

10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Grupo·epm



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

• Transición energética • Economía circular
• Rentabilización de operaciones • Transformación digital

Presentación

Autor: David Saldarriaga Quintero

- ✓ Ing. Mecánico
- ✓ Especialista en gerencia de proyectos
- ✓ Especialista en turbo maquinas (pendiente de grado)
- ✓ Magister en ingeniería con profundización en turbo maquinas (pendiente de grado).

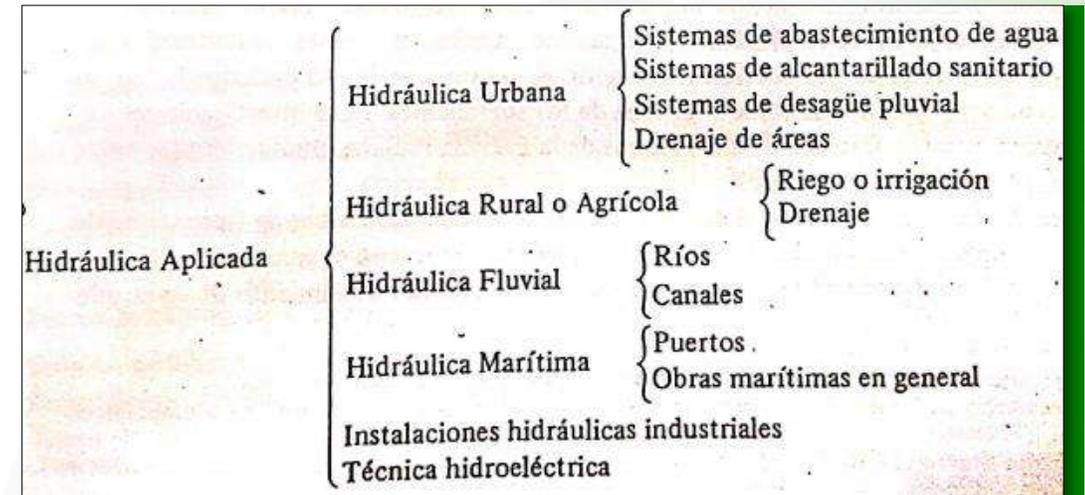
Trabajo en EPM desde el año 2014 como contratista y desde el 2015 como vinculado, todo en el área de proyectos; actualmente en el equipo de diseño de la Gerencia PASGL.



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Conceptos importantes:

- Mecánica de fluidos.
- Los fluidos se clasifican entre compresibles e incompresibles; para este caso solo se trabaja con los fluidos incompresibles, como el agua.
- Energías aprovechables; renovables y las no renovables. La energía hidráulica o hídrica (renovable), se basa en **transformar la energía potencial o cinética** de las fuentes de agua, en **energía mecánica y/o eléctrica**.
 - ✓ La **energía potencial**, es la energía que almacena un cuerpo o un objeto en su posición relativa con otro.
 - ✓ La **energía cinética**, es la energía asociada al movimiento, la velocidad de un cuerpo, masa u objeto se desplaza de un punto a otro.



Fuente.. Hidráulica Aplicada. (Azevedo Netto, Acosta Álvarez, 1975).

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

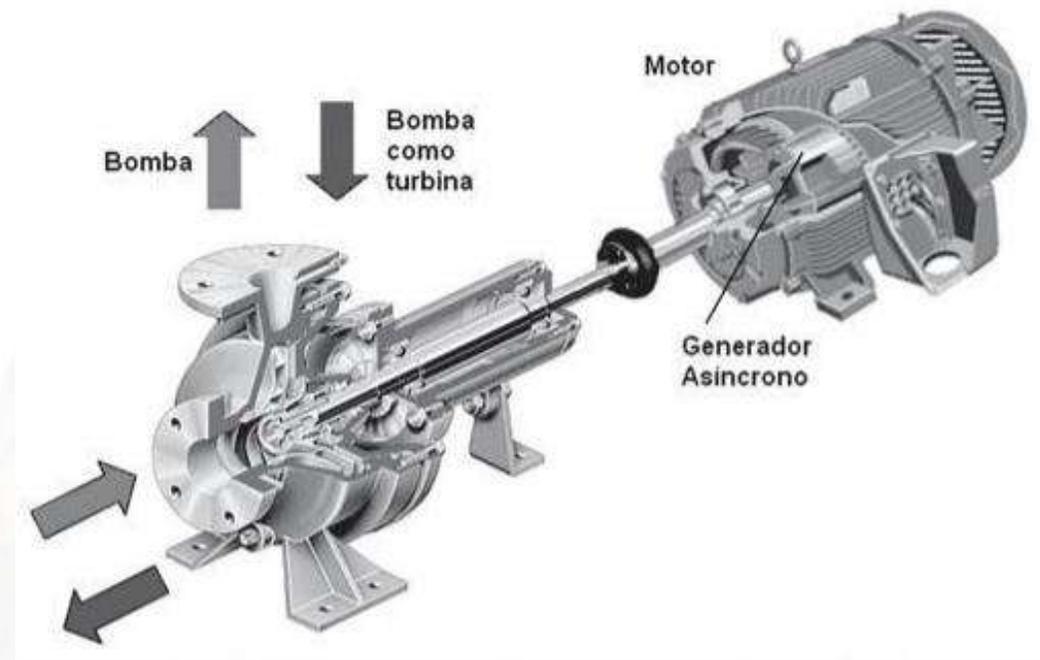
10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Conceptos importantes:

Las máquinas de fluidos se clasifican en dos:

- ✓ Las **motoras** se encargan de transformar la energía de un fluido en energía mecánica a un eje, con la que es posible producir por ejemplo energía eléctrica mediante un generador acoplado, tal como sucede en una **central hidroeléctrica**, transformando la energía potencial en cinética y a su vez en energía eléctrica.
- ✓ Las **generadoras**, las cuales, por el contrario, absorben energía mecánica e incrementan la energía del fluido; como es el caso de las **bombas**, las cuales por ejemplo conectadas a un eje de un motor que es alimentado eléctricamente, transforman esta energía en mecánica, cinética y potencial.



Fuente. Máquinas reversibles operando en modo motobomba y en modo turbina generador. (Ortiz, Sánchez, Collazos 2015).

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Conceptos importantes:

El objetivo de proyectos de **generación de energía eléctrica a partir de la hidráulica** es poder aprovechar en la mayor proporción posible la **energía potencial y/o cinética** con la que cuenta el agua en determinada instalación, obteniendo así la máxima potencia; las cuales son proporcionales al caudal y la altura del fluido.

Ecuación de potencia para bombas:

$$Pot_{ele} = \frac{\gamma QH}{\eta_b \eta_m}$$

Ecuación de potencia para bombas:

$$Pot_{ele} = gQH\eta_t\eta_g$$

La generación de **energía hidroeléctrica** es un proceso de conversión de **energía dinámico**; ya que, la energía hidráulica (potencial y cinética) es transformada en mecánica por la turbina y esta a su vez se transforma en energía eléctrica a través de un generador para ser entregada a un sistema para cubrir la demanda energética de determinado sector.

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Generación de energía con máquinas reversibles:

- ✓ Técnicamente un **motor** es un conjunto de mecanismos que permite transformar una energía eléctrica, hidráulica, eólica, entre otras; para obtener siempre a la **salida del motor energía mecánica**.
- ✓ En cuanto al **generador**, es un aparato capaz de transformar la **energía mecánica en otro tipo de energía**. De esta forma es posible tener generadores eléctricos, hidráulicos, entre otros.

MAQUINAS HIDRÁULICAS (DENSIDAD CONSTANTE)			
GENERADORAS		MOTORAS	
Líquidos	Gases	Líquidos	Gases
Bombas	Ventiladores	Turbinas hidráulicas Actuadores hidráulicos	Molinos de viento Turbinas eólicas

Fuente. Máquinas de fluido. (Quirós).

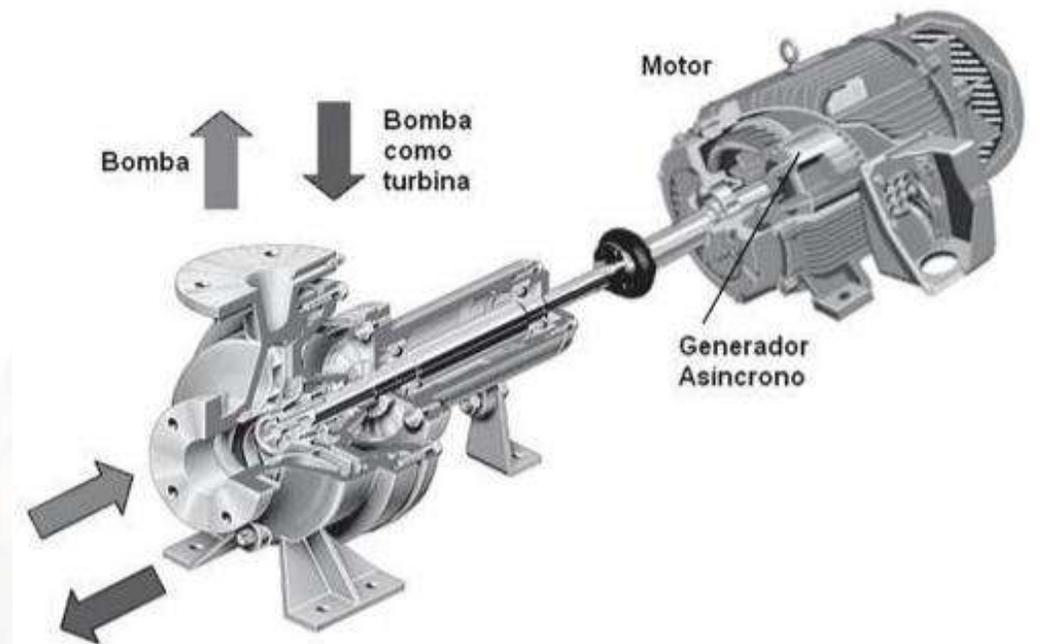
PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Bombas centrífugas:

- Las **bombas centrífugas** se encuentran diseñadas para transformar la energía cinética de un fluido en energía de presión, haciéndolo pasar de un estado de **baja presión a uno de mayor presión**.
- Las **bombas centrífugas** conectadas a una fuente de potencia (motor), permiten transformar la energía eléctrica en mecánica a través del motor, el cual a su vez por medio del eje transmite esta potencia mecánica a la bomba, para transformarla finalmente en energía cinética a la corriente de un fluido, desplazándolo desde un **punto bajo a un punto más alto** (de baja a alta presión).

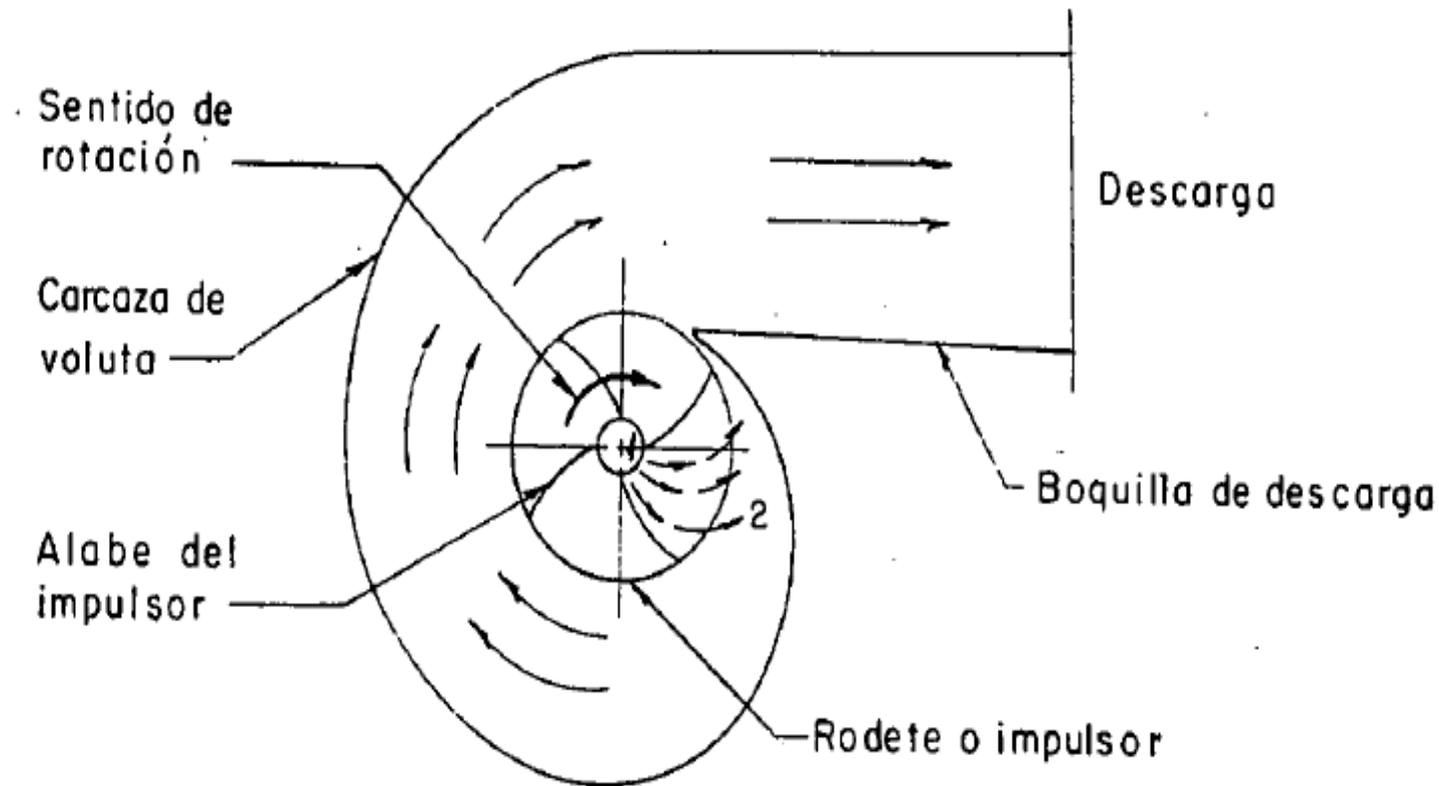


Fuente. Máquinas reversibles operando en modo motobomba y en modo turbina generador.
(Ortiz, Sánchez, Collazos 2015).

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

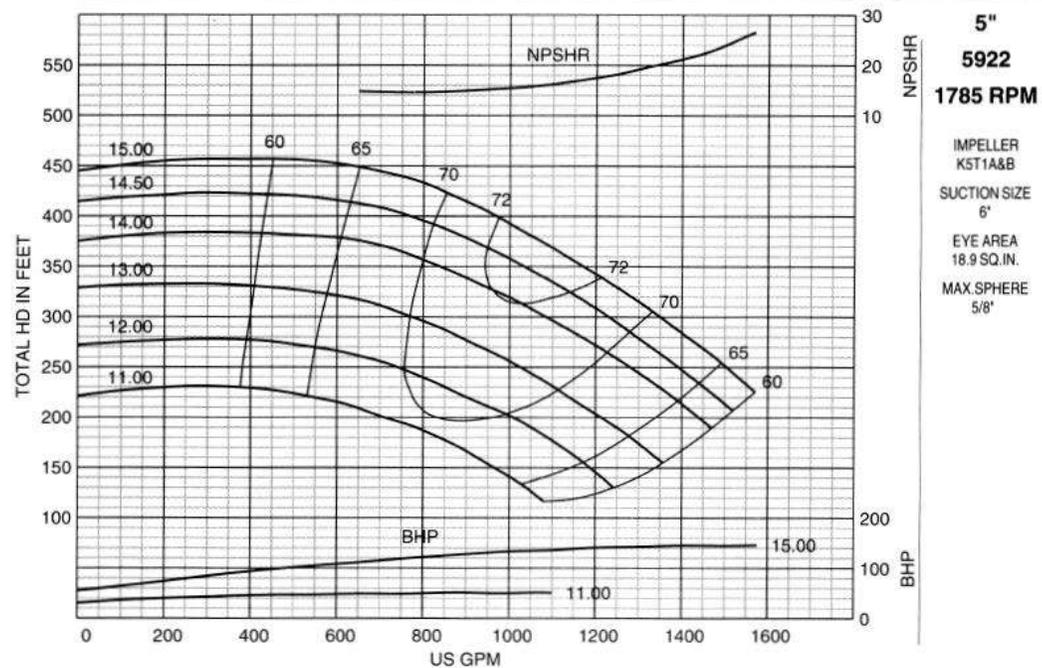


Fuente. Representación esquemática de una bomba centrífuga. (QUIRÓS).

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Bombas centrífugas:

Las **curvas características** de una bomba son una representación gráfica de su funcionamiento en la cual se relacionan sus variables más importantes con respecto a el caudal; como es el caso de **altura (presión), potencia y eficiencia**. Estas curvas, son propias de cada bomba y las hacen únicas, trazadas para una determinada velocidad de giro; haciendo como variable independiente el caudal y las demás dependientes de este. Estas son propias de cada fabricante.



Fuente. Curva característica bomba centrífuga PENTAIR PUMPS GROUP, Inc. FAIRBANKS MORSE PUMPS 1800 RPM.

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

• Transición energética • Economía circular
• Rentabilización de operaciones • Transformación digital

¿Cuál es el principal reto de usar bombas como turbinas?

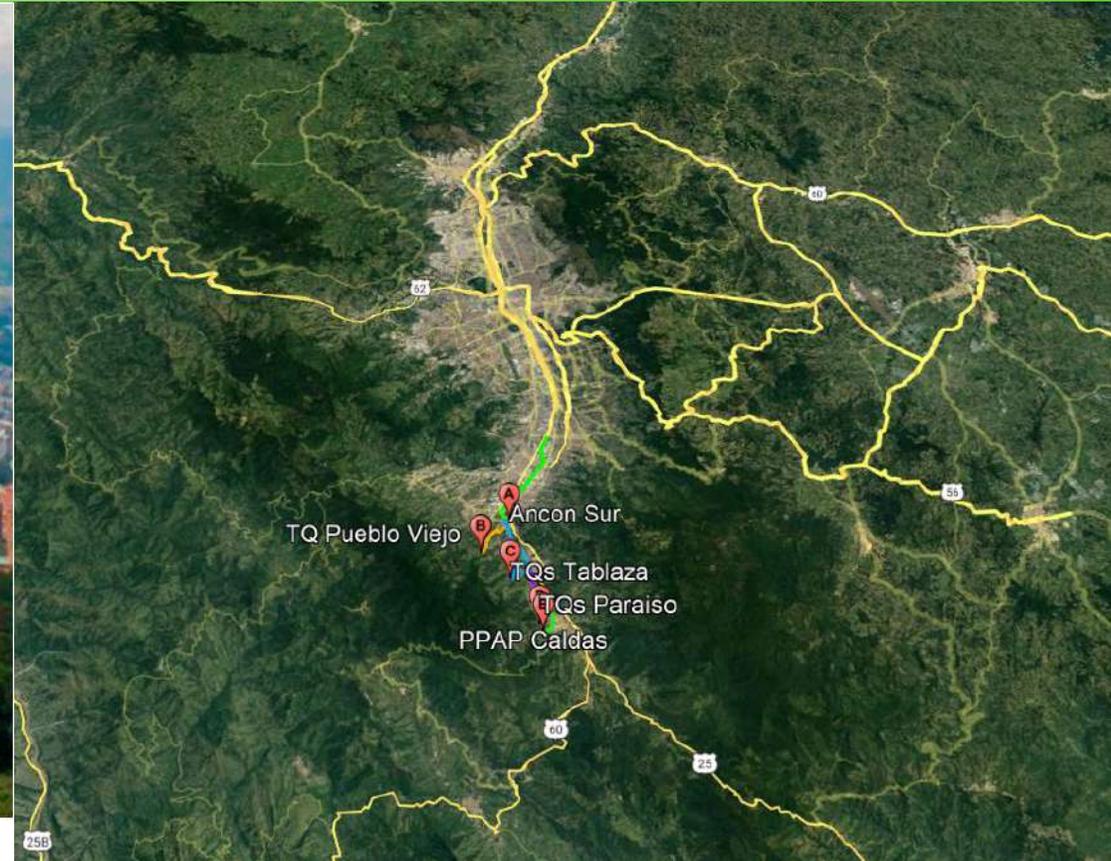
- La **falta de información** sobre las características de funcionamiento de la bomba operando como turbina y en especial las particularidades del trabajo conjunto con el **motor asíncrono operando como generador**.
- El uso de métodos de **calculos experimentales**.
- Importante realizar una **evaluación ex-post** del diseño.
- Puntos importantes para evaluar cuando se instala una bomba como turbina:
 - **Velocidad**, régimen operativo, torques de arranque máximo y de trabajo, sentido de giro del equipo, entre otros.
 - **Presiones de trabajo del equipo**; presiones máximas que soporte la carcasa de bomba.
 - **Instalaciones eléctricas asociadas**.

10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



Créditos: metropol.gov.co



Fuente. Google Earth.

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Condiciones geográficas del Valle de Aburrá:

- Se encuentra asentada en un valle rodeado de montañas, donde en su parte inferior es atravesada por el Rio Medellín.
- Su **configuración física conformada por grandes montañas** hace que el territorio sea un reto para el transporte de aguas, tanto en direcciones ascendentes como descendentes.
- El transporte del agua en Medellín y el área metropolitana se realiza a través de tuberías de diferentes diámetros, teniendo en cuenta las presiones y los caudales a transportar.
 - ✓ **Redes primarias**
 - ✓ **Redes secundarias**



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Redes primarias:

- Se consideran redes primarias tanto de agua cruda que ingresa a la planta, como las redes de agua potable que salen de las plantas hacia los tanques.
 - ✓ Cuando el transporte de agua se hace desde un **punto alto hacia un punto bajo**, se conoce como **conducción a gravedad**.
 - ✓ Cuando el transporte de agua se da entre **un punto bajo hacia un punto alto**, este se conoce como **impulsión**.
- En EPM se tiene más de **30 estaciones** de bombeo en todo su sistema.

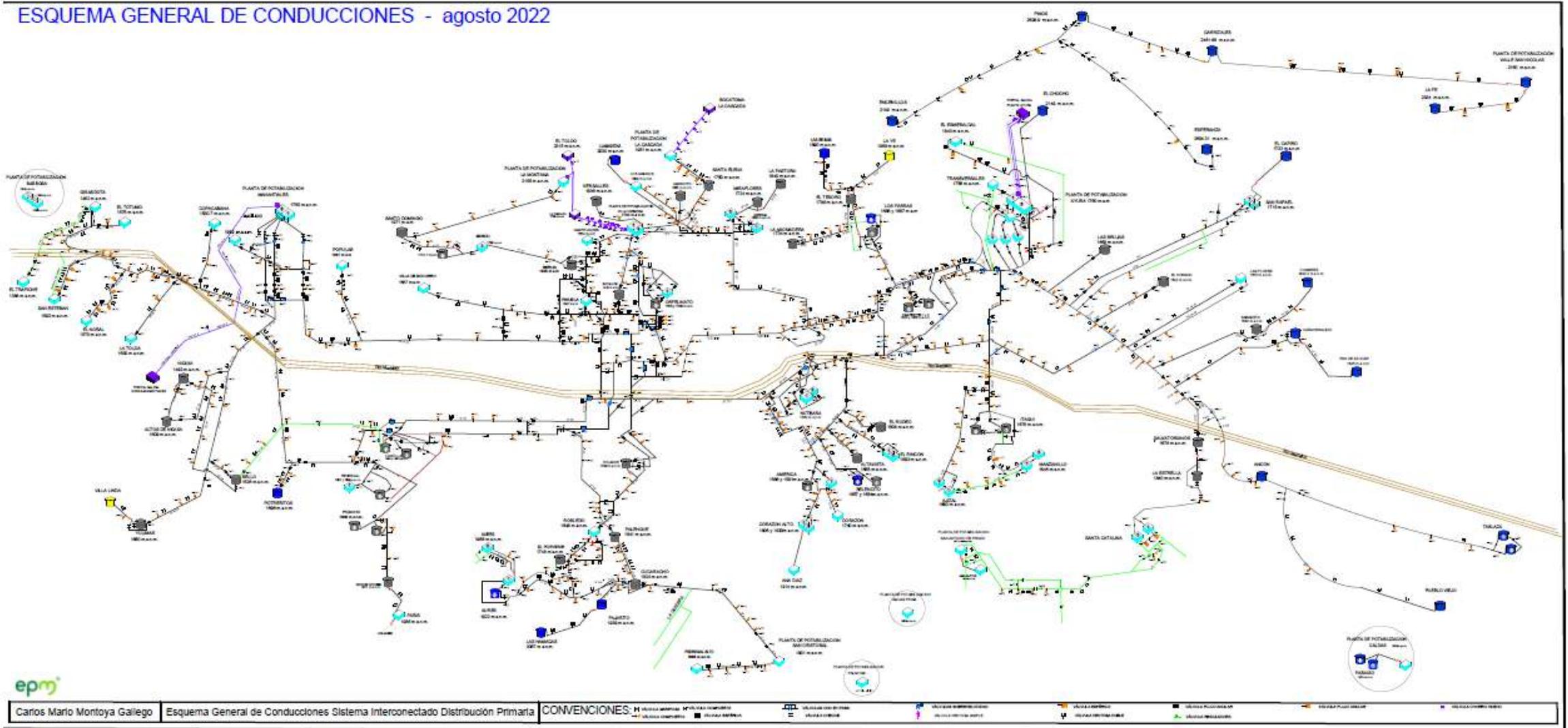


PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

ESQUEMA GENERAL DE CONDUCCIONES - agosto 2022



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

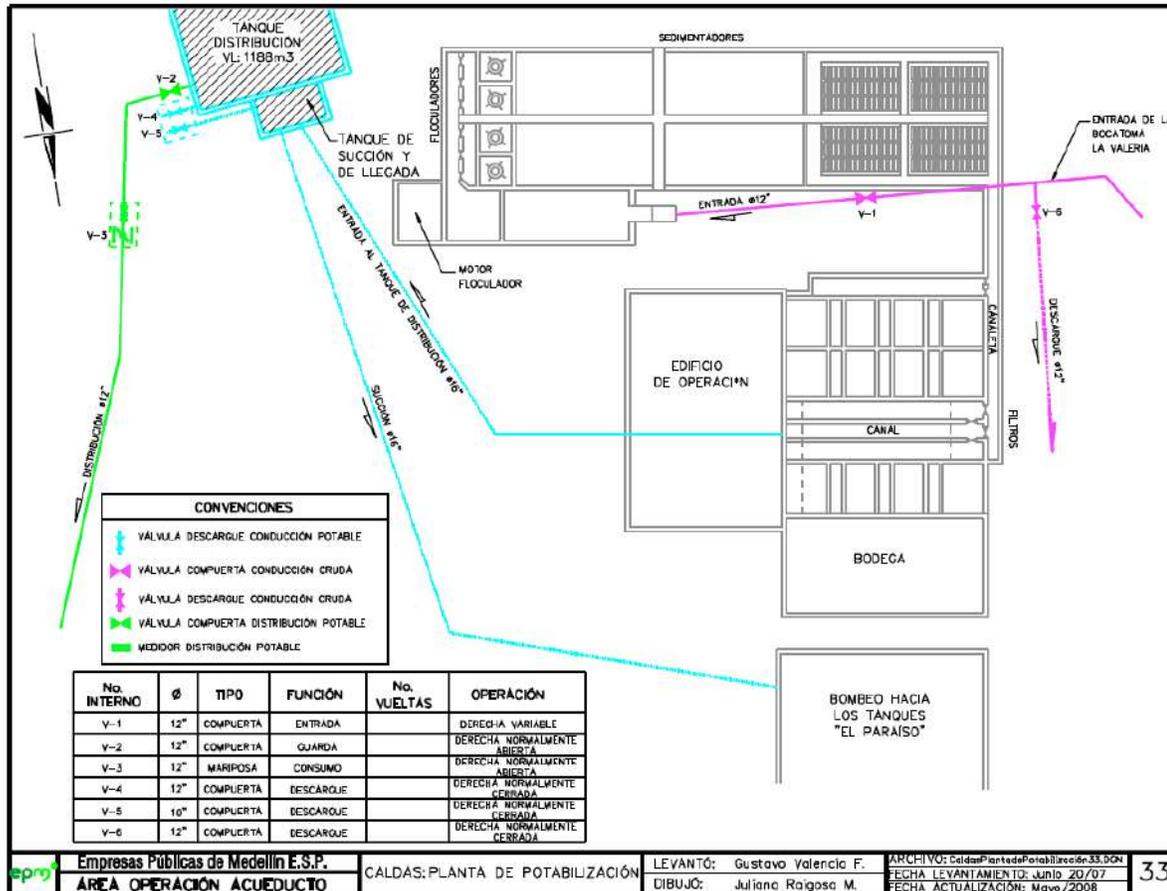
Condiciones actuales:

- Actualmente, el abastecimiento de agua potable del municipio de Caldas depende únicamente de la Planta de Producción de Agua Potable (PPAP).
- El agua se almacena en el tanque de la PPAP y en los tanques Paraíso.
- El agua se transporta hacia estos tanques por medio de 2 **motobombas centrífugas** carcasa partida marca PENTAIR - FAIRBANKS MORSE PUMPS con un caudal total de 60 l/s.
- Actualmente, la empresa (EPM), desarrolla un proyecto de expansión e interconexión de la PPAP Caldas.

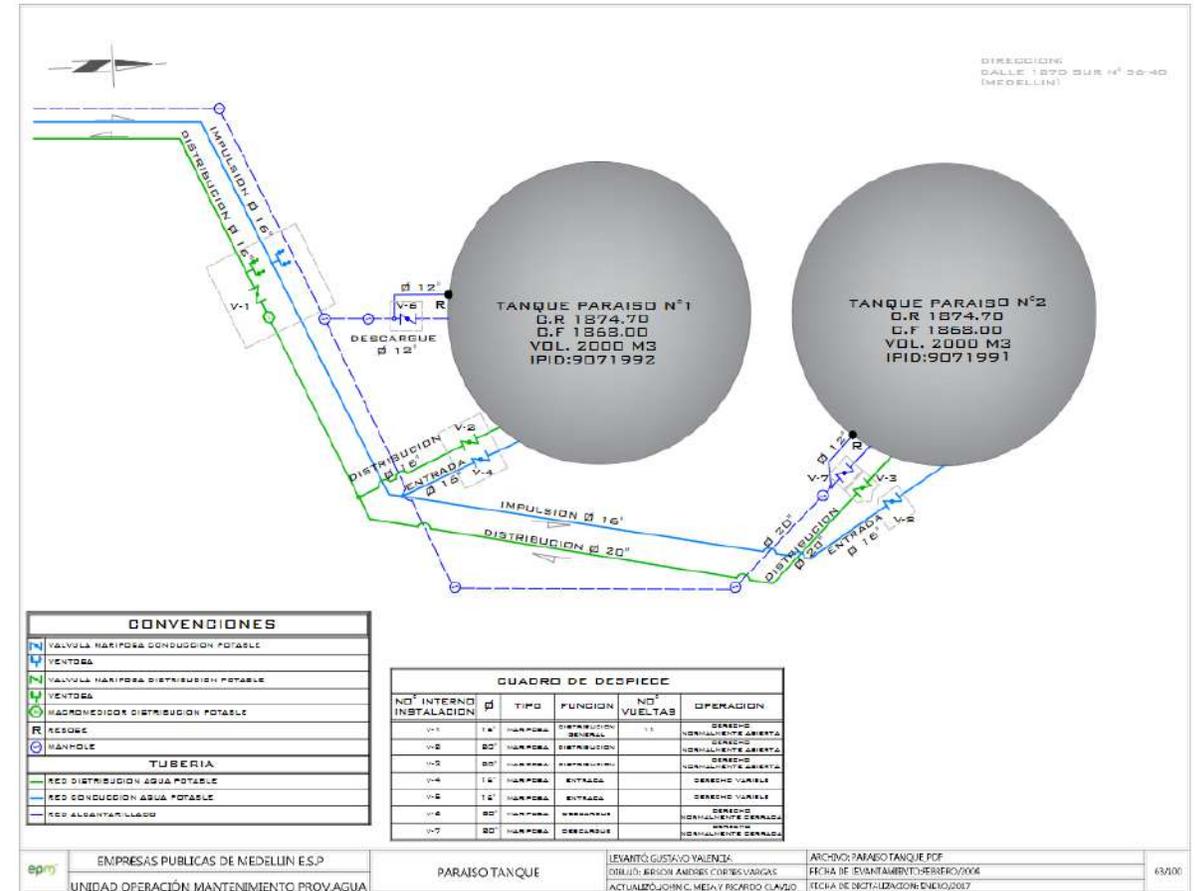


PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



ESQUEMA PPAP CALDAS.

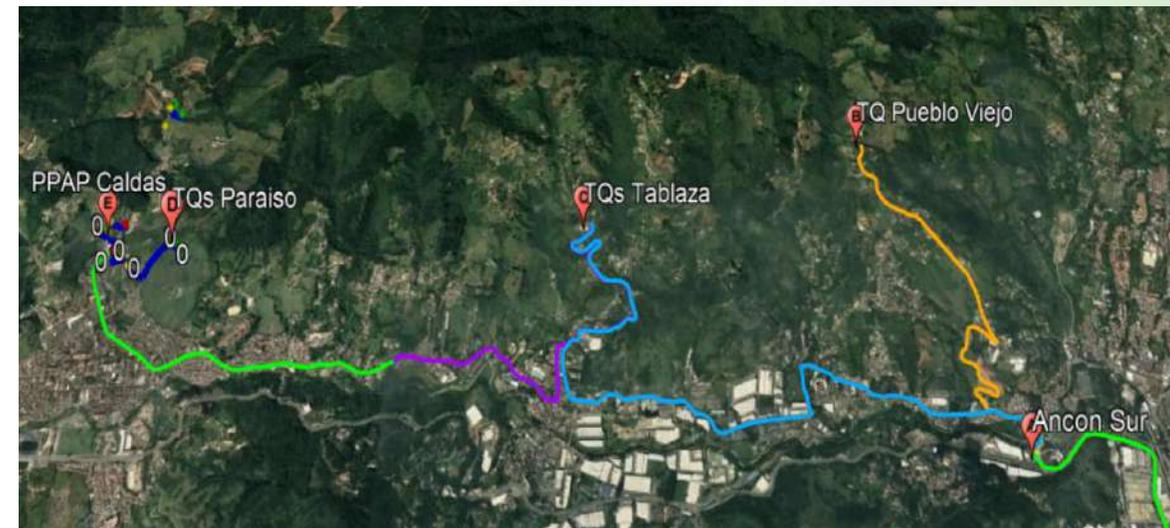


ESQUEMA TANQUES PARAÍSO

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Condiciones actuales:

- El proyecto, arranca desde la estación Envigado del metro atravesando todo el sur del Valle de Aburrá con una red de conducción primaria hasta llegar al centro de capacitación de Ancón Sur.
- Allí, se construyó una estación de bombeo tipo superficie con capacidad 480 l/s @ 316mca, transportando el agua desde el **tanque Ancón hasta los tanques Tablaza**.
- Estos tanques se encuentran en una cota superior a la PPAP de Caldas, por lo cual **por medio de la gravedad**, se transportará el agua hasta el municipio de Caldas, donde se intercepta la tubería de bombeo Caldas – Paraíso.

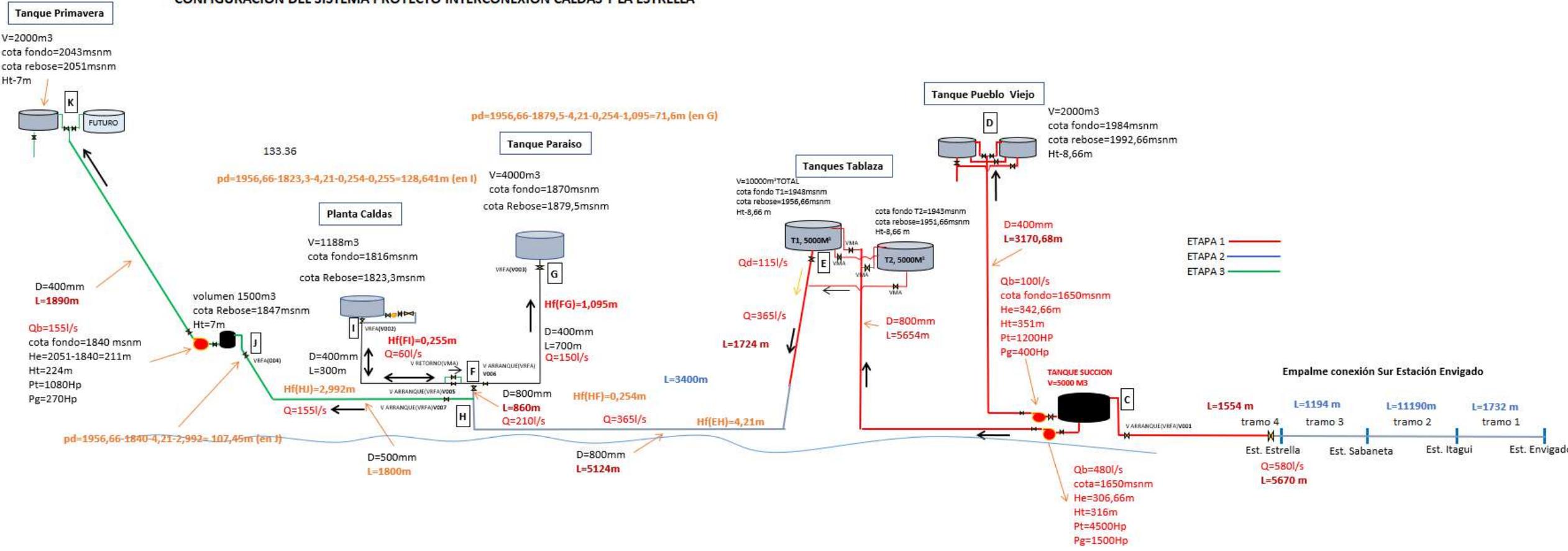


Fuente. Google Earth.

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

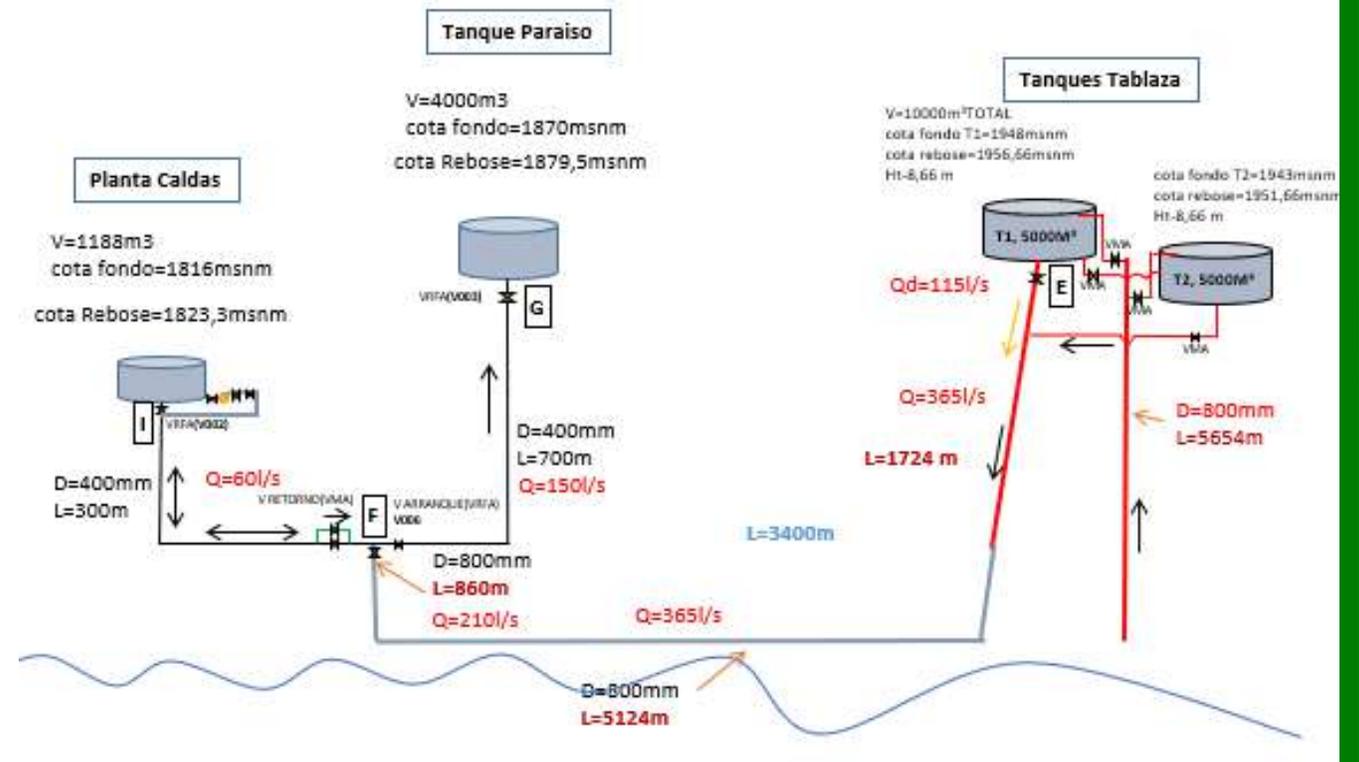
CONFIGURACION DEL SISTEMA PROYECTO INTERCONEXION CALDAS Y LA ESTRELLA



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Interconexión y bombeo:

- A través de la **conducción primaria**, gracias a la altura del tanque, su energía estática y la gravedad, se puede transportar el agua desde los tanques Tablaza – hasta el **punto F**, donde se intercepta la impulsión Caldas – Paraíso.
- La conducción tiene una capacidad de **365 l/s**, los cuales se distribuyen a 3 tranques, PPAP Caldas (**60 l/s**), TQ Paraíso (**150 l/s**) y Chuscala (**155 l/s en proyección futura**)
- El bombeo Caldas – Paraíso, nominalmente tiene un capacidad de **60 l/s**.



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10º Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Definición del problema:

- En el trabajo, se **evalúo la posibilidad** de utilizar un sistema de bombeo existente y operativo entre la PPAP Caldas y los tanques Paraíso de forma tal, que **pueda operar alternadamente como bombeo o como pico turbina** para generar energía eléctrica respetando las consignas operativas del sistema primario de acueducto y circuitos secundarios de los municipios de Caldas y La Estrella.



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Objetivo:

Proponer las adecuaciones necesarias que permitan implementar un sistema de generación de energía en el sistema de bombeo de agua potable de la estación Planta de Potabilización Caldas – Tanque Paraíso del municipio de Caldas – Antioquia.

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

• Transición energética • Economía circular
• Rentabilización de operaciones • Transformación digital

Actividades desarrolladas:

- Realizar una evaluación y diagnóstico del sistema actual.
 - Levantamiento de campo
 - Análisis de datos
 - Conclusión del estado.
- Estudiar la energía disponible y la posibilidad de tener un aprovechamiento energético directo.
 - Determinar ecuaciones de pérdidas en la red teniendo como variable Q .
 - Revisar condiciones de presión disponibles.
 - Determinar escenarios operativos probables teniendo en cuenta la operación y el proyecto.
- Estudiar, diseñar y determinar las acciones a realizar para utilizar las bombas existentes como turbinas.



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

10° Encuentro
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Realizar una evaluación y diagnóstico del sistema actual:

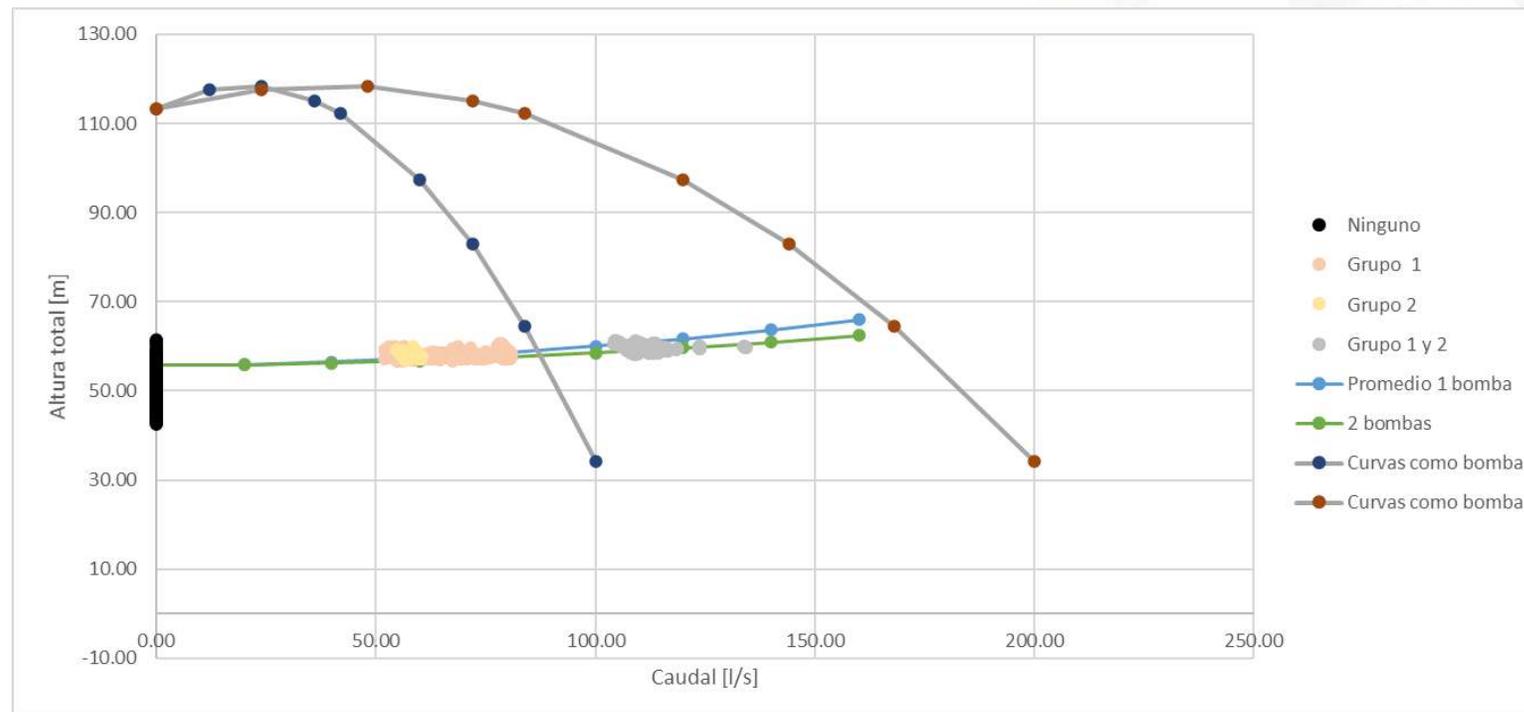
- Se realizaron visitas de campo.
- Se identificó el bombeo.
- Se buscó información actual de los equipos existentes y operativos como fichas, hojas de datos, curvas operativas, entre otros.
- Se realizaron levantamientos de datos operativos en el SCADA en los que se analizó la operación por un periodo de **4 meses, cada 5 minutos**, para una muestra de **32.966** datos.
- Se procesaron los datos de **forma estadística** para conocer el estado actual y real de los equipos.



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Conclusiones de la evaluación y diagnóstico del sistema actual:

- El sistema se observa estable y no se observa mayores deterioros o afectaciones; pueden seguir operando sin inconvenientes.
- Los equipos actuales, presentan deterioros y desgaste por su continuo trabajo y constate uso durante su larga vida útil.
- Se recomienda realizar un mantenimiento completo tipo overhaul o remplazo de las maquinas para que puedan continuar operando como bombas con el servicio que se requiere para la operación.

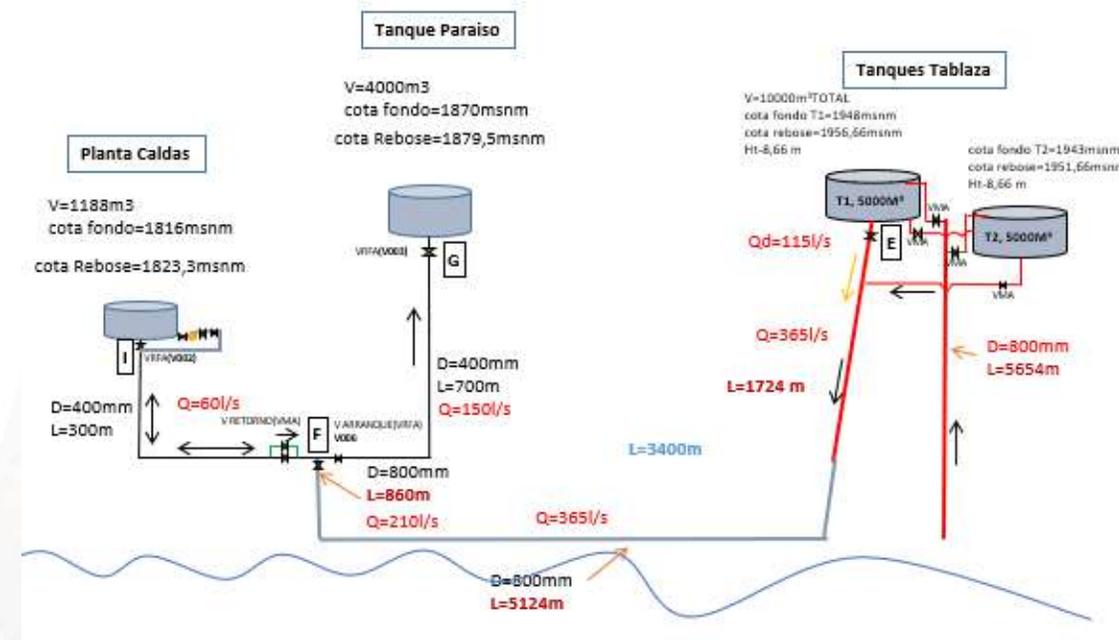


PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Estudiar la energía disponible y la posibilidad de tener un aprovechamiento energético directo:

- Se tiene en cuenta las condiciones físicas de los tanques de salida (Tablaza) y llegada (PPAP Caldas).
- Se tiene en cuenta los alineamientos, diámetros, materiales, accesorios y demás elementos de la tubería de conducción.
- Caudales reales de operación del sistema existente y los proyectos a impactar con el nuevo sistema operando.

LONGITUDES Y DIÁMETROS DE TUBERIA				
Tramo	Longitud	Unidades	Diámetro	Unidades
Tramo de tubería entre TQ Tablaza nodo H	5124	m	0.8	m
Tramo de tubería entre nodo H y nodo F	860	m	0.8	m
Tramo de tubería entre nodo F y la entrada a la PPAP CALDAS	300	m	0.4	m



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Información del estudio:

- Con esta información física, operativa y real del sistema y del proyecto, se procedió a **calcular las ecuaciones del sistema** dejando como variable el caudal Q.
- Arrojando como resultado una **ecuación de pérdidas de todos los tramos** impactados por el estudio de la siguiente forma:

$$h_f = 0,00007626 * Q_1^{1,851} - 0,00001280 * Q_2^{1,851} - 0,00013040 * Q_3^{1,851}$$

- Con lo cual se determino las presiones disponibles y sus **posibles rangos de trabajo** a la entrada de la PPAP Caldas.

COTAS DE LOS TANQUES		
Cota fondo tanque Tablaza 1	1948.00	msnm
Cota rebose tanque Tablaza 1	1956.66	msnm
Cota fondo tanque Tablaza 2	1943.00	msnm
Cota rebose tanque Tablaza 2	1951.66	msnm
Cota fondo tanque PPAP Caldas	1816.00	msnm
Cota rebose tanque PPAP Caldas	1823.30	msnm
Altura estática Tablaza - PPAP Caldas min	128.36	m
Altura estática Tablaza - PPAP Caldas máx.	133.36	m
CAUDALES PROYECTADOS		
Caudal PPAP Caldas	60	l/s
Caudal TQ Paraíso	150	l/s
Caudal TQ Chuscala	155	l/s

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Condición de trabajo	Caudal de entrada a la PPAP CALDAS [l/s]	Altura neta [mca]	Potencia hidráulica [kW]
Caudal total a la salida de Tablaza (Q=365l/s) nivel máximo.	60	128.63	75.63
Caudal total a la salida de Tablaza (Q=365l/s) nivel mínimo.	60	123.63	72.69
Caudal hacia PPAP Caldas y Paraíso a la salida de Tablaza (Q=210l/s) nivel máximo.	60	131.33	77.22
Caudal hacia PPAP Caldas y Paraíso a la salida de Tablaza (Q=210l/s) nivel mínimo.	60	126.33	74.28
Caudal hacia PPAP Caldas a la salida de Tablaza (Q=60l/s) nivel máximo.	60	132.93	78.16
Caudal hacia PPAP Caldas a la salida de Tablaza (Q=60l/s) nivel mínimo.	60	127.93	75.22

Conclusiones del estudio:

- Teniendo en cuenta las condiciones operativas del sistema, se estimaron las **potencias hidráulicas** presentes.
- Estas condiciones de trabajo son máximas y pueden variar según la simultaneidad operativa del sistema y las condiciones de la prestación del servicio.
- La energía se calcula con la siguiente fórmula:

$$Pot_{hidra} = \rho g Q H_{neta}$$

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Diseño y evaluación de las bombas como turbinas:

En vista de que **existen bombas en este sistema** y que por alcance del proyecto su operación tendrá variaciones (operación eventual como bomba), se busca optimizar los recursos y con las mismas bombas existentes, **se busca evaluar o diseñar su operación como PAT**; para esto se parte de las curvas e información de las bombas existentes para determinar los cálculos.

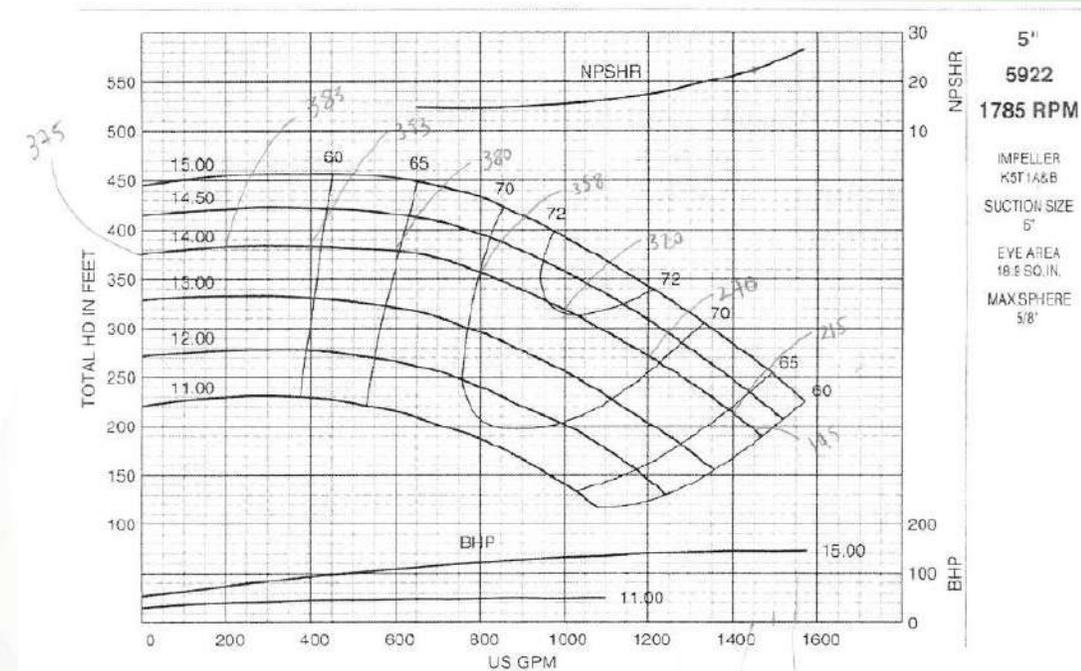
Con base en las siguientes ecuaciones, es posible **convertir el punto operativo de la bomba al punto operativo como turbina**.

Los factores **K** dependen y se calculan según diferente teorías probadas de investigadores.

$$Q_T = K_Q Q_B$$

$$H_T = K_H H_B$$

$$\eta_T = K_\eta \eta_B$$



PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Diseño y evaluación de las bombas como turbinas:

En la tabla, se tienen los datos operando como bomba (original), los factores de conversión según **Stephanoff** y datos operando como turbina (convertida).

Curvas como bomba			Factores de conversión			Curvas como turbina		
I/S	m	Eficiencia	KQ	KH	K η	I/S	m	Eficiencia
0.00	114.30	3.14%	15.94	63.63	1	0.00	7273.29	3.14%
12.00	116.74	29.30%	2.67	4.36	1	32.04	509.30	29.30%
24.00	116.74	49.70%	1.75	2.31	1	41.99	270.14	49.70%
36.00	115.82	64.34%	1.42	1.70	1	51.23	196.62	64.34%
48.00	109.12	73.22%	1.28	1.45	1	61.59	158.61	73.22%
60.00	97.54	76.34%	1.24	1.38	1	74.46	134.85	76.34%
72.00	82.30	73.70%	1.28	1.44	1	91.91	118.69	73.70%
84.00	64.01	65.30%	1.41	1.67	1	118.13	106.74	65.30%

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Diseño y evaluación de las bombas como turbinas:

- El punto operativo definido para este sistema operando PAT esta dado por las necesidades de operación **60 l/s**.
- Es necesario ajustar el punto operativo como **PAT** usando las ecuaciones de semejanza hidráulica, para este caso reduciendo el diámetro del impulsor.
- Así se encuentra el punto operativo como PAT a los **60 l/s**, con una altura aprovechable de **116 mca**; con una eficiencia del **76%**.
- De esta forma la potencia aprovechable será de **50 kW/h**

D1 [m]	0.375	D2 [m]	0.349						
Curvas como bomba			Factores de conversión			Curvas como turbina			
I/S	m	Eficiencia	KQ	KH	K η	I/S	m	Eficiencia	
0.00	98.97	3.14%	15.94	63.63	1	0.00	6297.94	3.14%	
9.67	101.08	29.30%	2.67	4.36	1	25.82	441.00	29.30%	
19.34	101.08	49.70%	1.75	2.31	1	33.83	233.91	49.70%	
29.01	100.29	64.34%	1.42	1.70	1	41.28	170.25	64.34%	
38.68	94.49	73.22%	1.28	1.45	1	49.63	137.34	73.22%	
48.35	84.46	76.34%	1.24	1.38	1	60.00	116.77	76.34%	
58.01	71.26	73.70%	1.28	1.44	1	74.06	102.77	73.70%	
67.68	55.42	65.30%	1.41	1.67	1	95.18	92.43	65.30%	

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Diseño y evaluación de las bombas como turbinas:

- Para generar energía con los mismos equipos existentes, se debe hacer una reducción de impulsor en diámetro.
- Se podrá generar aproximadamente **50 kW/h**.

GANANCIA ECONOMICA		
\$kW	\$ 604.66	COP
Pot _{elect}	49.57	kW/h
Horas/día	18	h
Pot día	892	kW/día
\$ día	\$ 539,546	COP/día
Pot mes	26,769	kW/mes
\$ mes	\$ 16,186,378	COP/mes
Pot año	321,233	kW/año
\$ año	\$ 194,236,539	COP/año

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN PLANTA DE POTABILIZACIÓN CALDAS – TANQUE PARAÍSO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Conclusiones:

- Con el proyecto interconexión Caldas – La Estrella, **se observa una posibilidad de aprovechamiento energético**, generando energía con las bombas existentes al ingreso de la PPAP de Caldas.
- Las bombas existentes del sistema Caldas – Paraíso, **presentan un desgaste y afectaciones en su operación** por lo que se debería reparar para garantizar operación como bomba en caso de requerirse, pero se sugiere que se tengan en cuenta este análisis.
- Con las condiciones operativas con la que quedara el sistema, es posible poner a operar las bombas como turbinas (**PAT**), con **60 l/s @116 mca**; y con esto generar aproximadamente **50 kW/h**.
- Si se mantienen las bombas actuales haciéndoles un overhaul, reduciendo el impulsor (**reducción de diámetro del 7%**) y garantizando la operación del motor.
- La inversión en adecuaciones estaría alrededor de los **COP 320.000.000**.
- Para garantizar que las bombas puedan operar también de forma alterna como bomba, se debe sobrefrecuenciar el motor a **75Hz**, lo que significa que gira a **2215 RPM**, **124%** más de su operación original, esto con el fin de satisfacer las condiciones actuales de operación. Condición posible.
- Con la generación de energía de este sistema, teniendo en cuenta el costo de kilovatio, el ahorro anual puede estar alrededor de los **\$194.000.000**; solo considerando **18 horas de operación**.

10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

¡Gracias!

Grupo·epm