del eje del motor también presenta signos de corrosión. No posee instalados ninguno de los tres manómetros que debería tener. Posee sus dos termómetros en funcionamiento y estos se encuentran conectados a dos lugares distintos de la bomba. Posee un tercer termómetro en el motor, pero se encuentra cubierto de manchas por polvo, lo que imposibilita saber su operatividad.
- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial y está en funcionamiento.
- Válvula de paso anular: Este modelo es el único diferente a los demás, es el que tiene una forma de carcasa que se asemeja a dos esferas picadas por

la mitad y ensambladas en ese mismo por el eje central. Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro superficial.

- Válvula de compuerta: Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro superficial, al contrario, se ve como el elemento más nuevo del ramal. Tiene instalado su actuador eléctrico.



Figura N°53. Válvulas de paso anular y compuerta del ramal número 1, grupos Sur E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal número 2. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula Mariposa: VAG EKN de eje horizontal. Esta válvula presenta cierto nivel de deterioro a simple vista pero a su vez es la que se encuentra en mejor estado superficialmente de las cinco.
- Tramos de tubería: Superficialmente, los que se encuentran antes de la bomba presentan alto nivel de corrosión debido a un bote de agua de la bomba que se desliza hacia las tuberías a menor altura. Los tramos que se encuentran después de la bomba no presentan mayor deterioro ni desgaste a simple vista.
- Bomba Centrífuga: Se encuentra en funcionamiento. Presenta deterioro por corrosión en la parte delantera y trasera de la misma debido a los botes de agua, algunos provisionalmente solventados con trapos. Posee instalados los tres manómetros que debe tener, de los cuales uno se puede observar que funciona y los otros dos se desconoce su operatividad. Posee uno de sus dos termómetros, el cual está en funcionamiento. El tercer, ubicado en el motor, termómetro se encuentra roto y en el suelo.
- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial y está en funcionamiento.
- Válvula de paso anular: Es una válvula de paso anular VAG RIKO, actualmente en catálogo y que se repite en éste y los 3 ramales restantes



del Grupo. Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro superficial.

- Válvula de compuerta: Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro superficial. Tiene instalado su actuador eléctrico.

Ramal número 3. Es el ramal que presenta menos problemas con botes de agua. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula Mariposa: VAG EKN de eje horizontal. Esta válvula presenta cierto nivel de deterioro a simple vista.
- Tramos de tubería: Superficialmente, los que se encuentran antes de la bomba presentan alto nivel de corrosión debido a botes de agua grandes que en algún momento tuvo la bomba. Los tramos que se encuentran después de la bomba no presentan mayor deterioro ni desgaste a simple vista.
- Bomba Centrífuga: Se encuentra en funcionamiento. Presenta deterioro por corrosión en la parte delantera debido a botes de agua. Actualmente presenta botes muy pequeños. No posee instalados ninguno de sus manómetros. Tiene sus dos termómetros instalados y en funcionamiento.
- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial y está en funcionamiento.
- Válvula de paso anular: Es una válvula de paso anular VAG RIKO. Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro superficial.
- Válvula de compuerta: Se encuentra en funcionamiento y presenta signos de corrosión superficial debido a un bote de agua. Tiene instalado su actuador eléctrico.

Ramal número 4. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula Mariposa: VAG EKN de eje horizontal. Esta válvula presenta cierto nivel de deterioro a simple vista.
- Tramos de tubería: Superficialmente, los que se encuentran antes de la bomba presentan cierto nivel de corrosión debido a botes de. Los tramos que se encuentran después de la bomba no presentan mayor deterioro ni desgaste a simple vista.
- Bomba Centrífuga: Se encuentra en funcionamiento. Presenta deterioro por corrosión en la parte delantera debido a botes de agua que persisten

actualmente. No posee instalados ninguno de sus manómetros. Tiene sus dos termómetros instalados y en funcionamiento.

- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial y está en funcionamiento.
- Válvula de paso anular: Es una válvula de paso anular VAG RIKO. Se encuentra en funcionamiento, pero presenta filtraciones de agua. La misma no se encuentra asentada correctamente sobre su apoyo de concreto, sino suspendida.



Figura N°54. Filtraciones de agua de la válvula de paso anular del ramal número 5.

Fuente: Elaboración propia.

- Válvula de compuerta: Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro. No posee instalado su actuador eléctrico.

Ramal número 5. Es el ramal que se encuentra superficialmente más deteriorado de todos. La condición de sus componentes es la siguiente:

- Válvula Mariposa: VAG EKN de eje horizontal. Presenta un alto nivel de deterioro por corrosión a simple vista.
- Tramos de tubería: Superficialmente, los que se encuentran antes de la bomba presentan un muy alto nivel de corrosión debido a botes de la misma. Los tramos que se encuentran después de la bomba presentan poco nivel de deterioro a simple vista. Además, en el tramo después de la válvula de compuerta, en la convergencia con el Alimentador Sur, existe una enorme fuga de agua que mantiene el piso inundado.



Figura N°55. Estado de las tuberías antes y después de la bomba del ramal número 5, grupos Sur E/B 25.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°56. Fuga de agua en la convergencia entre el ramal número 5 y el Alimentador Sur.

Fuente: Elaboración propia.

- Bomba Centrífuga: Se encuentra en funcionamiento. Presenta deterioro por corrosión en la parte delantera debido a botes de agua. Actualmente presenta botes muy pequeños. No posee instalados ninguno de sus manómetros. Tiene sus dos termómetros instalados y en funcionamiento.
- Motor: El motor de este conjunto no presenta deterioro superficial y está en funcionamiento.
- Válvula de paso anular: Es una válvula de paso anular VAG RIKO. Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de desgaste o deterioro superficial.
- Válvula de compuerta: Se encuentra en funcionamiento y no presenta signos de corrosión o desgaste a simple vista. Tiene instalado su actuador eléctrico.

5.2.3. Descripción física de la descarga Este. En el caso de la descarga Este, solo se puede ofrecer una descripción física de la válvula mariposa conocida como la Compuerta del Este y de la válvula mariposa de su tubería Bypass. Ambas válvulas se encuentran físicamente en buen estado y operativas. Las dos son manipuladas a través de tubos improvisados, utilizados para alcanzar las manivelas de ambas sin tener que introducirse dentro del espacio bajo la losa donde se encuentran, esto debido a que no existe una escalera para poder acceder y salir de manera fácil y rápida. En las Figuras N°57 y N°58 se pueden observar la Compuerta del Este y la válvula mariposa del Bypass respectivamente.



Figura N°57. Válvula mariposa conocida como la “Compuerta del Este” que da inicio al Alimentador Este.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°58. Válvula mariposa de la tubería Bypass de la válvula P.

Fuente: Elaboración propia.

Se presume que, justo después de la Compuerta del Este, el Alimentador Este presenta características que se atribuyen a un comportamiento a canal del flujo.



CAPÍTULO VI. CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

6.1. Generalidades

Así como se ha descrito en capítulos anteriores, la finalidad del modelo matemático, conformado por los diversos métodos gráficos que se presentan en este trabajo de investigación es reflejar el comportamiento hidráulico de la estación, esto fundado en los principios de la hidráulica en tuberías a presión, comportamiento en régimen permanente, continuo y unidireccional. Cada dato y resultado está representado en varias hojas de cálculo en formato Excel, utilizando metodologías gráficas para el cálculo hidráulico de sistemas de tuberías como herramienta de síntesis para su análisis.

Esta metodología gráfica contempla, entre sus diversas variables, aspectos de energía del fluido representada en altura total, diámetros de tuberías, puntos de derivaciones de flujo y extracciones de caudal, valores de caudales y en general las condiciones de borde del sistema en estudio. Además, se refleja la ubicación altimétrica de estanques, alturas piezométricas del sistema, curvas características de bombas, pérdidas por fricción y pérdidas localizadas, como también curvas de operación hidráulica.

En función de las condiciones de borde y de todo lo antes mencionado, se da como resultado para el Alimentador Norte, Sur y Este, no solo los puntos de operación en cada grupo, también el caudal y la energía necesaria para surtir a las diversas zonas de la ciudad de Caracas en estudio, ya definidas en el capítulo III. Además de esto, se obtienen mediante las mediciones in-situ de caudal y presión, las curvas características reales de las bombas, las cuales reflejan la condición actual de las mismas. Más adelante se analizarán y se compararán con las curvas teóricas de catálogo.

Dicho esto, se recuerdan las condiciones de borde en las que se construyen estos métodos gráficos:

- El Grupo de Bombeo Norte está diseñado de forma que bombea contra la red, cuyo punto final es el sistema de almacenamiento de El Calvario, compuesto por tres tanques. Sin embargo, como condición de borde se toma la válvula de conexión con el Tuy III, ubicado en La Salle, considerando la derivación de Mariche Norte como extracción puntual en la descarga norte de la estación, así como los nodos de extracción convenientemente ubicados en Santa Sofía, La Castellana y Los Caobos.
- Para el caso del Grupo de bombeo Sur, está diseñado de forma que bombea contra el tanque compensador de El Paují y de allí se distribuye a la red. Los alimentadores de El Encantado y Petare se toman como extracciones puntuales

en la estación. En el caso del tanque de El Encantado, para este estudio, se tomó esta decisión debido a que a su llenado no es frecuentemente.

- El modelo del Este descarga a gravedad a la red conectándose con diversas estaciones de rebombeo. Sin embargo, el estudio toma como condición de borde inicial, el punto donde presuriza la tubería al inicio del Alimentador, el cual posee 900 m.s.n.m. según mediciones de Hidrocapital, esto ante la condición de la estación más favorable, a 100% de apertura la Válvula del Este y solo dos bombas Norte encendidas. En el desarrollo se enfoca en el Nodo Distribuidor que contempla derivaciones a tres matrices de distribución que surten hacia los puntos de: La Floresta, La Lucha y La Prefectura, estos como condición de borde final. Contempla también, como restricción, la caída de energía causada por la Válvula Rompe Carga (VRP) a pocos metros del Nodo en la matriz de La Floresta que, según mediciones in-situ, permite valores de energía en el sistema menores o iguales a 890m.
- Se delimitaron márgenes de valores para ambos Grupos de bombeo como depuración de datos, asumiéndose que cada válvula en su condición estrangulada permite el paso de un 80% del caudal operativo de la misma. Se establece así, un valor mínimo de caudal posible de 900 l/s para los grupos Norte y de 250 l/s para los grupos Sures en caso de haber un solo equipo encendido, descartando cualquier valor de caudal menor a los antes mencionados. Si la casilla Excel arroja "ERROR" significa que el Caudal es negativo para una condición de extracciones dada.

6.2. Determinación de los puntos de operación por medio del método gráfico de los grupos de bombeo Norte y Sur

Para que el método gráfico pueda considerarse representativo, es necesario tener conocimientos de los componentes de la red y sus restricciones, así como se presentan a continuación:

Para la primera etapa del modelo, se definieron:

- Factores del sistema: En las Tablas N°8 y N°9 se pueden observar todos los valores necesarios para establecer el sistema hidráulico en estudio, entre ellos se encuentran los siguientes:
 - Altimetría y Piezométrica: Son los valores que se refieren a la cota del punto de descarga justo a la salida de la estación, la carga piezométrica que posee en ese punto, la cota del extremo final del sistema y la piezométrica requerida para abastecerlo. De esta forma otorga al modelo las condiciones de borde (inicio y fin) en estudio.

- Diámetros y longitudes: Son todos los valores de diámetros y longitudes de tubería que se encuentran en el tramo de estudio, entre la estación y el punto final de cada Alimentador.
 - Coeficientes de pérdidas por fricción: Las pérdidas por fricción en el modelo se calcularon mediante la ecuación de Hazen-Williams considerando la ecuación descritos en el capítulo II. Para este estudio se consideró este coeficiente como 80, debido a su tiempo en uso que es aproximadamente de 55 años y el desgaste que debe tener el sistema comparándose con lo evidenciado en el capítulo IV con la estación de bombeo.
 - Extracciones puntuales: Se refiere a todos aquellos consumos realizados por los usuarios del Alimentador en estudio, sumados y concentrados en diferentes “Nodos de Extracción”, son valores de caudal que se consideran como desviaciones de agua hacia otras tuberías que no son parte del alcance del trabajo. Estas pueden estar tanto fuera como dentro de la estación de bombeo.
- Consideraciones en el bombeo: Este apartado se refiere a una tabla donde se muestran el diámetro del ramal de bombeo y el coeficiente K de perdidas localizadas de un solo ramal. Cabe destacar que el valor del coeficiente K es la sumatoria de los diversos coeficientes de perdidas localizadas que se encuentran en un ramal. Estos valores son calculados en una hoja de cálculo aparte y son generados por la presencia de válvulas, cambios de diámetro, codos, giros, etc. En el caso de las válvulas, la hoja de cálculo se programó para arrojar valores de K en función de porcentajes de aperturas, múltiplos de 5, que van de 0% a 100% de apertura. Los valores de K para las válvulas se aprecian en la Tabla N°7.

Tabla N°7. Valores de K dados por porcentajes de apertura.

VÁLVULAS	MARIPOSA		ANULAR	COMPUERTA
%Apertura	Angulo	k	k	k
CERRADO	0	0	0	0
5	4.5	100000	0	200
10	9	976	0	100
15	13.5	430	160	45
20	18	210	70	25
25	22.5	120	36	15
30	27	80	22	9



VÁLVULAS	MARIPOSA		ANULAR	COMPUERTA
%Apertura	Angulo	k	k	k
35	31.5	50	15	6
40	36	30	10	4
45	40.5	20	7.5	2.6
50	45	13.1	5.7	2
55	49.5	7	4.6	1.5
60	54	4.3	3.5	1.1
65	58.5	2.8	2.7	0.8
70	63	1.8	2.5	0.6
75	67.5	1.3	2	0.48
80	72	0.8	1.8	0.39
85	76.5	0.6	1.6	0.3
90	81	0.48	1.5	0.25
95	85.5	0.43	1.3	0.2
100	90	0.4	1.2	0.18

Fuente: Elaboración propia, valores adoptados de Méndez, M. V. (1995). “Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua”.

A continuación se presentan las tablas con los valores antes mencionados, para el Grupo Norte y Sur respectivamente. Cabe destacar que las casillas amarillas son valores conocidos que se colocaron manualmente, mientras que las blancas son cálculos programados

Tabla N°8. Factores del sistema para el Grupo de bombeo Norte.

Consideraciones del Sistema						
Cota de Pto Final	882	msnm		EXTRACCIONES PUNTUALES		
Cota de E/B 25	923	msnm		Ubicación	Q (l/s)	L (m)
Carga hidráulica Inic	10	mca		Mariche Norte	420	0
Altura P. Residual	115	mca		1.Santa Sofia	183,12	2.620,44
Delta de energía	64	m		2.La Catellana	137,29	565,42
Incremento por hl	1,10			3.Los Caobos	107,79	333,20
TRAMO 1				TRAMO 2		
Coeficiente C	80			Coeficiente C	80	
Longitud de tub	10.676,78	m		Longitud de tub	1.567,93	m
Diámetro	74	pulg		Diámetro	54	pulg
Diámetro	1,88	m		Diámetro	1,37	m
Área de tubería	2,77	m2		Área de tubería	1,48	m2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°9. Factores del sistema para el Grupo de bombeo Sur.

Consideraciones del Sistema				
Cota de Pto Final	1,245	msnm	EXTRACCIONES PUNTUALES	
Cota E/B 25	924	msnm	Ubicación	Q (l/s)
Carga Hidráulica	10	m	Mariches Sur	127
Delta de Energía ΔH	311	m	Dolorita Sur	128
Incremento por hl	1,10		El Encantado	0
TRAMO 1				
Coficiente C	80			
Lóngitud tub	5.430	m		
Diámetro	30	pulg		
Diámetro	0,75	m		
Área de tubería	0,44	m ²		

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

- *Cota de Pto Final:* El extremo del sistema en estudio, es decir la condición de borde final para el Alimentador Norte (La Salle) y el Alimentador Sur (El Paují).
- *Carga Hidráulica Inicial o Múltiple:* Altura Piezométrica en el punto de descarga en la estación.
- *Incremento por hl:* Coeficiente multiplicador de las pérdidas por fricción, esto incorpora las pérdidas localizadas en el trayecto, al cálculo.
- *Tramo 1 o Tramo 2:* Nombre para diferenciar en caso de cambio de tubería y sus características de importancia hidráulica.
- *Altura P. Residual:* Altura piezométrica deseada en el extremo del sistema en estudio.

Tabla N°10. Consideraciones en el bombeo para el Grupo de bombeo Norte (Izquierda) y Sur (Derecha).

Consideraciones del Bombeo Norte			Consideraciones en el Bombeo Sur		
Coeficiente k	5,45		Coeficiente k	6,66	
Coeficiente C	120		Coeficiente C	120	
Longitud de tub	13,3	m	Longitud de tub	8,1	m
Número de BOMB	1		Número de BOMB	1	
Diámetro	28	pulg	Diámetro	14	pulg
Diámetro	0,71	m	Diámetro	0,35	m
Área de tubería	0,40	m ²	Área de tubería	0,10	m ²

Fuente: Elaboración propia.

- **Curvas de Bombeo:** Utilizando las curvas características de las bombas de la E/B 25 Norte: KSB RDL 400-540 A, y Sur: KSB HE 250-62, suministrados por el catálogo del fabricante en el caso de las bombas Norte y por Hidrocapital en el caso de las bombas Sur, así como se especifica en el capítulo V. Se pueden apreciar en la Figura N°59. Se representó gráficamente como son los arreglos teóricos de ambos grupos de bombeo según el número de bombas que cada uno posea.

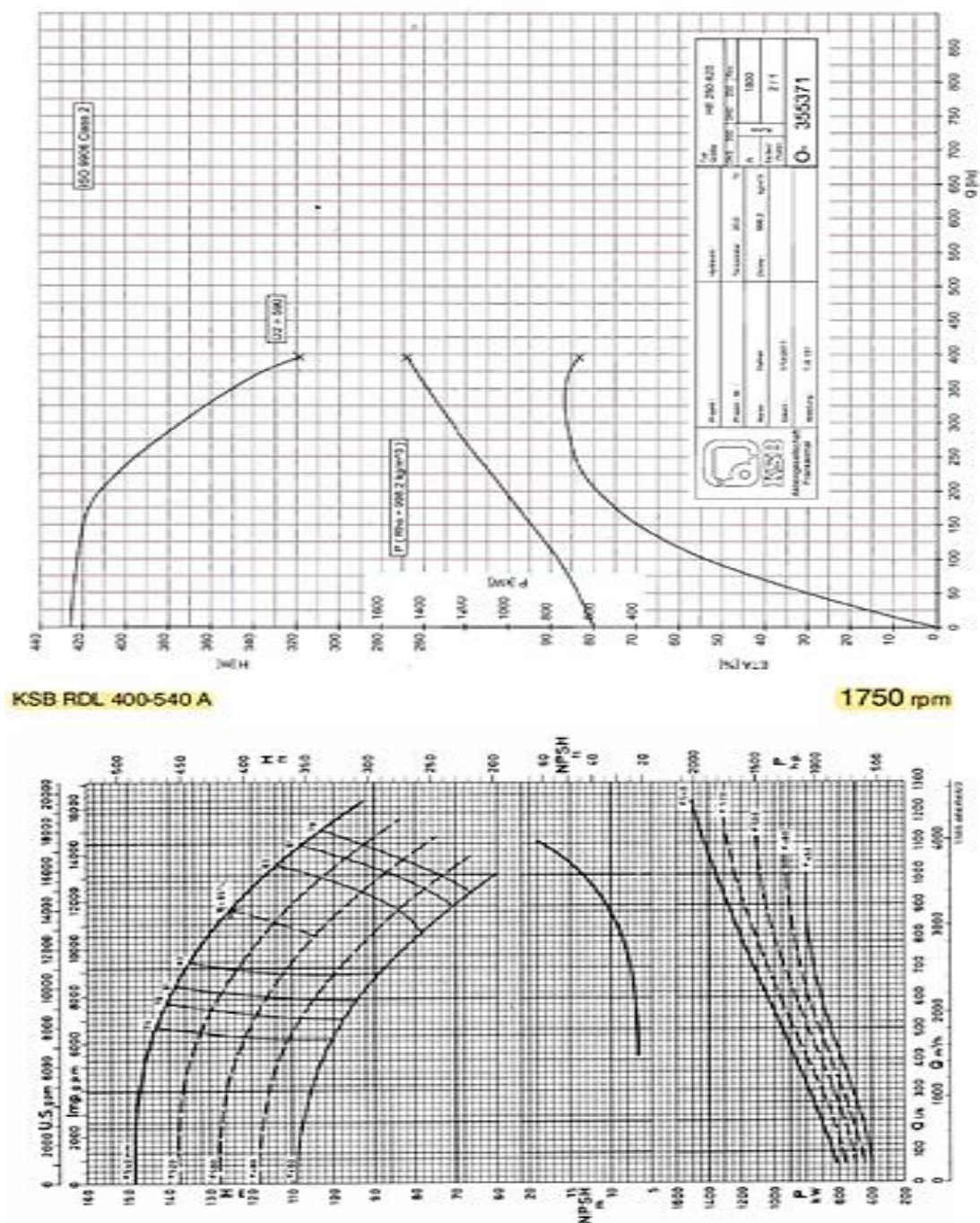


Figura N°59. Curvas características de las bombas centrífugas de los Grupos Norte KSB RDL 400-540 A (Izquierda) y Sur KSB HE 250-62 (Derecha).

Fuente: KSB e Hidrocapital.



Luego de esto, se calcularon los valores de los diversos coeficientes K de pérdidas localizadas, que se encuentran en un solo ramal de bombeo. Estos valores se pueden observar en las Tablas N°11 y N°12.

Tabla N°11. Pérdidas localizadas para un ramal del Grupo de bombeo Norte.

PÉRDIDAS LOCALIZADAS GRUPOS DE BOMBEO NORTE				
Dispositivo	Tipo	Ubicación	Característica	k
Divergencia	Mismo D	Bombas Norte		2,47
Válvula	Mariposa	Bombas Norte	PN 10, DN 700	0,40
Reducción	Gradual	Bombas Norte	L=40cm de 700-500 mm	0,05
Expansión	Gradual	Bombas Norte	L=169cm de 400-700 mm	0,03
Válvula	Anular	Bombas Norte	PN 25, DN 700	1,20
Válvula	Mariposa	Bombas Norte	PN 25, DN 701	0,40
Codo	60°	Bombas Norte	r/D = 6	0,08
Confluencias	Mismo D	Bombas Norte	Ángulo 60 m=1	0,50
TOTAL RAMAL NORTE				5,12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°12. Pérdidas localizadas para un ramal del Grupo de bombeo Sur.

PÉRDIDAS LOCALIZADAS GRUPO DE BOMBEO SUR				
Dispositivo	Tipo	Ubicación	Característica	k
Derivación	"T"	Una en cada Ramal Sur	Desde el multiple de succión hacia ramales	3,502
Válvula	Mariposa	Una en cada Ramal Sur	PN 10, DN 400	0,4
Codo	90°, Seccionado	Una en cada Ramal Sur	Superficie interna Lisa	1,129
Contracción	Gradual	Una en cada Ramal Sur	L=500mm, D1=400mm, D2=350mm	0,001
Expansión	Gradual	Una en cada Ramal Sur	L=400mm, D1=250mm, D2=350mm	0,057
Codo	90°, curvo	Una en cada Ramal Sur	r=430mm, $\alpha=90^\circ$, A=1, B= 0.19	0,190
Válvulas	Paso Anular	Una en cada Ramal Sur	PN 40, DN 350	1,2
Válvulas	Compuerta	Una en cada Ramal Sur	PN 40, DN 350	0,18
Confluencia	"T"	Una en cada Ramal Sur		0,000
TOTAL RAMAL SUR				6,66

Fuente: Elaboración propia.

Obtenidos la sumatoria de coeficiente K, se procedió a corregir las curvas características de las bombas incorporando las pérdidas localizadas de energía en los ramales de bombeo. Esto restando a los diferentes valores de energía, las pérdidas localizadas en función del caudal correspondiente a esa altura de bombeo. Es decir, cada

ramal contempla la pérdida generada en él, según el caudal que maneja para la condición de bombas encendidas en el momento. De esta manera se obtuvieron las curvas características corregidas de los Grupos de bombeo Norte y Sur. Los valores de energía para las curvas características se observan en el Anexo N°1.

Para la segunda etapa del modelo de los grupos de bombeo:

Se construyeron las curvas de operación hidráulica de los Alimentadores Norte y Sur, para así interceptar con las curvas características de las bombas de los Grupos Norte y Sur. De esta forma, hallar los puntos de operación teóricos de igual energía y caudal. Estas curvas se basan en el principio de conservación de la energía y se calcularon de la siguiente manera para los Alimentadores Norte y Sur:

Se elaboraron ecuaciones de energía para el sistema observado en la Figura N°60, el cual presenta características similares a las del Alimentador Norte y Sur.

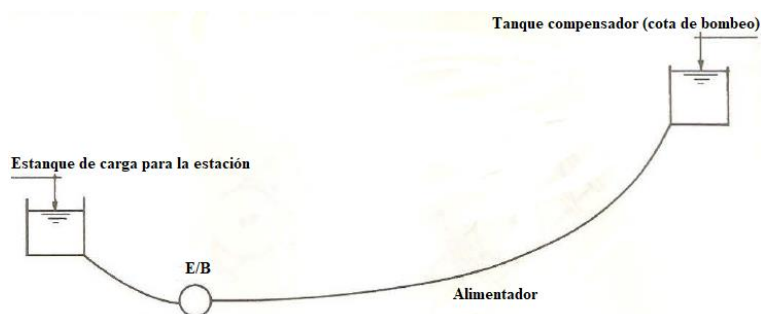


Figura N°60. Sistema genérico tomado para el desarrollo de las curvas de operación hidráulica de la red de los Alimentadores Norte y Sur.

Fuente: Elaboración propia.

Ambos sistemas Norte y Sur, están conformados por un estanque que genera carga hidráulica en una tubería que transporta el agua a las bombas de la estación y este es impulsado por una tubería (Alimentador) hasta un tanque compensador o Nodo de consumo. Siguiendo este arreglo, la ecuación viene dada de la siguiente manera:

$$H_A + H_{E/B} - (h_f + h_L) = H_B, \text{ siendo}$$

- H_A : Piezométrica antes de la estación, expresada en m.s.n.m. Será la cota del múltiple de succión más una carga hidráulica de 10 m, la cual es la mínima para mantener los Grupos de bombeo funcionando.
- $H_{E/B}$: Piezométrica de la estación para satisfacer las solicitudes del sistema, expresada en m.s.n.m.



- h_f : Pérdidas de energía por fricción, calculadas a través de la expresión de Hazen-Williams y se expresa en m.
- h_L : Pérdidas localizadas de energía, considerándose como 10% de las de fricción, dada en m.
- H_B : Cota Piezométrica en el tanque compensador o Nodo de consumo que representa la condición de borde del sistema en estudio, contempla cota y piezométrica expresada en m.s.n.m.

Esta ecuación puede representarse gráficamente, despejando el valor de $H_{E/B}$ y dejando la ecuación en función del caudal bombeado, para intersecarla con las curvas características de las bombas y así obtener los diferentes puntos de operación teóricos de los Grupos Norte y Sur.

$$H_{E/B} - (h_f + h_L) = H_B - H_A$$

$$H_{E/B} = H_B - H_A + (h_f + h_L)$$

$$H_{E/B} = \Delta H + (\Sigma h)$$

$$H_{E/B} = \Delta H + \left(10,67 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} * \frac{1.1 * L}{D^{4,87}} \right), \text{ siendo}$$

- ΔH : Diferencia de energía entre H_B y H_A .
- Q : Caudal en $\frac{l}{s}$.
- C : Coeficiente de Hazen-Williams.
- L : Longitud de la tubería en m.
- D : Diámetro de la tubería en m.

Cabe destacar que, en el caso del Alimentador Norte, el cálculo del término Σh que contempla la sumatoria de pérdidas de energía, se incluyen las extracciones a lo largo del trayecto del flujo, es decir, las pérdidas son calculadas con la disminución de caudal que se aplican en cada tramo de tubería antes y después de pasar por los nodos de consumo mencionados.

Al asignarle diferentes valores de caudales a la expresión anterior se obtienen diversos valores de energía, generándose así la curva de operación hidráulica del sistema en estudio. En el Anexo N°2 se pueden observar los valores de energía para diferentes caudales utilizando la ecuación anterior. En los Gráficos N°1 y N°2 se pueden observar las curvas características de las bombas, antes y después de corregirse por las pérdidas, así como la curva de operación hidráulica para el Alimentador Norte y Sur respectivamente. El lugar geométrico donde se intersecan las curvas anteriores, representan los diversos puntos de operación teóricos del sistema hidráulico, según el número de bombas encendidas y se pueden observar en la Tabla N°13.

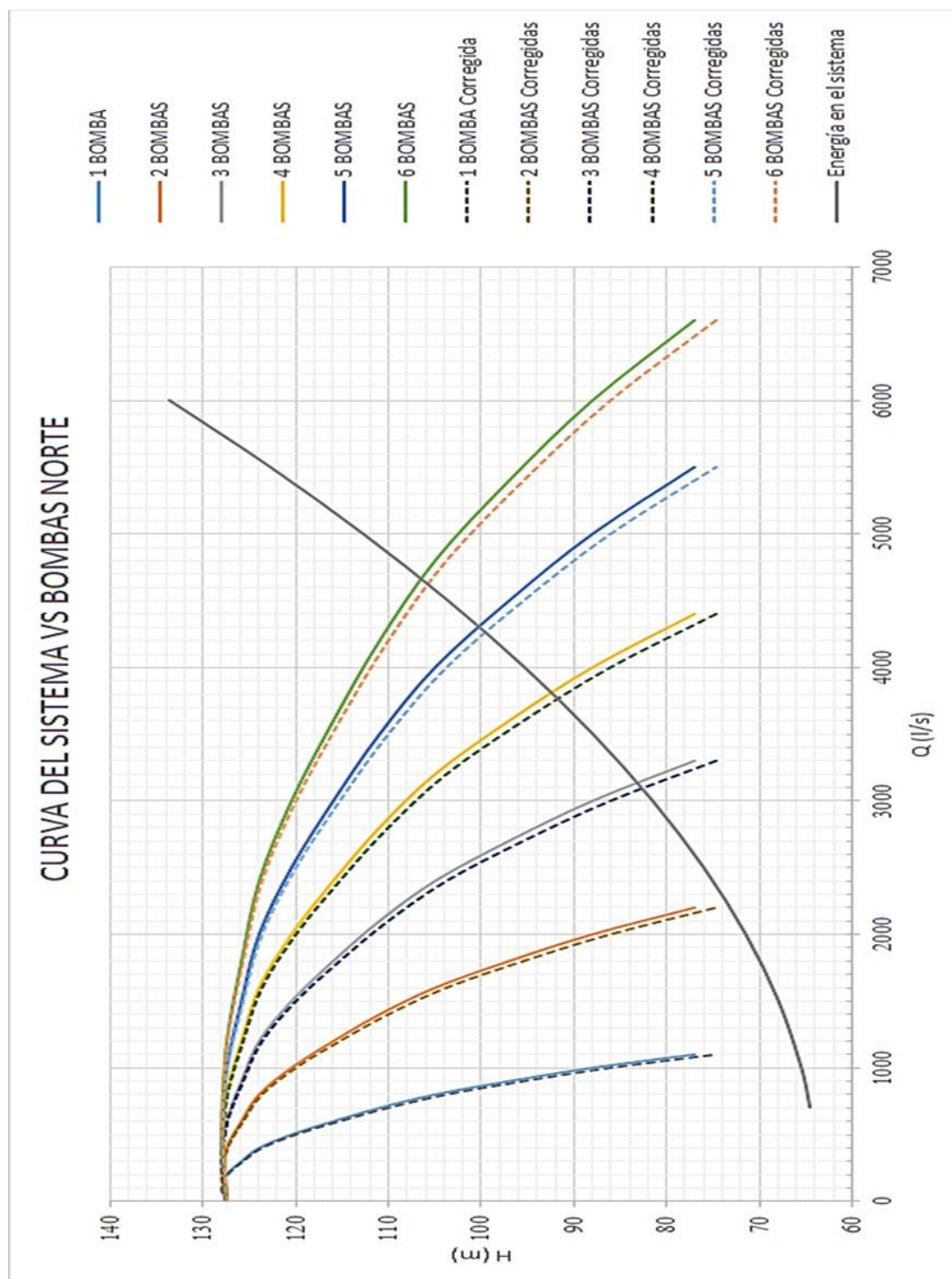


Gráfico N°1. Curva de operación hidráulica del Alimentador Norte vs curvas de seis equipos en paralelo de bomba Norte KSB 400-540 A.

Fuente: Elaboración propia.

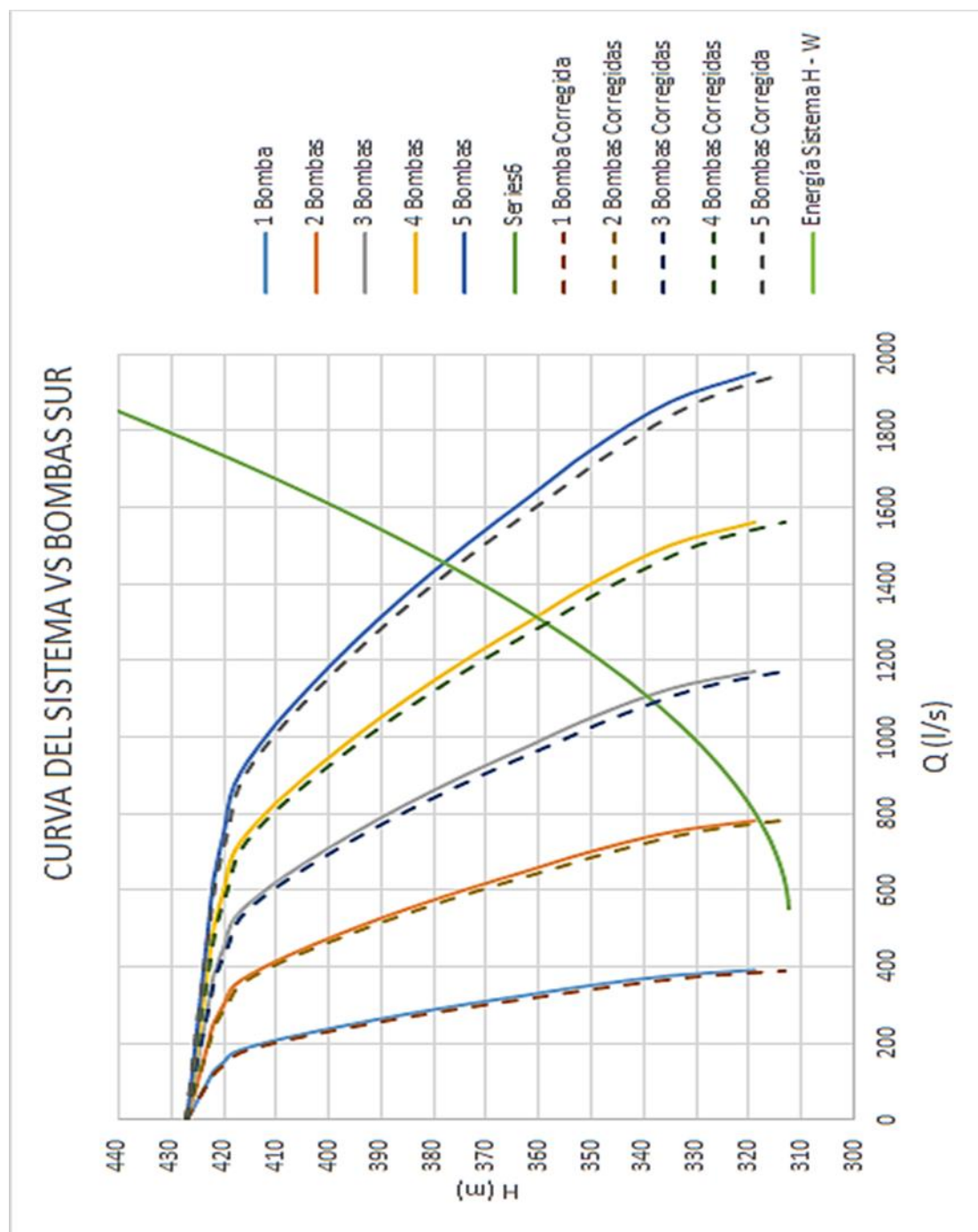


Gráfico N°2. Curva de operación hidráulica del Alimentador Sur vs curvas de cinco equipos en paralelo de bomba Sur KSB HE 200-62.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°13.** Puntos de operación teóricos del sistema hidráulico según el número de bombas encendidas.

Curvas Teóricas de Bombeo Norte		
Nº Bombas	Q (l/s)	H (m)
1 Bomba	N/S	N/S
2 Bombas	2.250	73
3 Bombas	3.100	83
4 Bombas	3.760	92
5 Bombas	4.250	100
6 Bombas	4.620	106
Curvas Teóricas de Bombeo Sur		
Nº Bombas	Q (l/s)	H (m)
1 Bomba	N/S	N/S
2 Bombas	790	318
3 Bombas	1075	338
4 Bombas	1300	359
5 Bombas	1450	376

* N/S: No Satisface

Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos detallados para la corrección de los grupos de bombeo Norte y Sur, además del cálculo para la construcción de las curvas de operación hidráulicas del Alimentador Norte y el Alimentador Sur, se encuentran en los archivos anexos en formato Excel con el nombre de “Método gráfico Norte con extracciones” y “Método gráfico Sur, pérdidas”.

6.3. Desarrollo del método gráfico del Alimentador Este

En el Alimentador Este, se abordó el sistema de forma diferente en comparación con los grupos de bombeo antes mencionados. Así como se describe en el capítulo III, la red de abastecimiento del Este se puede simplificar en un Alimentador que, al llegar a un nodo distribuidor, se divide en tres matrices de distribución. Por esta razón, se elaboraron ecuaciones de energía para el sistema observado en la Figura N°61, el cual presenta características similares a las del Alimentador del Este.

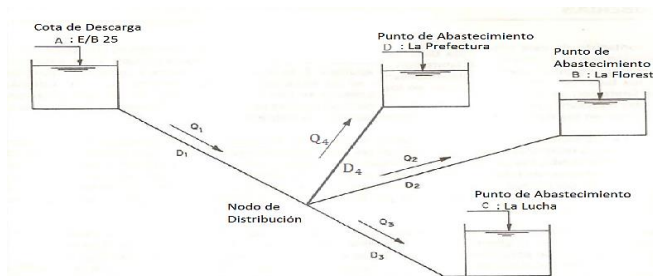


Figura N°61. Sistema genérico tomado para el desarrollo de las curvas de operación hidráulica de la red.

Fuente: Elaboración propia.

Así como en el método gráfico del Sistema Norte y Sur, el método gráfico del Este posee sus Factores de Sistema que contemplan sus condiciones de borde, altimetría, valores de piezométricas, cambios de diámetros y coeficientes de pérdidas de energía. Estos asociados a cada tramo a evaluar en la condición de servicio más favorable para este sistema, que contempla la abertura de la válvula del Este a 100% y lo especificado al inicio de este capítulo.

Tabla N°14. Factores del sistema para el Alimentador Este.

Consideraciones del Tramo E/B 25-N									
Altura total Nodo	888	m	TRAMO 1				TRAMO 2		
Cota de E/B 25	900	msnm	Coeficiente C	80			Coeficiente C	80	
Altura de Carga H.	0	mca	Longitud de tub	2.585,95	m		Longitud de tub	448,18	m
Altura P. Residual	0	mca	Diámetro	54	pulg		Diámetro	48	pulg
Delta de Energía	12	m	Diámetro	1,37	m		Diámetro	1,22	m
Incremento por hl	1,10		Área de tubería	1,48	m ²		Área de tubería	1,17	m ²
Consideraciones del Tramo La Floresta-N									
Cota de La Floresta	853	msnm	TRAMO 1				TRAMO 2		
Altura total Nodo	888	msnm	Coeficiente C	80			Coeficiente C	80	
Altura de Carga H.	10	mca	Longitud de tub	3.147,74	m		Longitud de tub	698,17	m
Altura P. Residual	0	mca	Diámetro	24	pulg		Diámetro	20	pulg
Delta de Energía	25	m	Diámetro	0,61	m		Diámetro	0,51	m
Incremento por hl	1,10		Área de tubería	0,29	m ²		Área de tubería	0,20	m ²
Consideraciones del Tramo La Lucha-N									
Altura total Nodo	888	msnm	TRAMO 1				TRAMO 2		
Cota de La Lucha	865	msnm	Coeficiente C	80			Coeficiente C	80	
Altura de Carga H.	15	mca	Longitud de tub	1.987,82	m		Longitud de tub		
Altura P. Residual	0	mca	Diámetro	36	pulg		Diámetro		
Delta de Energía	8	m	Diámetro	0,91	m		Diámetro		
Incremento por hl	1,10		Área de tubería	0,66	m ²		Área de tubería		
Consideraciones del Tramo La Prefectura-N									
Altura total Nodo	888	msnm	TRAMO 1				TRAMO 2		
Cota de La Prefectura	832	msnm	Coeficiente C	80			Coeficiente C	80	
Altura de Carga H.	15	mca	Longitud de tub	736,59	m		Longitud de tub		
Altura P. Residual	0	mca	Diámetro	24	pulg		Diámetro		
Delta de Energía	41	m	Diámetro	0,61	m		Diámetro		
Incremento por hl	1,10		Área de tubería	0,29	m ²		Área de tubería		

Fuente: Elaboración propia.



El sistema Este tiene como enfoque de estudio el Nodo distribuidor ubicado en La California, el cual divide el caudal del Alimentador del Este a tres matrices de distribución ya mencionados al inicio de este capítulo. Este estudio consiste en realizar ecuaciones de energía desde los puntos de abastecimiento y suministro hasta él, y así determinar el punto de operación requerido en esta red. Siguiendo este arreglo, la ecuación viene dada de la siguiente manera:

$$\text{Tramo E/B25-N: } H_A - (h_f + h_l)_{AND} = H_{ND}$$

$$\text{Tramo La Floresta-N: } H_B + (h_f + h_l)_{BND} = H_{ND}$$

$$\text{Tramo La Lucha-N: } H_C + (h_f + h_l)_{CND} = H_{ND}$$

$$\text{Tramo La Prefectura-N: } H_D + (h_f + h_l)_{DND} = H_{ND}, \text{ siendo}$$

- H_A : Piezométrica de descarga en la E/B 25, considerando la energía en el punto donde presuriza la tubería. Se adopta el valor de 900 m, por medio de mediciones realizadas por Hidrocapital.
- H_B : Piezométrica en La Floresta, el cual es un punto a surtir. Considera la cota 853 expresada en m.s.n.m. y la carga hidráulica de 10 m de piezométrica.
- H_C : Piezométrica en La Lucha, el cual es un punto a surtir. Considera la cota 865 expresada en m.s.n.m. y la carga hidráulica de 15 m de piezométrica.
- H_D : Piezométrica en La Prefectura, el cual es un punto a surtir. Considera la cota 832 expresada en m.s.n.m. y la carga hidráulica de 15 m de piezométrica.
- H_{ND} : Piezométrica en el Nodo de Distribución, contra el que el sistema de alimentación en estudio trabaja, expresada en m.s.n.m.

Los valores de cotas y piezométricas adoptadas en los cálculos, surgieron de registros topográficos y solicitudes aportadas por Hidrocapital, para asemejarse al contexto hidráulico que manejan.

Despejando el valor de H_{ND} , dejando las ecuaciones en función del caudal en el sistema y construyendo una curva que sume los caudales requeridos en los puntos B, C y D para diferentes condiciones de energía, se obtiene la Curva Suma que contempla la totalidad de los requerimientos o extracciones en el Nodo. Así al interseccionarla con la curva que suministra y aporta caudal al Nodo (E/B25-N) se puede obtener el punto de operación teórico del Alimentador Este.

$$H_{ND} = H_A - (h_f + h_l)_{AND}$$

$$H_{ND} = (H_B + (h_f + h_l)_{BND}) + (H_C + (h_f + h_l)_{CND}) + (H_D + (h_f + h_l)_{DND})$$

$$H_A - (\Sigma h)_{AND} = (H_B + (\Sigma h)_{BND}) + (H_C + (\Sigma h)_{CND}) + (H_D + (\Sigma h)_{DND})$$

$$\Sigma h = 1,1 * \left(10,67 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} * \frac{L}{D^{4,87}} \right)$$

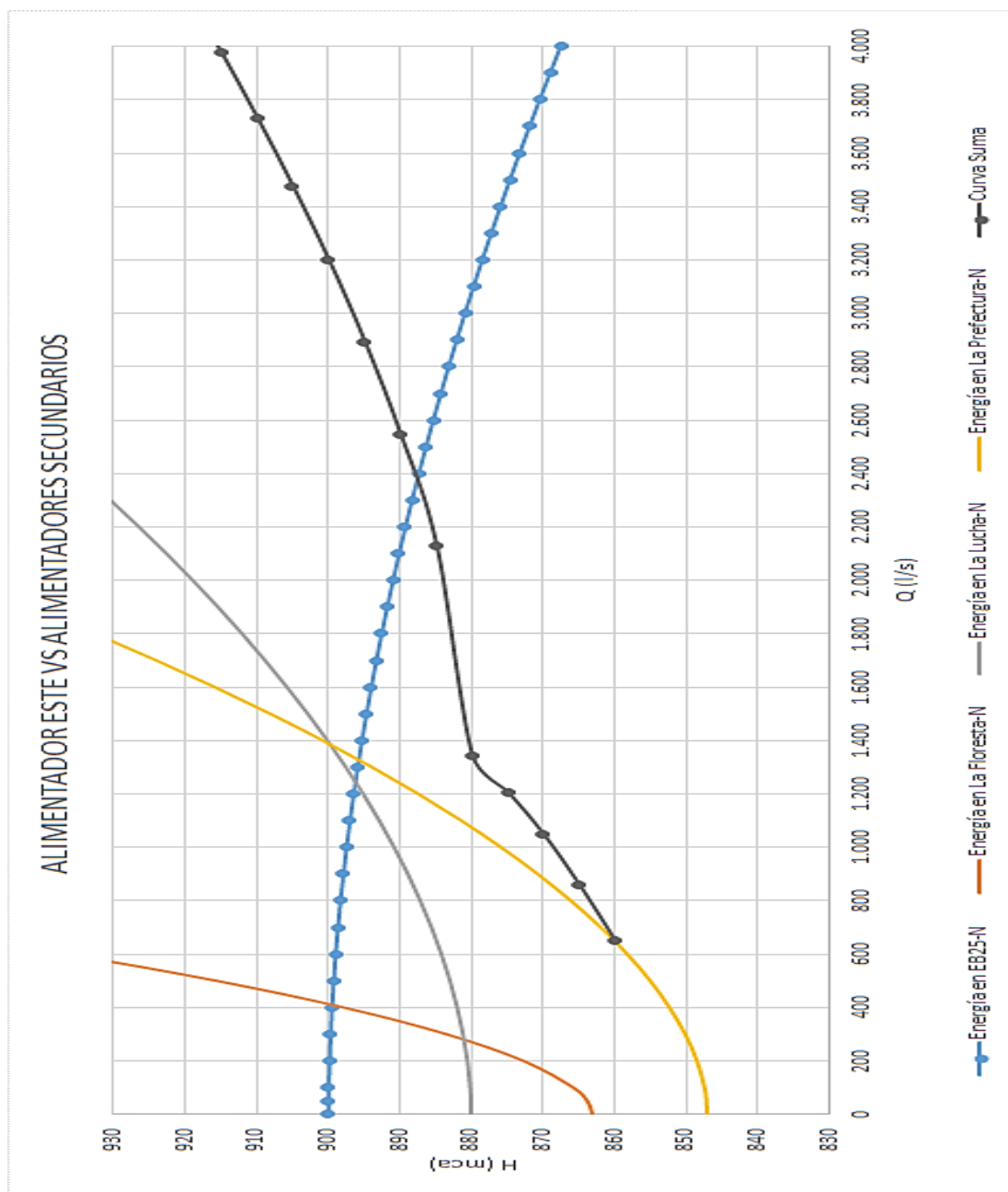


Gráfico N°3. Método Gráfico del Alimentador Este.

Fuente: Elaboración propia.



En el Gráfico N°3, se muestran el método gráfico del Alimentador Este, donde se presentan las curvas de Energía vs Caudal para cada tramo conectado al Nodo, siendo la curva Energía en E/B25-N la que surte caudal a este, mientras que las curvas que corresponden a Energía en La Floresta-N, La Lucha-N y La Prefectura-N son las que extraen caudal del mismo. Esto se refleja en cómo la curva E/B 25 va decreciendo en energía a medida que aumenta el caudal transportado al Nodo y en cómo crece en energía las demás curvas desde los puntos de alimentación hacia dicho Nodo.

Cabe destacar que, con las condiciones descritas para esta situación, las cuales surgen de mediciones realizadas por Hidrocapital como se describió al inicio de este capítulo, se consideró la VRP como cerrada debido a que la energía del Nodo en ese punto es menor a su límite de 890m. Desconocida la posición real de esta válvula, los cálculos arrojan que no hay pérdida de energía en ella.

Se ubicó el punto de equilibrio, aquel donde el caudal que suministra la E/B 25 es igual al que solicitan en total los puntos de abastecimiento, es decir lo contemplado en la Curva Suma. Intersectándolas se obtiene como resultado los valores de caudal y energía en el Nodo, que se pueden ver en la Tabla N°15.

Tabla N°15. Caudal requerido en el sistema del Alimentador Este

Intersección EB25 - Curva Suma	
Q (l/s)	2400
H (m)	888,233723

Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos detallados para esta operación se encuentran en el archivo en formato Excel anexo, con el nombre de “Metodo gráfico Este con VRP”.

6.3.1. Calibración del método gráfico del Alimentador Este. Ante los valores anteriores, se tomó la idea de calcular el caudal requerido individualmente para cada punto de abastecimiento, considerando la energía en el Nodo Distribuidor como dato inicial. Es decir, en vez de realizar el estudio enfocado en el nodo, se hará enfocado en los requerimientos de energía en cada punto de abastecimiento. Todo esto manteniendo los valores de altimetría, piezométricas, características en tuberías en cada matriz y restricción de la VRP. De esta forma se representaron estas nuevas condiciones en las siguientes tablas:

**Tabla N°16.** Valores de Energía y Caudal de la calibración del sistema Este.

Energía en N-La Floresta		Energía en N-La Lucha		Energía en N-La Prefectura	
H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)
863	332,41	880	849,94	847	1210,24

Energía en EB25-N			Caudal del sistema Este
H (m)	Q (l/s)	Hnodo (m)	Q total (l/s)
900,00	2400	888	2392,59

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se tiene la energía en la E/B 25, el caudal que sale de ella y la energía que posee el Nodo en esta situación, los caudales en cada matriz y su totalidad para cada punto de abastecimiento del sistema Este. Se puede denotar la similitud entre el caudal que manda la estación y el del sistema, con una diferencia de 7,41 l/s . Con esto, puede considerarse calibrado el modelo.

6.4. Curva de operación hidráulica del Alimentador Este

Utilizando el método gráfico Este, para diferentes valores de carga hidráulica que posea la E/B 25 en su punto de presurización, el sistema solicitará valores de caudal apropiados en dicha red. En base a esto, se desarrolla la Curva de Operación Hidráulica del Alimentador Este. El punto de presurización es variable debido a que la energía en el Alimentador Este está vinculada al nivel del agua en la tanquilla de la Planta Potabilizadora y de las pérdidas de energía que sufre en su trayecto y descarga a través de la Válvula Este.

Tabla N°17. Funcionamiento hidráulico del sistema Este para distintos valores de energía en la estación de bombeo.

Energía en EB25-N			Energía en N-La Floresta		Energía en N-La Lucha		Energía en N-La Prefectura		Caudal del sistema Este
H (m)	Q(l/s)	Hnodo (m)	H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)	Q total (l/s)
940,00	3800	911	863,00	346,37	880,00	1799,33	847,00	1551,87	3697,57
930,00	3500	905	863,00	346,37	880,00	1574,28	847,00	1459,21	3379,86
920,00	3200	900	863,00	346,37	880,00	1395,92	847,00	1390,86	3133,15
910,00	2800	894	863,00	346,37	880,00	1150,56	847,00	1303,11	2800,04
900,00	2400	888	863,00	332,41	880,00	849,94	847,00	1210,24	2392,59
890,00	1800	883	863,00	296,67	880,00	501,12	847,00	1127,71	1925,51
880,00	1200	875	863,00	222,26	880,00	0,00	847,00	984,71	1206,97

Fuente: Elaboración propia

Es necesario aclarar que, cuando la energía en la E/B25 tiene valores que superan los 900 m, se toma en cuenta la función de la VRP, ya que la energía en el Nodo está restringida por dicha válvula con un límite de 890 m, valor que surge de las mediciones hechas en ese punto, así como se explicó anteriormente. La restricción en energía y caudal se evidencia en los valores de caudal solicitados en La Floresta, los cuales no varían de 346 l/s para valores de presurización mayores al antes dicho. En caso contrario, a valores de presurización menores o iguales a 900 m, la VRP no se considera operativa.

A continuación, se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos en la caracterización teórica de la descarga Este en la estación de bombeo 25, que refleja la curva que rige el comportamiento del flujo.



Gráfico N°4. Condición de operación hidráulica del Este.

Fuente: Elaboración propia.

6.5. Esquema operativo actual de la estación

Al mismo tiempo que se realizaron los modelos teóricos, se tomaron mediciones de caudal y presión en la estación de bombeo, correspondientes a los Grupos Norte, Sur, al múltiple de succión y al Alimentador Este. También, se tomó registro de la condición de la estación, conocida en código como el “X-29” de la misma, la cual informa la



cantidad de equipos encendidos y porcentaje de apertura de todas las válvulas que maneja la estación. Hidrocapital posee una serie de códigos para simplificar y agilizar la comunicación dentro de la empresa.

Estas mediciones se organizaron en una hoja de Excel y para su fácil llenado se utilizaron algunos de los códigos de Hidrocapital. Esta planilla contiene específicamente los siguientes aspectos: caudal de entrada a la planta, caudal de salida de la planta, nivel de agua de la tanquilla de la planta, cantidad de bombas Sur y Norte encendidas, presión de los Grupos Sur, presión del múltiple de succión, presión de los Grupos Norte, caudal de los Grupos Sur, caudal de los Grupos Norte, caudal del Alimentador Este, entre otros. Se muestra a continuación un fragmento de un día de medición reflejado en la planilla:

		VENT 1	VENT 2	H Tanq	BOMBAS SUR					BOMBAS NORTE					
Nº MED Y FECHA	HORA	Q (l/s)	Q (l/s)	H (m)	N5	N4	N3	N2	N1	N1	N2	N3	N4	N5	N6
13-26/02/19	09:45 a.m.	4281	3934	3,84	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
14-	10:15 a.m.	4193	4155	3,75	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
15-	10:45 a.m.	4240	4126	3,95	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
16-	11:15 a.m.	4286	3848	3,49	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
17-	11:45 a.m.	4229	3905	3,38	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7

ALIM SUR	SUCCIÓN	ALIM NOR	ALIM SUR	ALIM NOR	ESTE	MARICHES NORTE				ENCANTADO		
P (K/cm2)	P (K/cm2)	P (K/cm2)	Q (l/s)	Q (l/s)	Q (l/s)	X7	X8	AP M.	AP C.	X7	X8	APERT
0	1,85	7,8	0	780	2350	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
0	1,85	7,8	0	860	2370	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
0	1,85	7,8	0	830	2324	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
0	1,85	7,8	0	845	2307	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
0	1,8	7,8	0	790	2328	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S

VÁLVULA P (ESTE)			BYPASS			MANIVELA		DOLORITA SUR			MARICHES SUR		
X7	X8	APERT	X7	X8	APERT	COND	APERT	X7	X8	APERT	X7	X8	APERT
	X	100	X		0	CERRADO	0	X		0	X		0
	X	100	X		0	CERRADO	0	X		0	X		0
	X	100	X		0	CERRADO	0	X		0	X		0
	X	100	X		0	CERRADO	0	X		0	X		0
	X	100	X		0	CERRADO	0	X		0	X		0

Figura N°62. Fragmento de las planillas de medición utilizadas, valores de un día de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando:

- *X – 7:* Fuera de Servicio.
- *X – 8:* En Servicio.
- *APERT:* Apertura, refiriéndose a la válvula de paso para dicha tubería.
- *AP M. y AP C.:* Apertura en Válvula Mariposa y apertura en Válvula de Compuerta para dicha tubería.
- *COND:* Condición, refiriéndose a si se encuentra abierta o cerrada en su totalidad.



- *VENT 1 o VENT 2*: Medición de caudal en los medidores Venturi 1 (a la entrada de la planta) y Venturi 2 (a la salida de la planta).

Con las mediciones se realizaron diversos gráficos, donde se pudieron observar nubes de puntos que representaban el caudal y la presión de los Grupos de bombeo Norte y Sur para diversas fechas y condiciones dadas. De esta manera se puede observar qué tanto varían las presiones y caudales dependiendo del día y de la condición que tengan las válvulas de la estación, siguiendo el plan de abastecimiento de Hidrocapital. Además, con estos valores de presión y caudal, se pudieron graficar las curvas características reales de ambos grupos de bombeo, las cuales representan el comportamiento actual de la estación. Estas curvas pueden ser comparables con las teóricas antes mostradas, para así determinar qué tan deterioradas se encuentran las bombas.

6.5.1. Curvas de operación real de los grupos de bombeo Norte y Sur. Debido a la inoperatividad de la mayoría de las bombas del Grupo Norte, solo se obtuvieron mediciones para una y dos bombas encendidas. Estos valores de mediciones se pueden observar en el Gráfico N°5, donde aparecen a su vez, las curvas de operación reales de los grupos de bombeo trazadas directamente de dichas mediciones, obteniendo así la curva característica real de las bombas del Grupo Norte. También en el gráfico se observan las curvas de operación teóricas de dichas bombas y la curva de operación hidráulica del Alimentador Norte.

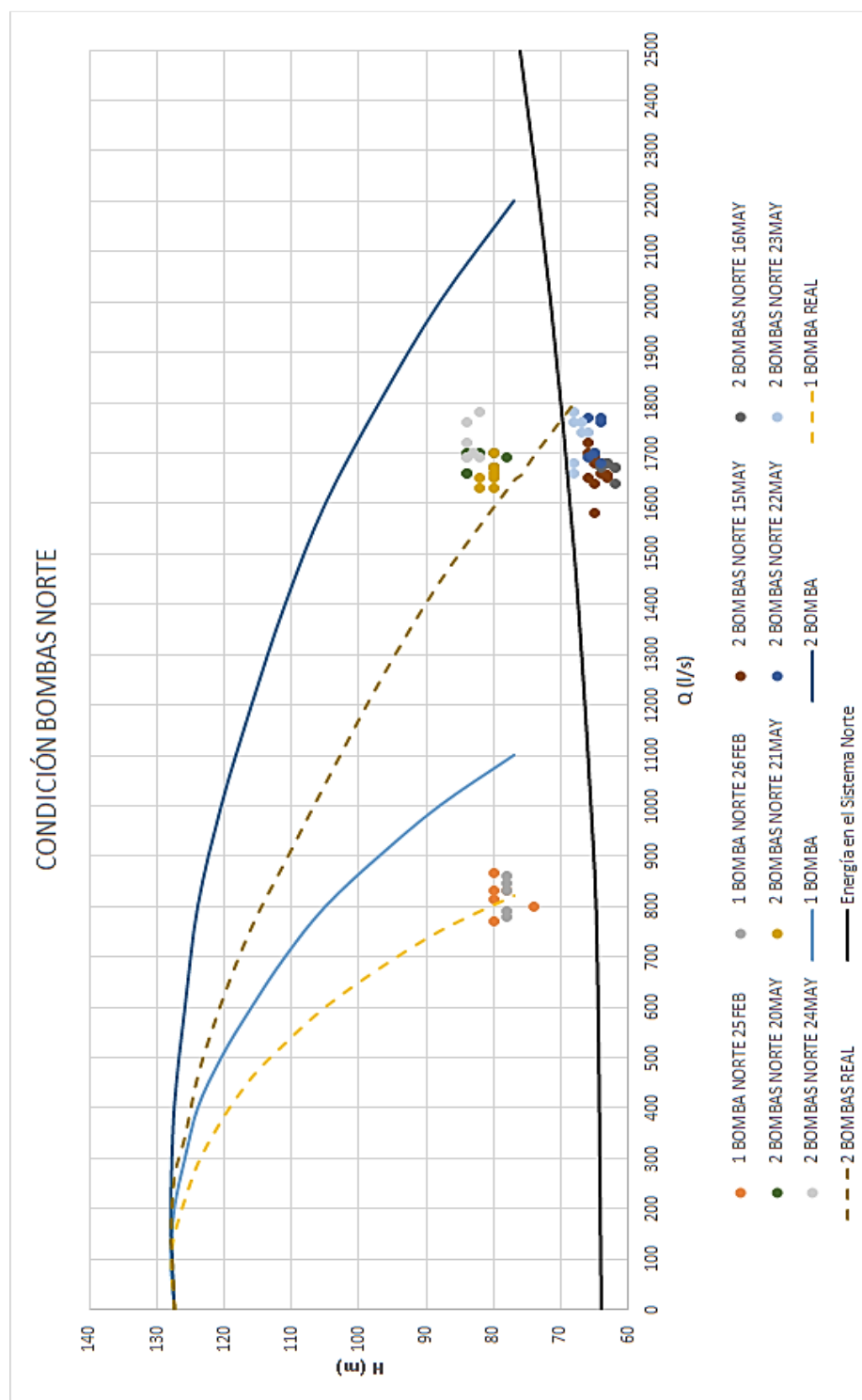


Gráfico N°5. Curvas de las bombas KSB 400-540 A Norte reales junto con las teóricas.

Fuente: Elaboración propia.



Los diversos puntos de operación reales del sistema hidráulico según el número de bombas encendidas se pueden observar en la Tabla N°18.

Tabla N°18. Puntos de operación reales del sistema hidráulico Norte según el número de bombas encendidas.

Curvas Reales de Bombeo Norte		
Nº Bombas	Q (l/s)	H (m)
1 Bomba	N/S	N/S
2 Bombas	1775	70

* N/S: No Satisface

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia del Grupo Norte, el Sur posee todas sus bombas operativas, pero solo se obtuvieron mediciones para tres, cuatro y cinco bombas encendidas y se graficaron únicamente los puntos representativos de una nube de valores muy similares entre sí. En este Grupo de bombeo ocurre la particularidad de que el Alimentador Sur tiene una tubería conectada a su tramo inicial dentro de la estación, la cual como se ha dicho anteriormente lleva agua hacia Petare. El medidor de caudal del Alimentador Sur, por su ubicación, no mide el caudal que pasa a dicha tubería hacia Petare, por lo que solo se utilizaron las mediciones de los Grupos Sur para realizar las curvas características reales cuando la válvula Manivela que permite el paso hacia Petare se encontraba cerrada.

Debido a que no se pudo tomar mediciones de un solo equipo encendido, se realizó un procedimiento en el que a partir de las curvas trazadas con las mediciones de tres y cuatro equipos encendidos, se encontró la curva característica real de las bombas del Grupo. Este procedimiento consistió en realizar las curvas de tres y cuatro equipos encendidos a partir de las mediciones realizadas y hacer la regresión de los tres y cuatro equipos a un equipo encendido. Esto se consiguió dividiendo los valores de caudal de ambas curvas entre el número de bombas encendidas. Al realizar esto se obtuvieron dos curvas características reales para una bomba sur, muy parecidas, a las cuales se les calculó una curva promedio, la cual terminaría siendo la curva característica real de las bombas del Grupo Sur. A partir de esta curva se trazaron las curvas para dos, tres, cuatro y cinco equipos encendidos, como se puede observar en el Gráfico N°6.

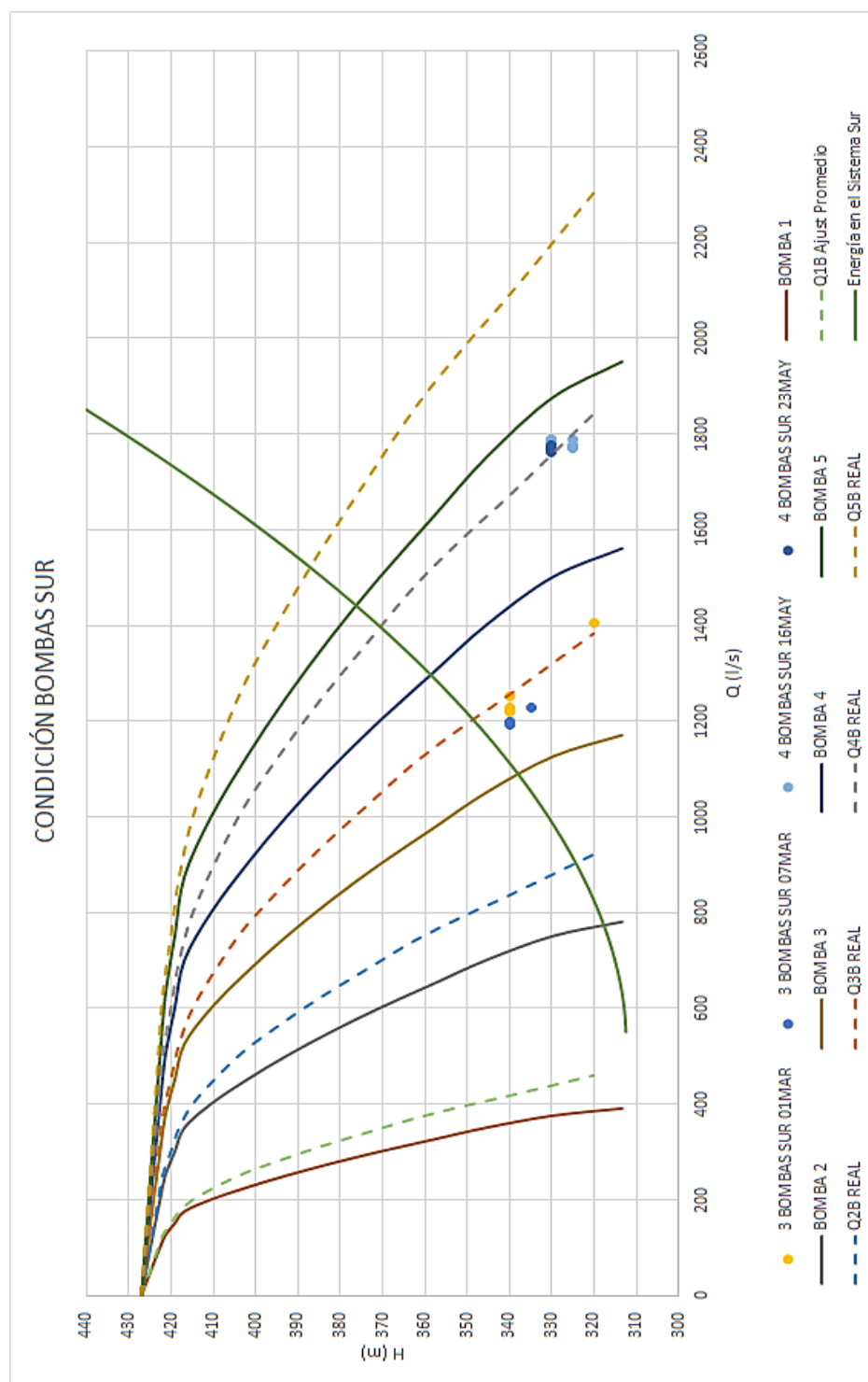


Gráfico N°6. Curvas de las bombas KSB HE 200-62 Sur reales juntos con las teóricas.

Fuente: Elaboración propia.



Los diversos puntos de operación reales del sistema hidráulico según el número de bombas encendidas se pueden observar en la Tabla N°19.

Tabla N°19. Puntos de operación reales del sistema hidráulico Norte según el número de bombas encendidas.

Curvas Reales de Bombeo Sur		
Nº Bombas	Q (l/s)	H (m)
1 Bomba	N/S	N/S
2 Bombas	900	325
3 Bombas	1.200	349
4 Bombas	1.400	370
5 Bombas	1.520	386

* N/S: No Satisface

Fuente: Elaboración propia.

Al obtenerse los puntos de operación teóricos y reales antes mostrados, se calculó que tan alejados se encuentran los valores reales con respecto a los teóricos, en cuanto a caudal y energía, y se expresó en forma de porcentaje. Este porcentaje se calculó utilizando la siguiente expresión y los resultados pueden observarse en la Tabla N°20.

$$\%V = \frac{|Valor\ te\acute{o}rico - Valor\ real|}{Valor\ te\acute{o}rico} * 100$$

Tabla N°20. Porcentajes de variación de los puntos de operación reales con respecto a los teóricos.

Variación entre curvas Norte		
Nº Bombas	ΔQ (%)	ΔH (%)
1 Bomba	N/A	N/A
2 Bombas	21,11	4,11
Variación entre curvas Sur		
Nº Bombas	ΔQ (%)	ΔH (%)
1 Bomba	N/A	N/A
2 Bombas	13,92	2,20
3 Bombas	11,63	3,25
4 Bombas	7,69	3,06
5 Bombas	4,83	2,66

* N/A: No Aplica

Fuente: Elaboración propia.

Por último, para el estudio de la condición actual de los grupos de bombeo, se tomaron las curvas características reales de las bombas de ambos grupos obtenidas anteriormente y se graficaron junto con la curva de potencia de su respectivo modelo de bomba. De esta forma se observa el comportamiento real ante los demás requerimientos propios del equipo. Para el caso de la bomba del Grupo Norte, también se graficó la curva de NPSH obtenida de su catálogo. En los Gráficos N°7 y N°8 podemos observar lo antes mencionado para el modelo de bomba Norte y Sur respectivamente.

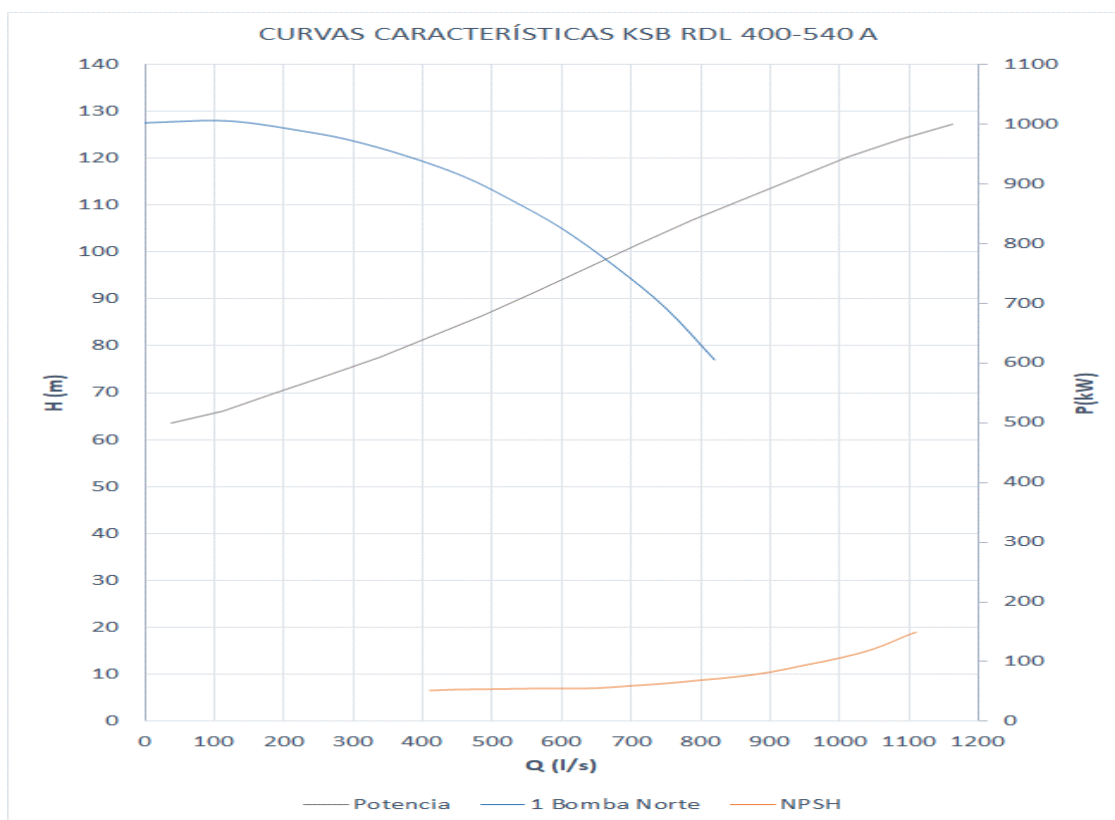


Gráfico N°7. Curva característica, de potencia y NPSH de las bombas KSB RDL 400-540 A.

Fuente: Elaboración propia.

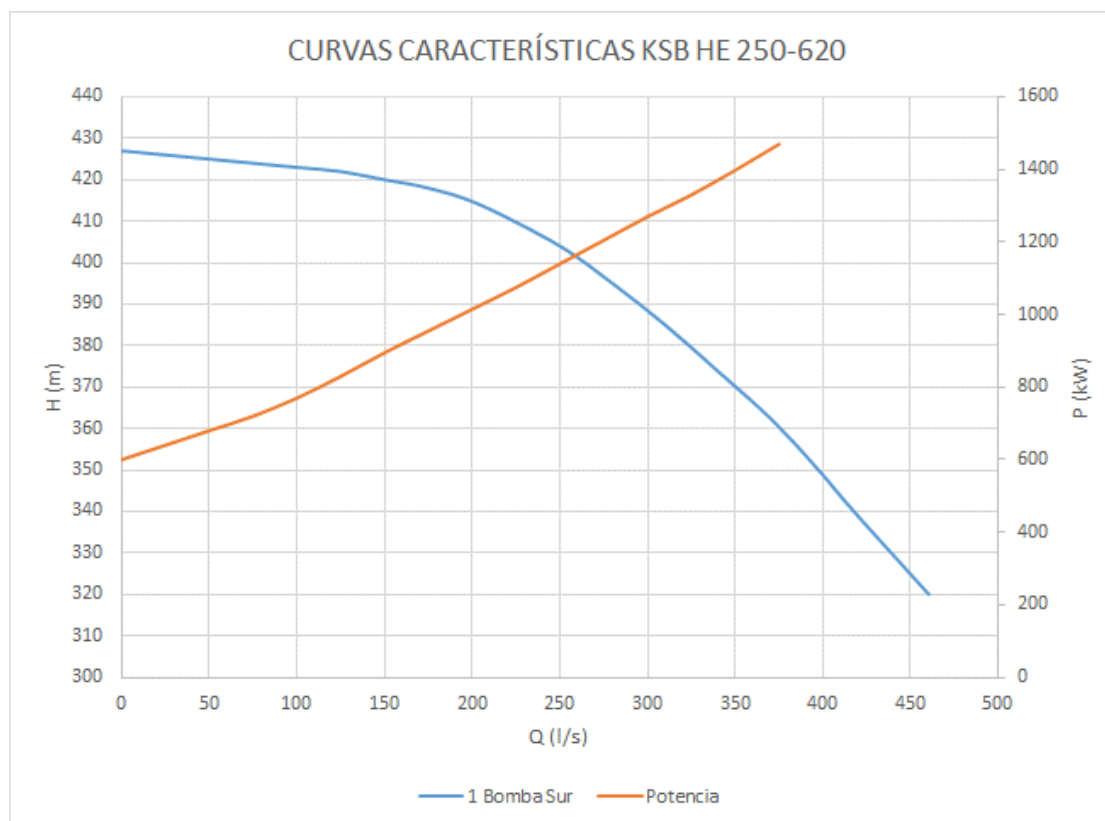


Gráfico N°8. Curva característica y de potencia de las bombas KSB HE 200-62.

Fuente: Elaboración propia.

6.5.2. Condición actual de la descarga Este. En la caracterización de la Válvula Mariposa de la descarga Este y su Bypass, se muestra a continuación en el Gráfico N°9., la relación entre el caudal que descarga con la presión de succión y la apertura de las mismas.

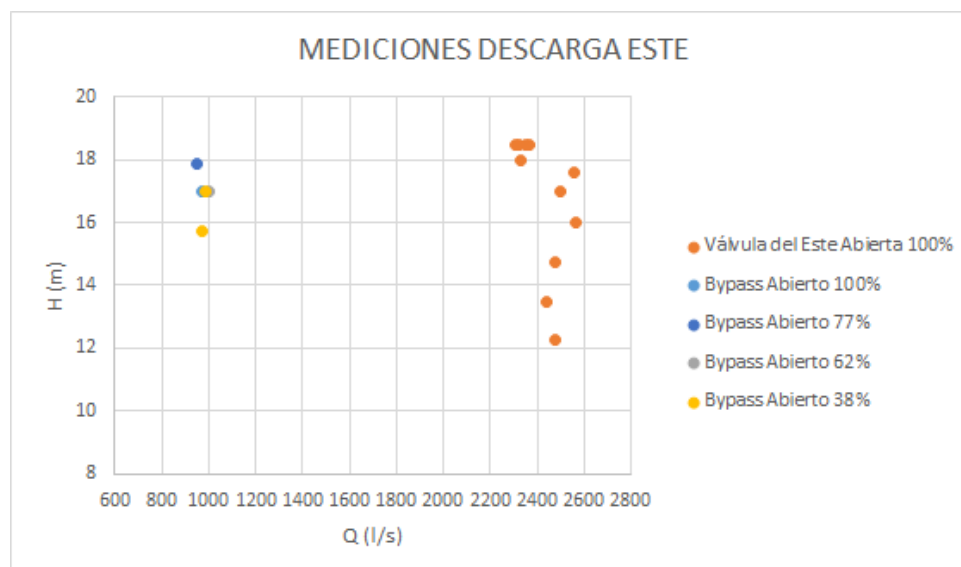


Gráfico N°9. Valores de caudal y energía de la válvula del Este y su Bypass.

Fuente: Elaboración propia

En conjunto con los valores anteriores, ubicándose en la Curva de Operación Hidráulica del Alimentador en el Gráfico N°10 a continuación:

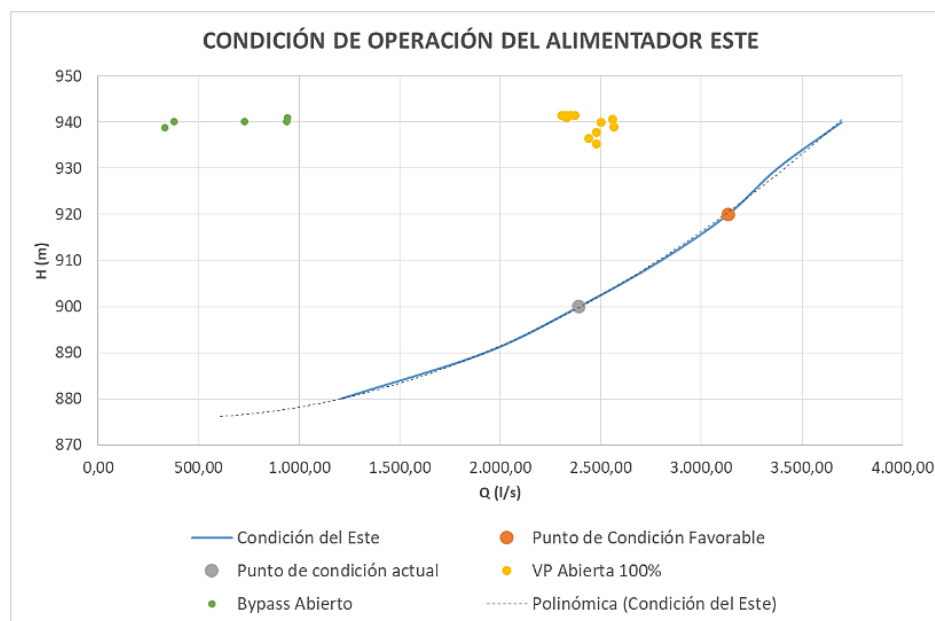


Gráfico N°10. Curva de operación hidráulica del Alimentador Este con puntos de medición.

Fuente: Elaboración propia

Se puede denotar en el gráfico, la curva de condición hidráulica del sistema Este y sobre ella unas nubes de puntos que surgen de mediciones de caudal en la descarga Este de la estación. También se ubican las mediciones de los caudales que descarga el Bypass perteneciente a la misma válvula, que se encuentra abierta cuando la válvula del Este está cerrada. A su vez, se puede observar el margen de valores respecto a energía en el punto de presurización del Alimentador Este, que va desde 860 m en valores extrapolados, hasta 940 m propiamente en la curva.

6.5.3. Condiciones generales la estación de bombeo. A su vez, con las mediciones tomadas, se realizaron gráficos que reflejan diversos comportamientos de otros elementos de la estación, estos se presentan a continuación:

En el Grafico N°11 se observar la curva de NPSH de los grupos Norte, representada en términos de presiones relativas, y la nube de puntos que son el resultado de mediciones de la presión del múltiple de succión y del caudal unitario de las bombas del Grupo Norte. Para las mediciones que se tomaron cuando se encuentran dos bombas encendidas, se dividió el caudal medido entre dos para encontrar el unitario que enviaría cada bomba. A su vez, el grafico muestra una curva horizontal constante, que representa la presión mínima que debe tener el múltiple de succión, establecida por Hidrocapital, para mantener los equipos Norte encendidos.

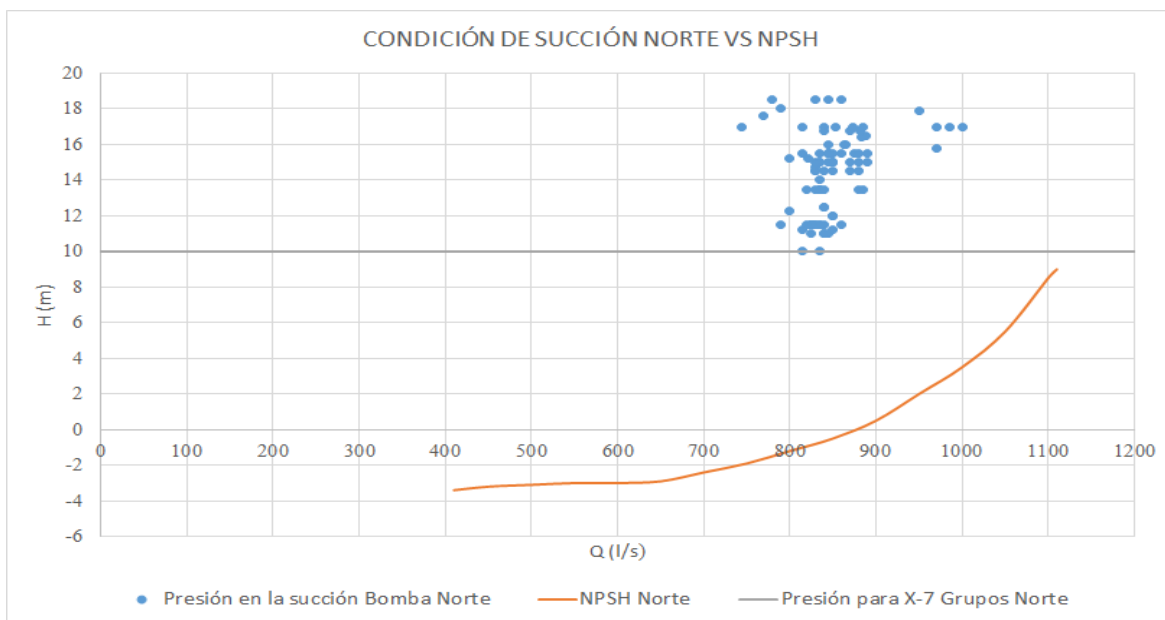


Gráfico N°11. Condición de succión de los grupos Norte, curva NPSH y X-7 de la estación.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico N°12 se puede observar la condición de cada uno de los elementos importantes de la estación de bombeo para el mes de febrero de 2019, esto surge del registro diario de los operadores de la E/B 25. Se muestra la presión que había dentro del múltiple de succión cada día del mes, que días ocurren y cuantos equipos se encontraban encendidos para entonces, además de la condición de la válvula P del Este y su Bypass operativa o inoperativa.

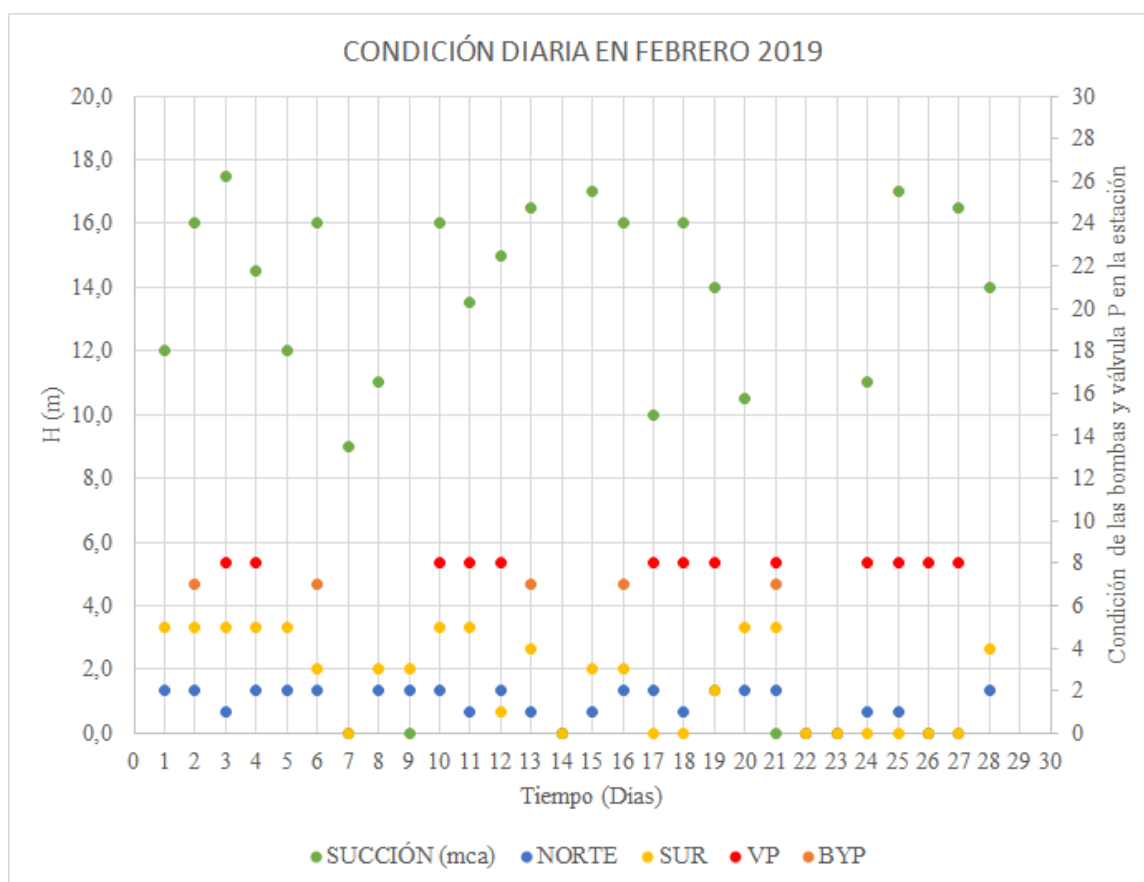


Gráfico N°12. Condición diaria de la estación en febrero de 2019.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico N°13 se muestra el porcentaje de apertura de la válvula P del Este o “Compuerta del Este” en relación con la presión del múltiple de succión para diversos días entre los meses de febrero y mayo de 2019.

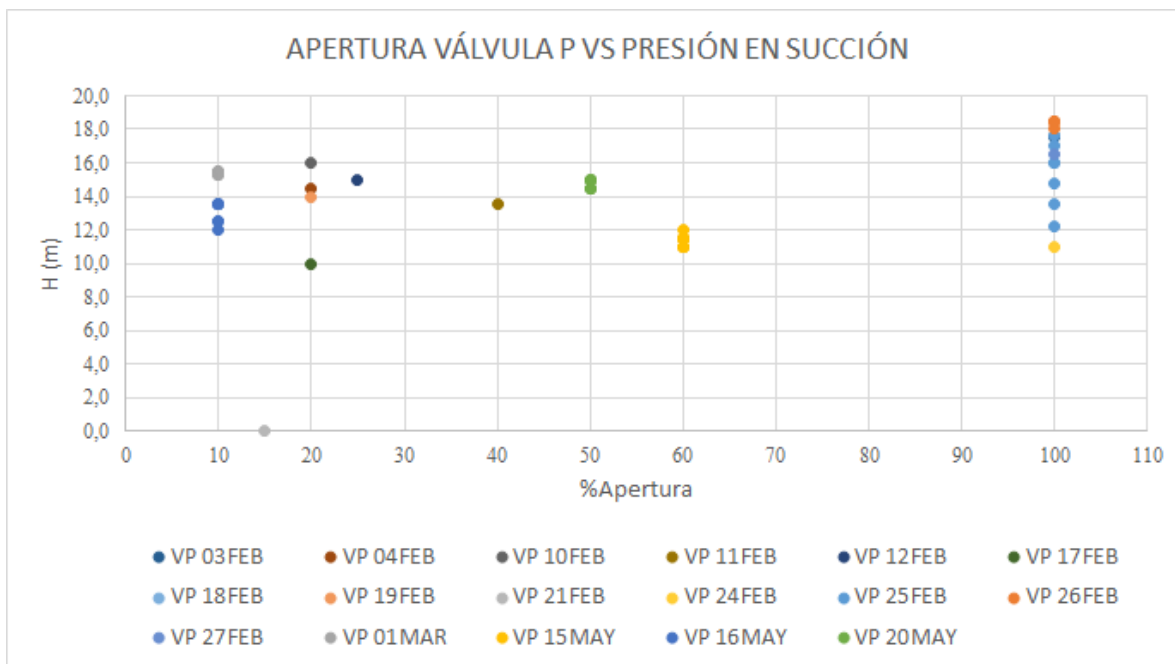


Gráfico N°13. Condición de la válvula P en relación con la presión del múltiple de succión de la estación.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°21 se muestra los valores de velocidades de diversos elementos de conducción en la estación, según los caudales picos y operativos medidos.

Tabla N°21. Elementos de la estación, áreas, caudales y velocidades que manejan.

Elemento	Diámetro (pulg)	Diámetro (mm)	Área (m ²)	Qprom (l/s)	Velocidad (m/s)
Múltiple de Succión	84,00	2,13	3,58	4102,18	1,15
Valvulas P del Este	55,00	1,40	1,53	2428,82	1,58
Bypass del Este	12,00	0,30	0,07	1000,00	13,71
Descarga Sur	30,00	0,76	0,46	1464,42	3,21
Ramal Sur	14,00	0,36	0,10	250,00	2,52
Descarga Norte	74,00	1,88	2,77	1697,38	0,61
Ramal Norte	28,00	0,71	0,40	900,00	2,27

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado fue realizar la caracterización teórica integral de la estación de bombeo E/B 25. Las conclusiones derivadas de este estudio, están englobadas en los siguientes puntos:

- El esquema operativo actual de los grupos Norte establece que siempre debe haber dos equipos encendidos y en un caso extraordinario al menos uno. Con la condición de dos equipos funcionando se surte un caudal promedio total de 1697 l/s.
- El esquema operativo actual de los grupos Sur establece que se requieren al menos cuatro equipos encendidos para abrir la válvula hacia Petare. En esta condición de cuatro equipos funcionando se surte un caudal total promedio de 1780 l/s.
- En una condición con la válvula Mariposa del Alimentador Este en apertura del 100% y solo dos bombas encendidas en el grupo de bombeo Norte, se alcanza un gasto de aproximadamente 2400 l/s con condición piezométrica máxima de 900 m.s.n.m en el Alimentador Este. Considerando que la carga hidráulica que tiene la E/B 25 en su mínimo valor es de 935 m.s.n.m. aguas arriba de la estación, se denota una diferencia piezométrica aproximadamente de 35 m.
- La condición piezométrica del punto de presurización del Alimentador Este es inestable, debido a que no se cuenta con dispositivo de control. Además de esto, la válvula mariposa al inicio del Alimentador no es el tipo de válvula que se debe utilizar para regular caudal, como se está haciendo en la actualidad.
- De acuerdo con los registros tomados por los autores de este trabajo, el tubo de Venturi a la entrada de la planta potabilizadora registra un caudal promedio de 4466 l/s, mientras que el tubo de Venturi a la salida de la misma registra un caudal promedio de 4102 l/s, lo que muestra una diferencia de aproximadamente 454 l/s. En algunos casos esta diferencia puede llegar a ser de 1000 l/s según los registros tomados.
- En el Gráfico N°1 se puede observar que, la curva teórica para un equipo Norte encendido no corta con la curva de operación hidráulica del Alimentador Norte y que la curva para dos equipos encendidos corta en su extremo inferior, punto de mayor caudal y menor energía, lo que quiere decir que al utilizar dos o menos equipos de bombeo Norte, estos trabajan casi fuera del rango de operación del fabricante, a una menor eficiencia y en condiciones de estrés para las mismas.
- En el Gráfico N°2 se puede observar que, considerando el caudal que se desvía hacia Mariches y Dolorita Sur, las curvas teóricas a partir de dos equipos Sur encendidos cortan con la curva de operación hidráulica del sistema sur, por lo que dos equipos generan un punto de operación. Sin embargo, esto no significa que dos equipos son suficientes para enviar el caudal requerido por Mariches Sur, Doloritas Sur y el Alimentador Sur al mismo tiempo.
- El esquema operativo actual de los Grupos Norte utiliza únicamente dos equipos para suplir al Alimentador Norte, sin embargo en el Gráfico N°5 se puede observar que, para esta condición, la curva característica real para dos equipos encendidos corta en



su extremo inferior con la curva de operación hidráulica del sistema, lo que significa que, como se comprobó en el análisis teórico, las bombas podrían estar sometidas a trabajar fuera del rango de operación del fabricante, a una menor eficiencia y en condiciones de estrés para las mismas.

- Las curvas de bombeo reales del grupo Norte resultan por debajo de las curvas de bombeo teóricas, lo cual es esperado ya que las bombas en sí presentan desgaste y deterioro físico. Esto se refleja en la significativa separación entre dichas curvas y sus puntos de operación.
- Las curvas de bombeo reales del grupo Sur resultan por encima de las curvas de bombeo teóricas, lo cual va en contra de lo esperado. Esto puede ser debido a diversas causas, entre ellas están una posible imprecisión del medidor de caudal en el múltiple de descarga Sur o que las curvas características teóricas, recuperadas de los archivos de Hidrocapital, no sean pertenecientes a dicha bomba.
- Dados los puntos de operación reales y teóricos de los grupos de bombeo, se observó una variación de los valores reales con respecto a los teóricos de caudal y energía. Esta variación es definida en forma de porcentaje y se muestra a continuación según el número de equipos encendidos. Para obtener información más detallada se debe ver la Tabla N°20.
 - **1 Bomba Norte:** ΔQ N/A; ΔH N/A.
 - **2 Bombas Norte:** ΔQ 21,11%; ΔH 4,11%.
 - **1 Bomba Sur:** ΔQ N/A; ΔH N/A.
 - **2 Bombas Sur:** ΔQ 13,92%; ΔH 2,20%.
 - **3 Bombas Sur:** ΔQ 11,63%; ΔH 3,25%.
 - **4 Bombas Sur:** ΔQ 7,69%; ΔH 3,06%.
 - **5 Bombas Sur:** ΔQ 4,83%; ΔH 2,66%.
- Actualmente los grupos de bombeo Norte, con dos equipos encendidos requieren 6437 HP de potencia. Para los grupos de bombeo Sur, con cinco equipos encendidos requieren 10728 HP. Esto representa un requerimiento total para los grupos de bombeo de 17165 HP.
- En el caso en el que estén operativos los seis equipos de bombeo Norte, en conjunto con los cinco equipos Sur, la estación requerirá una potencia de 30039 HP. Si se habilitaran los once ramales de bombeo Norte, en conjunto con los cinco equipos Sures, entonces se requerirán 49789 HP
- Se estableció en la curva de operación hidráulica del Alimentador Este, el comportamiento del flujo a través del tramo en estudio, arrojando valores para la condición piezométrica de 900 m, un caudal de 2392 l/s. A su vez, se define una posible condición más favorable para la estación si se llega a establecer por lo menos una piezométrica de 920 m de energía, que coincide con la cota de la válvula P al inicio del Alimentador Este, lo que arroja un caudal de 3133 l/s.
- Considerando lo mostrado en el Gráfico N°10, se establecen que para un 100% de apertura del Bypass perteneciente a la válvula mariposa del Alimentador Este, se



obtiene una condición piezométrica aproximada a 870 m de energía y un máximo de 1000 l/s en gasto.

- Como se puede observar en el Gráfico N°11 un equipo Norte encendido necesita apenas 0,5 m.c.a. de carga hidráulica en el múltiple de succión para funcionar según las curvas de NPSH teóricas. Sin embargo, actualmente en la estación se apagan los equipos Norte operativos cuando la succión baja de 10 m.c.a. y los operadores alegan que realizan este apagado porque no cumple por NPSH. Queda en evidencia que esta práctica no es estrictamente necesaria, a pesar de aportar cierto valor de seguridad a las bombas. De todas formas, este criterio requiere que se realicen más estudios.
- Se establecen en la Tabla N°21. los valores de velocidades en los principales elementos de la estación para las condiciones de caudal promedio medido de dos equipos Norte y cuatro equipos Sur encendidos:
 - Múltiple de succión: $1,15 \frac{m}{s}$ para un caudal promedio de 4102,18 l/s
 - Válvula P del Este: $1,58 \frac{m}{s}$ para un caudal promedio de 2428,82 l/s.
 - Descarga Sur: $3,21 \frac{m}{s}$ para un caudal promedio de 1464,42 l/s.
 - Descarga Norte: $0,61 \frac{m}{s}$ para un caudal promedio de 1697,38 l/s.
- La estación de bombeo 25 opera bajo condiciones precarias, esto referente a equipos hidromecánicos. Los equipos de bombeo se encuentran visualmente en mal estado, al igual que su condición operativa evidenciado en las curvas características anteriormente mostradas. Algunas válvulas no operan correctamente y en su mayoría presentan desgaste físico. Hay presencia de aire en las líneas de succión y por lo tanto en la descarga. Existen diversos botes de agua en varios elementos de la estación, como juntas de bridas, bombas, válvulas, refrigeración y drenajes.
- Los dispositivos de medición tales como los manómetros, medidores de caudal y termómetros, se encuentran en estado de deterioro y no solo superficialmente, algunos muestran mediciones poco precisas debido a posible presencia de aire en las tuberías. Esto dificulta el registro del comportamiento operativo de la estación.
- Como se ha mencionado antes, actualmente están operativos solo dos equipos de bombeo norte, cuando existen seis ramales de bombeo instalados y el diseño original de la estación contempla once ramales de bombeo. Además, el espacio designado para los cinco ramales a instalar, se utiliza como lugar de depósito de diversos equipos hidromecánicos desarmados.
- En un caso en el que ocurra un fallo eléctrico que afecte la operación de la planta potabilizadora y de la estación, pero los sistemas básicos de la planta se puedan mantener operativos mediante un suministro eléctrico de emergencia, el Alimentador Este que funciona por gravedad, puede seguir operativo alcanzando valores de 3500 l/s para una energía de 935 m, la cual representa la energía potencial que aporta la cota de la tanquilla de salida de la planta.
- En general, la información necesaria para la realización de este estudio, vinculado a esta y otras estaciones de bombeo, se encuentra muy dispersa, poco precisa y desactualizada.



CAPÍTULO VIII. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones relacionadas con la caracterización integral de la estación de bombeo E/B 25 son las siguientes:

- Mantener una base de datos de los registros de las condiciones y magnitudes que se manejan en la estación, así como archivos actualizados sobre las reparaciones y mantenimientos, usos y desusos de los equipos hidromecánicos. De esta forma, servirá como fundamento para trabajos futuros y estudios detallados.
- Evitar el uso de la tubería Bypass para el paso de todo el caudal proveniente del múltiple, porque debido al diámetro de la tubería se generan velocidades mayores a las permisibles dentro de la misma, además de que existe riesgo de que se produzca el fenómeno de cavitación.
- Los diámetros en el alimentador de la matriz de distribución Oeste, hacia la Floresta, generan una limitación en caudal que dificulta la conducción de uno mayor para las comunidades que se conectan a ella. Se recomienda sustituir los diámetros de tuberías por unos más grandes, para así facilitar la conducción de un mayor caudal en caso de que se solicite.
- Para una posible condición piezométrica más favorable en el Alimentador Este, se requiere de un dispositivo de control que genere poca pérdida localizada y pueda garantizarse un caudal constante a su salida.
- Organizar una tarea de búsqueda para recopilar, reorganizar y actualizar toda la información posible relacionada al Acueducto Metropolitano de Caracas, sin importar lo antigua que sea, para que así se faciliten la realización de trabajos futuros de cualquier tipo que estén relacionados con el acueducto y sus diversos elementos.
- Realizar el mantenimiento adecuado que requieren las bombas, válvulas, medidores y demás equipos de la estación de bombeo, para así minimizar las pérdidas de agua en la misma y optimizar el servicio. En el caso particular de las bombas, esto lograría mantener las curvas reales de las bombas lo más cercanas posibles a las teóricas, lo que se traduce como un correcto funcionamiento de los equipos.
- De ser necesario el cambio o sustitución de un equipo, se recomienda que los organismos competentes den prioridad y realicen una inversión para que este sea reemplazado lo más pronto posible y el servicio se mantenga siempre lo más óptimo posible.
- Debido a la antigüedad y el mal estado de algunas bombas del Grupo Norte, se espera que sean sustituidas e instaladas en todos sus ramales en un futuro cercano, por un modelo más nuevo al que se le dé el mantenimiento correcto para garantizar su correcta operatividad y su larga vida útil.
- Las curvas de bombeo reales del grupo Sur resultan por encima de las curvas de bombeo teóricas, lo cual va en contra de lo esperado como se dijo anteriormente. Se recomienda para este caso, realizar un estudio detallado para encontrar la posible razón a estos resultados y tomar las acciones pertinentes de acuerdo a cuál sea el caso.



- Ejecutar un estudio que describa el comportamiento real de la succión para los Grupos Norte, de forma que se explique porqué ocurre un apagado de los equipos cuando esta baja de 10 m.c.a., a pesar de que las curvas NPSH demuestran que pueden mantenerse en funcionamiento con mucha menos energía.
- La estación de bombeo 25 opera bajo condiciones precarias, se recomienda realizar un diagnóstico a fondo de cada elemento de la estación para así determinar cuáles necesitan mantenimiento y cuáles deben ser reemplazados con urgencia. También se debe realizar una limpieza superficial de todos los elementos y pintarlos para generar una sensación de orden y funcionalidad en los visitantes.
- De acuerdo con la caracterización real de los Grupos Norte, al utilizar dos o menos equipos de bombeo, estos se estarían forzando a trabajar casi fuera del rango de operación, por lo que se recomienda reactivar los otros cuatro equipos lo más pronto posible para corregir esta condición.
- Se recomienda realizar un análisis detallado del comportamiento del Alimentador Este, el cual posee una condición piezométrica inestable. Además de esto, se hace evidente la necesidad de un elemento que compense y establezca la carga hidráulica que rige la E/B 25, de esta forma se dejará de usar incorrectamente la válvula mariposa del Este, que actualmente se usa como agente controlador de la presión del múltiple de succión.
- Retomar el estudio para la recuperación del estanque compensador de la estación y adecuar la planta potabilizadora para que funcione al máximo de su capacidad y así poder, en conjunto, corregir la inestabilidad de presión y caudal en el múltiple de succión.
- Realizar un estudio detallado con respecto a la presencia de aire en la succión y descarga de la estación, de forma que el origen sea detectado y se instalen dispositivos de extracción de aire.
- Se recomienda realizar una investigación que evalúe la capacidad eléctrica que tiene la estación de bombeo, determinando si los transformadores de energía eléctrica, ubicados en los terrenos de la estación, pueden cumplir con los requerimientos de potencia exigidos ante la condición óptima de seis equipos Norte y cinco Sur encendidos.



BIBLIOGRAFÍA

- Azpurua, P. P., & Martínez Pérez, C. (1970). Experiencia de tres años en la administración del Acueducto de Caracas. *Revista de Obras Públicas*, 15.
- Bolinaga I., J. J. (1990). *Mecánica elemental de los fluidos* (2da ed.). Caracas, Venezuela: Editorial Arte.
- De las Heras, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC.
- Eddy, H. (2012). *Ingeniero Civil Info*. Obtenido de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2012/01/bombas-de-agua-trabajando-en-paralelo.html>
- Marconi, H. (Julio de 1969). *Plano de estación de bombeo A.B. Construcción, estación de bombeo N°5 "La Guairita"*. Caracas: Hidrocapital.
- Méndez, M. V. (1995). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Caracas, Venezuela: Editorial Texto.
- Mengual F., M. (1996). Operación conjunta de las fuentes de los sistemas Tuy I y Tuy II en la función de la nueva operación de la toma de San Antonio y el embalse Quebrada Seca. *Tekhne*, 12.
- Proyectos Industriales Inrompes. (2005). *Proyecto para la sustitución de los sistemas dinámicos de excitación dinámicos de la estación de bombeo 22, 23, 25 Sur pertenecientes al sistema Tuy II por sistemas de excitación estáticos*. Caracas: Hidrocapital.
- Solórzano, R. (05 de Junio de 2016). *Hydraulics and Pneumatics*. Obtenido de o <https://www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidr-ulicas>
- Soltec C.A. (2013). *Servicios profesionales para la elaboración del proyecto de ingeniería de detalle y de los pliegos de las condiciones para el proceso de contratación de la construcción de la Estación de Bombeo 25 Este, ubicada en la estación 25, Macaracuay*. Caracas: Hidrocapital.
- Tecnología Mecánica*. (12 de Noviembre de 2018). Obtenido de http://www.sitenordeste.com/mecanica/bomba_hidraulica.htm
- Yanes, A. (1966). *Memoria descriptiva, especificaciones de proyecto de construcción estación de bombeo "La Guarita" (N°5 - Tuy 2)*. Caracas: Hidrocapital.



ANEXOS



INDICE DE ANEXOS

Cabe destacar que junto a este Trabajo Especial de Grado se incorporan cinco archivos Excel donde se puede consultar la siguiente información de manera más cómoda y profundizada, además de una carpeta con toda la memoria fotográfica adquirida durante el periodo de diagnóstico.

Anexo N°1. Levantamiento mecánico de la estación de bombeo E/B 25 Norte.....	102
Anexo N°2. Levantamiento mecánico de la estación de bombeo E/B 25 Sur.....	104
Anexo N°3. Valores de energía para las curvas características corregidas por pérdidas localizadas en el ramal de bombeo.....	106
Anexo N°4. Valores de las curvas de operación hidráulica de los Alimentadores Norte y Sur.....	107
Anexo N°5. Registro de la condición de la estación durante los días 20, 22 y 25 de febrero del año 2019.....	108
Anexo N°6. Comprobación aproximada de algunos diámetros externos de tubería dentro de la E/B 25 por los autores de este trabajo.....	109
Anexo N°7. Reconocimiento de la planta de potabilización “La Guairita” aguas arriba de la estación de bombeo E/B 25.....	109
Anexo N°8. Anexo N°6. Tubo de Venturi a la salida de la planta potabilizadora “La Guairita”.....	110
Anexo N°9. Anexo N°7. Estación de bombeo E/B 25 Norte.....	111
Anexo N°10. Último día de mediciones en la estación de bombeo E/B 25.....	112



IDENTIFICACION:		E/B 25 LA GUAIRITA NORTE	
SISTEMA DE BOMBEO ASOCIADO:		TUY II	
ESTADO:	MIRANDA	MUNICIPIO:	SUCRE
ALTITUD (msnm):		925	
1.- DESCRIPCION GEOGRAFICA:			
2.- NIVELES DE BOMBEO:			
SUCCION :	16,48929 MCA		
DESCARGA:	80 MCA		
3.- DESCRIPCION HIDRAULICA ACTUAL			
CAUDAL (l/s):	4102,179		
ALTURA DINAMICA TOTAL (m):	63,51071		
SUMINISTRO:	PLANTA DE TRATAMIENTO LA GUAIRITA		
DISTRIBUCION: LOMAS DEL SOL, POTRO REDONDO, CC XPRESS MACARACUAY, LOS POMELOS, CERRO VERDE, COLINAS TAMANACO, SANTA INES, SANTA FE, LAS MESESTAS, SANTA PAULA, CAFETAL, EL MIRADOR, SAN LUIS, SANTA SOFIA, COLINA DE LOS RUICES, LOMAS DEL MIRADOR, SANTA MARTA, CAURIMARE, LOMAS DE LAS MERCEDES (LA PEÑA), LOMAS DE CHUAO, CHAPELLIN, SANTA EDUVIGIS PARTE ALTA, SEBUCAN, LOS PALOS GRANDES, EL PEDREGAL, ALTAMIRA, BARRIO CHAPELLIN, CHORROS PARTE ALTA, LOS DOS CAMINOS PARTE ALTA, COUNTRY CLUB, LOMAS DE LOS CHORROS, SANTA MARIA, AVILA PARTE ALTA, LA CASTELLANA, LA FLORIDA PARTE ALTA, ALTA FLORIDA, LOMAS DE SAN RAFAEL, LAS PALMAS PARTE BAJA, LAS LOMAS PARTE ALTA, LA COLINA, MARIPEREZ, URB. SIMON RODRIGUEZ, BARRIO PINTO SALINAS, PEDRO CAMEJO, SARRIA, SAN BERNARDINO, BARRIO LOS LLANOS, SAN JOSE, BARRIO COTIZA 3, BARRIO COTIZA, BARRIO COTIZA 2, BARRIO LOS CUJICITO, ALTA GRACIA ESTE (EL PANTEON), EL SILENCIO, PARQUE CENTRAL, LOS MANOLOS, QUITA CRESPO OESTE, OBSERVATORIO, CATEDRAL, CAÑO AMARILLO, ALTA GRACIA OESTE (LA PASTORA), EL POLVORIN, SABANA DEL BLANCO, DIEGO DE LOSADA (LOS MECEDORES), CUTIRA, ALTA VISTA, EL REFUGIO, BLANDIN Y SAN AGUSTIN.			
VALVULAS Y ACCESORIOS			
RAMALES DE SUCCION		MULTIPLE DE SUCCION	
TUBERIA Ø28"		MANÓMETRO	
VALVULA MARIPOSA VAG EKN PN10 Ø28"		VENTOSA AIRVALVE PN 64 Ø1"	
REDUCCION Ø28" x Ø20"		VENTOSA AIRVALVE PN 64 Ø1"	
RAMALES DE DESCARGA		MULTIPLE DE DESCARGA	
EXPANSION Ø16" x Ø28"		EXPANSION Ø28" x Ø40"	
VALVULA DE PASO ANULAR VAG RIKO PN25 Ø28"		EXPANSION Ø40" x Ø48"	
VALVULA MARIPOSA VAG PN25 Ø28"		EXPANSION Ø48" x Ø52"	
TUBERIA Ø28"		EXPANSION Ø52" x Ø56"	
		EXPANSION Ø56" x Ø74"	
		DISPOSITIVO DE MEDICION DE CAUDALES	
BOMBAS: KSB RDL 400-540 A			
OBSERVACIONES MECANICAS: SEIS GRUPOS DE BOMBEO INSTALADOS PERO SOLO DOS GRUPOS OPERATIVOS, GRUPO #4 DESARMADO.			
FUGAS DE AGUA POR FALLA EN JUNTAS			
MEDIDORES DE TEMPERATURA Y PRESION DEFECTUOSOS			
CARACTERISTICAS DE LA BOMBA			
MARCA:	KSB	SERIAL:	669.692
MODELO:	RDL 400-540 A	TIPO:	CENTRIFUGA - HORIZONTAL
AÑO:	2011	CARCA SA:	CARCASA PARTIDA
1.- PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO		ETAPAS:	1 ETAPA
DESCRIPCION		SEGUN DATOS PLACA	SEGUN CATALOGOS
CAUDAL M3/H		3240	SIN DATO
PRESION		SIN DATO	SIN DATO
POTENCIA KW		SIN DATO	1150
RPM		1750	SIN DATO
DN IMPULSOR MM		SIN DATO	500
EFICIENCIA %		SIN DATO	83
NPSH(REQUERIDO)		SIN DATO	12 M
POTENCIA H. KW		SIN DATO	SIN DATO
2.- COJINETES (SEGUN ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL FABRICANTE)			
2.1.- LADO DE SUCCION			
TIPO:	RODILLOS		
LUBRICACION:	GRASA		
ENFRIAMIENTO:	AGUA		
2.2.- LADO DE DESCARGA			
TIPO:	RODILLOS		
LUBRICACION:	GRASA		
ENFRIAMIENTO:	AGUA		
3.- ESTOPERAS (SEGUN ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL FABRICANTE)			
TIPO:	SIN DATO		
4.- INSTRUMENTOS DE MEDICION			
MANÓMETROS, DISPOSITIVOS SCADA, CAUDALÍMETROS Y MEDIDORES DE TEMPERATURA			
5.- OBSERVACIONES ELECTRICAS:			
CONEXIONES PROTEGIDAS EN CAJA METÁLICA			



CARACTERISTICAS DEL MOTOR			
MARCA:		SERIAL:	POTENCIA :
MODELO:		TIPO:	TENSION:
FRECUENCIA:		AI SLAM. :	CONEXIÓN:
F. SERVICIO:		CORRIENTE:	
ALIMENTACION ELECTRICA :			
CARACTERISTICAS PLANTA FISICA:			
ESTRUCTURA EXTERNA :	GALPÓN METÁLICO Y CASETA DE CONCRETO DEL OPERADOR		TECHO: LÁMINAS ACANELADAS APERNADAS
ILUMINACION:	ARTIFICIAL	POSIBI. AMPLIACION:	PROYECTO EXISTENTE
DRENAJE:	INTERNOS SISTEMA DE TUBERIAS. EXTERNOS CANALETAS Y BAJANTES METÁLICOS		
OBSERVACIONES PLANTA FISICA: LA SUCCIÓN CONTINUA HASTA LA VÁLVULA MARIPOSA. AL FINAL, CONSIDERADA COMO "LA COMPUERTA ESTE" (VAG ANSI 150 Ø55"), A PARTIR DE ALLÍ COMIENZA EL ALIMENTADOR ESTE, QUE SURTE POR GRAVEDAD HASTA LA ESTACIÓN DE REBOMBEO "EL MARQUÉZ"			
DRENAJE OBSTRUIDO POR VEGETACIÓN			

Anexo N°1. Levantamiento mecánico de la estación de bombeo E/B 25 Norte.

Fuente. Elaboración propia.



IDENTIFICACION:		E/B 25 LA GUAIRITA SUR	
SISTEMA DE BOMBEO ASOCIADO:		TUY II	
ESTADO:	MIRANDA	MUNICIPIO:	SUCRE
PARROQUIA:		PETARE	
ALTITUD (msnm):	925		
1.-DESCRIPCION GEOGRAFICA:			
2.- NIVELES DE BOMBEO:			
SUCCION :	16,48929 MCA		
DESCARGA:	340 MCA		
3.- DESCRIPCION HIDRAULICA ACTUAL			
CAUDAL (l/s):	4102,179		
ALTURA DINAMICA TOTAL (m):	323,5107		
SUMINISTRO:	PLANTA DE TRATAMIENTO LA GUAIRITA		
DISTRIBUCION: BOSQUES DE LA LAGUNITA, CAICAGUANA, LOMA LINDA -SURESTE, LOMAS DE LA LAGUNITA, SUR CAMPOS DE GOLF, LAS MARIAS, CURIACARA EL PEÑON, CALLE B10, LAS MARIAS NORTE, HATILLO ALTO, LA UNION, CALVARIO EL HATILLO, BAJO HATILLO, ESTE LOS PINOS, GAVILAN, OESTE LAS MARIAS, LA FRONDA, EL VOLCAN, LOS PINOS, LOS GERANIOS, CC LA BOYERA, ESTE LA BOYERA, OESTE LA BOYERA, EL CIGARRAL, FARMATODO LOS ARCOS, SUR LA TAHONA, CENTRO MEDICO LA TRINIDAD, OESTE LA TAHONA, LA BONITA, ESTE LA TRINIDAD, SANTA CRUZ DEL ESTE 1, LA TRINIDAD, SANTA CRUZ DEL ESTE 2, ESTE BARRIO LAS MINAS, SANTA INES 2, SECTOR LA NAYA (SOLO INDUSTRIA), PRADOS DEL ESTE, LOS NARANJOS, EL PAUJI, VISTA LINDA Y LA LAGUNITA I.			
VALVULAS Y ACCESORIOS			
RAMALES DE SUCCION		MULTIPLE DE SUCCION	
TUBERIA Ø16"		MANÓMETRO	
VÁLVULA MARIPOSA VAG EKN PN10 Ø16"		VENTOSA AIRVALVE PN 64 Ø1"	
CODO 90° Ø16"		VENTOSA AIRVALVE PN 64 Ø1"	
REDUCCIÓN Ø16" x Ø14"			
RAMALES DE DESCARGA		MULTIPLE DE DESCARGA	
EXPANSIÓN Ø10" x Ø14"		EXPANSIÓN Ø14" x Ø24"	
CODO 90° Ø14"		EXPANSIÓN Ø24" x Ø28"	
VÁLVULA DE PASO ANULAR VAG RIKO PN40 Ø14"		EXPANSIÓN Ø28" x Ø30"	
VÁLVULA DE COMPUERTA VAG PN40 Ø14"		DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE CAUDALES	
TUBERIA Ø14"			
BOMBAS KSB HE 250-62			
OBSERVACIONES MECANICAS: CINCO GRUPOS DE BOMBEO INSTALADOS Y OPERATIVOS			
RAMALES DE SUCCIÓN OXIDADOS			
FUGAS DE AGUA POR UNIONES DEFICIENTES			
MEDIDORES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN DEFECTUOSOS			
CARACTERISTICAS DE LA BOMBA			
MARCA:	KSB	SERIAL:	1-137-143 813/2
ETAPAS:		1 ETAPAS	
MODELO:	HE 250-62	TIPO:	CENTRIFUGA - VERTICAL
SUCCION:		Ø350 MM / Ø14"	
AÑO:	1974	CARCA SA:	CARACOL
DESCARGA:		Ø250 MM / Ø10"	
1.-PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO			
DESCRIPCION	SEGUN DATOS PLACA	SEGUN CATALOGOS	
CAUDAL M3/H	1115	SIN DATO	
PRESIÓN M.C.A	336	SIN DATO	
POTENCIA KW	SIN DATO	SIN DATO	
RPM	1800	1800	
DN IMPULSOR MM	250	250	
EFICIENCIA	SIN DATO	SIN DATO	
NPSH(REQUERIDO)	SIN DATO	SIN DATO	
POTENCIA H. KW	1210	SIN DATO	
2.- COJINETES (SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL FABRICANTE)			
2.1.- LADO DE SUCCION			
TIPO:	SIN DATO		
LUBRICACION:	GRASA		
ENFRIAMIENTO:	AGUA		
2.2.- LADO DE DESCARGA			
TIPO:	SIN DATO		
LUBRICACION:	GRASA		
ENFRIAMIENTO:	AGUA		
3.- ESTOPERAS (SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL FABRICANTE)			
TIPO:	SIN DATO		
4.- INSTRUMENTOS DE MEDICION			
MANOMETROS, DISPOSITIVOS SCADA, CAUDALÍMETROS Y MEDIDORES DE TEMPERATURA			
5.- OBSERVACIONES ELECTRICAS:			
CONEXIONES PROTEGIDAS EN CAJA METÁLICA			



CARACTERISTICAS DEL MOTOR					
MARCA:		SERIAL:		POTENCIA :	
MODELO:		TIPO:		TENSION:	
FRECUENCIA:		AISLAM. :		CONEXIÓN:	
F.SERVICIO:		CORRIENTE:			
ALIMENTACION ELECTRICA :					
CARACTERISTICAS PLANTA FISICA:					
ESTRUCTURA EXTERNA :	GALPÓN METÁLICO Y CASETA DE CONCRETO DEL OPERADOR			TECHO:	LÁMINAS ACANELADAS APERNADAS
ILUMINACION:	ARTIFICIAL Y NATURAL			POSIBI. AMPLIACION:	
DRENAJE:	INTERNOS SISTEMA DE TUBERIAS. EXTERNOS CANALETAS Y BAJANTES METÁLICOS				
OBSERVACIONES PLANTA FISICA: LA SUCCIÓN CONTINUA HASTA LA VÁLVULA MARIPOSA AL FINAL, CONSIDERADA COMO "LA COMPUERTA ESTE" (VAG ANSI 150 Ø55"), A PARTIR DE ALLI COMIENZA EL ALIMENTADOR ESTE, QUE SURTE POR GRAVEDAD HASTA LA ESTACIÓN DE REBOMBEO "EL MARQUEZ"					
DRENAJE OBSTRUIDO POR VEGETACIÓN					

Anexo N°2. Levantamiento mecánico de la estación de bombeo E/B 25 Sur.

Fuente. Elaboración propia.



BOMBAS NORTE RDL 400-540 A (Corregida)	
H (m)	Q (l/s)
127,50	0
127,80	50
127,98	100
127,42	200
125,73	300
123,70	400
120,03	500
115,33	600
110,08	700
103,80	800
95,49	900
86,14	1000
74,75	1100

BOMBAS SUR HE 250-620 (Corregida)	
H (m)	Q (l/s)
427,00	0
425,98	25
424,91	50
423,79	75
422,63	100
421,43	125
419,18	150
416,88	175
410,53	200
402,14	225
392,71	250
382,23	275
370,70	300
358,13	325
345,51	350
329,84	375
313,42	390

Anexo N°3. Valores de energía para las curvas características corregidas por pérdidas localizadas en el ramal de bombeo. Ver Excel “Método Gráfico Alimentador Norte” y “Método Gráfico Alimentador Sur”.

Fuente. Elaboración propia.



CURVA DE OPERACIÓN HIDRÁULICA NORTE	
Q(l/s)	Energía Requerida H (m) con H-W
0	64,00
700	64,60
1000	65,54
1500	68,01
2000	71,55
2500	76,09
3000	81,61
3500	88,06
4000	95,43
4500	103,70
5000	112,84
5500	122,86
6000	133,72

CURVA DE OPERACIÓN HIDRÁULICA SUR	
Q(l/s)	Energía Requerida H (m) con H-W
0	ERROR
100	ERROR
200	ERROR
300	ERROR
400	ERROR
500	ERROR
600	312,90
700	315,09
800	318,89
900	324,18
1000	330,90
1100	338,98
1200	348,38
1300	359,09
1400	371,07
1500	384,30
1600	398,75
1700	414,41
1800	431,27
1900	449,30
2000	468,50

Anexo N°4. Valores de las curvas de operación hidráulica de los Alimentadores Norte y Sur. Ver Excel “Método Gráfico Alimentador Norte” y “Método Gráfico Alimentador Sur”.

Fuente. Elaboración propia.



		VENT 1	VENT 2	H Tanq	BOMBAS SUR					BOMBAS NORTE					
Nº MED Y FECHA	HORA	Q (l/s)	Q (l/s)	H (m)	N5	N4	N3	N2	N1	N1	N2	N3	N4	N5	N6
1-20/02/19	1:20 p. m.	S/M	S/M	S/M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-22/02/19	9:25 a. m.	S/M	S/M	S/M	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X7	X7		X8	X7
3-	10:25 a. m.	S/M	S/M	S/M	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X7	X7		X8	X7
4-	11:25 a. m.	S/M	S/M	S/M	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X7	X7		X8	X7
5-	12:25 p. m.	S/M	S/M	S/M	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X7	X7		X8	X7
6-	1:25 p. m.	S/M	S/M	S/M	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X7	X7		X8	X7
7-25/02/19	9:15 a. m.	S/M	S/M	S/M	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
8-	9:45 a. m.	S/M	S/M	S/M	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
9-	10:15 a. m.	S/M	S/M	S/M	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7
10-	10:45 a. m.	S/M	S/M	S/M	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7	X7		X8	X7

ALIM SUR	SUCCION	ALIM NOR	ALIM SUR	ALIM NOR	ESTE	MARICHES NORTE				ENCANTADO			VÁLVULA P (ESTE)		
P (K/cm2)	P (K/cm2)	P (K/cm2)	Q (l/s)	Q (l/s)	Q (l/s)	X7	X8	AP M.	AP C.	X7	X8	APERT	X7	X8	APERT
15,50	1,70	7,20	218,10	1.488,00	1.302,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S			
34,00	1,70	8,50	1.318,00	970,00	939,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	X		0
34,00	1,70	8,20	1.311,00	1.000,00	730,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	X		0
34,00	1,58	8,80	1.305,00	970,00	333,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	X		0
34,00	1,70	9,00	1.323,00	986,00	381,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	X		0
34,00	1,79	8,80	1.315,00	950,00	942,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	X		0
0,00	1,76	8,00	0,00	770,00	2.560,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S		X	100
0,00	1,70	8,00	0,00	815,00	2.500,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S		X	100
0,00	1,60	8,00	0,00	865,00	2.567,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S		X	100
0,00	1,48	8,00	0,00	830,00	2.480,00	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S		X	100

BYPASS			MANIVELA		DOLORITA SUR			MARICHES SUR			OBSERVACIONES
X7	X8	APERT	COND	APERT	X7	X8	APERT	X7	X8	APERT	
											El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
											El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
	X	100	ABIERTA	100		X	100		X	100	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
	X	62	ABIERTA	100		X	100		X	100	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
	X	38	ABIERTA	100		X	100		X	100	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
	X	38	ABIERTA	100		X	100		X	100	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
	X	77	ABIERTA	100		X	100		X	100	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
X		0	CERRADO	0	X		0	X		0	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
X		0	CERRADO	0	X		0	X		0	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
X		0	CERRADO	0	X		0	X		0	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.
X		0	CERRADO	0	X		0	X		0	El Medidor del Venturi 2 no funcionaba.

Anexo N°5. Registro de la condición de la estación durante los días 20, 22 y 25 de febrero del año 2019.
Ver Excel “Condición de la Estación EB 25 (Mediciones)”.

Fuente. Elaboración propia.



Anexo N°6. Comprobación aproximada de algunos diámetros externos de tubería dentro de la E/B 25 por los autores de este trabajo.

Fuente. Elaboración propia.



Anexo N°7. Reconocimiento de la planta de potabilización “La Guairita” aguas arriba de la estación de bombeo E/B 25.

Fuente. Elaboración propia.



Anexo N°8. Tubo de Venturi a la salida de la planta potabilizadora “La Guairita”.

Fuente. Elaboración propia.



Anexo N°9. Estación de bombeo E/B 25 Norte.

Fuente. Elaboración propia.



Anexo N°10. Último día de mediciones en la estación de bombeo E/B 25.

Fuente. Elaboración propia.