

## Contenido

1. ANTECEDENTES.....	5
2. OPERACIÓN DEL TRAMO V39 AL TANQUE CASABLANCA EN CONDICIONES DE ESTADO ESTABLE.....	5
3. ANALISIS DE CONDICIONES TRANSIENTES .....	9
3.1 MARCO TEÓRICO DEL ESTUDIO .....	9
3.2 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 2 MINUTOS .....	10
3.3 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 5 MINUTOS .....	11
3.4 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 10 MINUTOS.....	12
3.5 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 20 MINUTOS.....	13
3.6 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 20 MINUTOS.....	13
4. CONCLUSIONES .....	15

EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ E.S.P  
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN  
DEL TRAMO 3 DE LA LINEA RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS  
CONTRATO DE CONSULTORÍA: No. 1-02-25400-00923 2015  
ESTUDIO DE GOLPE DE ARIETE DEL TRAMO VALVULA V 39 TANQUE CASABLANCA

## **LISTADO DE CUADROS**

Cuadro 1 – Datos de Niveles de las Estructuras Principales y de Diámetros y Longitudes de las Conducciones del Sistema Tanque Suba Tanque Casablanca

Cuadro 2 – Datos de Caudales Requeridos en las Derivaciones del Tramo de Conducción Válvula 39 Tanque Casablanca del Sistema Tibitoc Tanque Casablanca

## **LISTADO DE GRAFICAS**

Gráfica 1 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Línea Piezométrica de la Operación en estado estable con los caudales de las derivaciones mostradas en el Cuadro 2, y niveles máximos en los dos tanques.

Gráfica 2 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 2 Minutos.

Gráfica 3 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 5 Minutos.

Gráfica 4 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 10 Minutos.

Gráfica 5 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 20 Minutos.

Gráfica 6 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 40 en 20 Minutos.

EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ E.S.P  
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN  
DEL TRAMO 3 DE LA LINEA RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS  
CONTRATO DE CONSULTORÍA: No. 1-02-25400-00923 2015  
ESTUDIO DE GOLPE DE ARIETE DEL TRAMO VALVULA V 39 TANQUE CASABLANCA

## **LISTADO DE ANEXOS (Extractos de las simulaciones en Surge 2000)**

ANEXO 1 RESULTADOS G ARIETE

## **1. ANTECEDENTES**

En la actualidad la EAB está desarrollando el proyecto de Rehabilitación del Tramo 3 de la Línea de conducción Tibitoc Tanque Casablanca, ubicado entre la Válvula V 39 (Cruce de la Calle 80 con la Avenida Boyacá, y el Tanque Casablanca..

La rehabilitación consistirá en insertar una tubería de 1800 mm de diámetro en el interior de la tubería existente de 78 pulgadas de diámetro, siguiendo el mismo sistema constructivo empleado para la rehabilitación realizada en el tramo comprendido entre las válvulas V9 y V39 de la tubería de 78" Tibitoc – Casablanca.

El presente estudio tiene los siguientes objetivos

- Determinar el tiempo adecuado de cierre de las válvulas de la línea por rehabilitar, para que las sobrepresiones transientes en eventos de cierre de las válvulas no excedan el 30% del valor de máxima cabeza estática en ningún sitios de la línea; y para que no se generen presiones de vacío (cavitación) en ningún sitio de la conducción en los eventos de apertura de las válvulas.

Para satisfacer los requerimientos de operación del sistema Tibitoc Casablanca, además del reforzamiento de la tubería existente tip PCCP de 78 pulgadas de diámetro con la inserción del tubo de 1800 mm de diámetro se tienen programado el cambio de las válvulas de cierre existentes por válvulas del mismo tipo y diámetro de 60 pulgadas. Con bridas de 60 pulgadas de diámetro, Clase ANSI B16.5 Clase 150.

## **2. OPERACIÓN DEL TRAMO V39 AL TANQUE CASABLANCA EN CONDICIONES DE ESTADO ESTABLE**

Para comprobar estos resultados, se preparó una modelación del sistema de conducción, mediante el programa Surge 2000 de la Universidad de Kentucky. Para este modelo se usó la siguiente información, tomada del modelo hidráulico suministrado por la Empresa de Acueducto de Bogotá:

	NIVEL msnm SISTEMA IGAC	DIAM mm	LONG m
NIVEL DE REBOSE DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO SUBA	2,618,0		
TRAMO TANQUE SUBA VALVULA V 39		1.800	3.117
TRAMO VALVULA V 39 VALVULA V 40		1.800	5.705,49
TRAMO VALVULA V 40 VALVULA V 41		1.800	2.583,01
TRAMO VALVULA V 41 VALVULA V 42 N		1.800	3.957,87
TRAMO VALVULA V 42 N VALVULA V 43 N		1.800	2.439,88
TRAMO VALVULA V 43 N VALVULA V 44 N		1.800	1.000,00
TRAMO V 44 N TANQUE CASABLANCA		1.800	649,93
NIVEL DE REBOSE DEL TANQUE CASABLANCA	2605,80		
TRAMO TOTAL TANQUE SUBA TANQUE CASABLANCA		1.800	16.335,98

**Cuadro 1 – Datos de Niveles de las Estructuras Principales y de Diámetros y Longitudes de las Conducciones del Sistema Tanque Suba Tanque Casablanca.**

Fuente: Modelo WaterGems de Red Matriz de la EAB

La modelación se ejecutó usando la Fórmula Hazen Williams, con el Coeficiente C de 130 para las conducciones en acero.

Para el análisis de estado estable del sistema se consideraron las demandas en las siguientes derivaciones existentes entre la Válvula V 39 y el Tanque Casablanca.

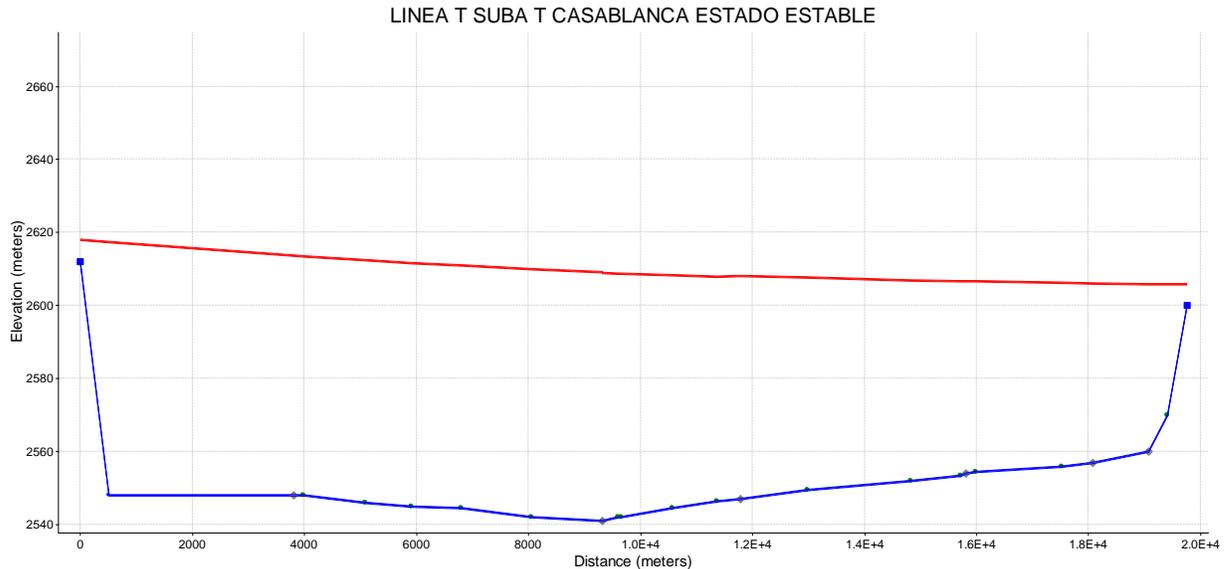
Abscisado Contelac	Accesorio	Ø	Tipo Caja	área, m <sup>2</sup>	velocidad, m/s	caudal, m <sup>3</sup> /s
K0+169,86	Derivación	24	3	0,29	0,75	0,22
K1+277,61	Derivación	16	3	0,13	0,75	0,10
K2+096,25	Derivación	24	1	0,29	0,75	0,22
K2+985,49	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K3+075,11	Derivación	6	4B	0,02	0,75	0,01
K4+229,72	Derivación	16	4B	0,13	0,75	0,10
K5+047,24	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K5+786,21	Derivación	30	4B	0,46	0,75	0,34
K5+838,98	Derivación	30	4B	0,46	0,75	0,34
K6+745,73	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K7+499,84	Derivación	12	3	0,07	0,75	0,05
	Derivación	16		0,13	0,75	0,10
K8+288,50	Derivación	16	1	0,13	0,75	0,10
K8+607,11	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K9+251,25	Derivación	16	1	0,13	0,75	0,10
K10+626,98	Derivación	16	4B	0,13	0,75	0,10
K11+130,85	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K12+005,10	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K12+274,04	Derivación	24	4B	0,29	0,75	0,22
K12+292,05	Derivación	24	4B	0,29	0,75	0,22
K12+834,14	Derivación	12		0,07	0,75	0,05
K13+795,70	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K14+534,80	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K14+609,62	Derivación	16	4B	0,13	0,75	0,10
K15+289,76	Derivación	12	4B	0,07	0,75	0,05
K16+237,62	Derivación	36	3	0,66	0,75	0,49

**Cuadro 2 – Datos de Caudales Requeridos en las Derivaciones del Tramo de Conducción Válvula 39 Tanque Casablanca del Sistema Tibitoc Tanque Casablanca**

Fuente: Informe Técnico Análisis Hidráulicos Sobre Obras de Ampliación del Sistema Matriz de acueducto

**Nota: El K0+000 enunciado corresponde al K35+793,75 sitio de localización de la válvula en line V39 inicio del tramo 3 de la Línea Tibitoc - Casablanca**

En el Anexo 1, Numeral 1 se presentan los resultados arrojados por el Programa Surge, de donde se obtiene la siguiente gráfica, que muestra la línea piezométrica entre el Tanque Suba y el Tanque Casablanca,



**Gráfica 1 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Línea Piezométrica de la Operación en estado estable con los caudales de las derivaciones mostradas en el Cuadro 2, y niveles máximos en los dos tanques.**

En estas gráficas, la línea intensa de color azul representa el perfil de la conducción y la línea roja representa la línea de energía o piezométrica del fluido en la conducción.

Para esta simulación se asumió que la velocidad media de entrada de agua a las derivaciones del tramo estudiado es de 0,75 m/s, y que los tanques se encuentran en sus máximos niveles. Teniendo en cuenta que el tramo en análisis lo compone la conducción entre la válvula V 39 y el Tanque Casablanca, se ha supuesto, para efecto de simplificar el análisis, que las derivaciones entre el tanque Suba y la Válvula V 39 se encuentran cerradas, con cero demanda de caudal.

Se aprecia que bajo condiciones de estado estable la máxima presión se presenta en la Válvula V 40 con 68,06 mca.

En el Anexo se puede concluir que el caudal máximo de salida del Tanque Suba sería de 4.14 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 0,92 m<sup>3</sup>/s llegarían al Tanque Casablanca. El caudal restante 3.22 m<sup>3</sup>/s sería distribuido en las derivaciones del Cuadro 2.

### **3. ANALISIS DE CONDICIONES TRANSIENTES**

#### **3.1 MARCO TEÓRICO DEL ESTUDIO**

Todo sistema hidráulico es susceptible de sufrir cambios de un estado estable a otro por razones operativas o de emergencia. Las razones operativas las constituyen necesidades del sistema de aumentar a voluntad del operador el caudal requerido mediante la apertura de válvulas en sistemas de gravedad con tanques de almacenamiento o mediante el arranque de bombas en sistemas de bombeo; o de disminuir a voluntad el caudal mediante el cierre de válvulas o apagado de bombas respectivamente. Razones de emergencia las pueden constituir roturas de tuberías, por las cuales se aumente descontroladamente el caudal del sistema, o el apagado instantáneo del equipo de bombeo por daños en las redes eléctricas, por el cual se disminuye a un valor cero el caudal del sistema

El cambio de estado de un sistema por cualquiera de las razones mencionadas, o similares, no se produce en forma lineal suavemente, siempre está acompañado de variaciones bruscas de presión y de caudal a lo largo de todos los componentes del sistema, que se atenúan gradualmente en el tiempo hasta que el sistema se estabiliza en las nuevas condiciones. Estas variaciones se conocen como transientes hidráulicos. La intensidad de los transientes y sus tiempos de duración dependen de la rapidez con que se producen las operaciones de válvulas o de bombas y de las características de los elementos del sistema, tales como materiales de las conducciones, tamaños, rugosidades, tipos de fluidos, y la presencia de elementos de protección contra grandes aumentos de presión o contra caídas indeseables de la misma.

Los transientes hidráulicos están relacionados con ondas de presión viajeras entre puntos donde se realizan los cambios de operación y los extremos de la conducción. Los cambios se pueden producir en sitios como la salida de tanques de almacenamiento a las conducciones, en sitios de válvulas, en las descargas de bombas, en ventosas de aires, etc.

Las ondas de presión se originan instantánea y simultáneamente con los movimientos de la fuente de cambio del sistema (válvulas, bombas, tubo roto, etc). Estas ondas se desplazan a lo largo de la conducción hasta los extremos de la conducción, con una velocidad equivalente a la velocidad del sonido en la conducción. Al encontrar un cambio de medio, las ondas se reflejan y se regresan con la misma velocidad, pero con un valor de presión contrario al valor inicial, hasta los sitios de origen, en donde son nuevamente reflejadas, en ciclos permanentes hasta que son atenuadas por pérdidas de energía por fricción en la conducción.

Las disminuciones de caudal generan ondas de presión positiva y los aumentos de caudal generan ondas de presión negativa con relación a la presión inicial. Al reflejarse cambian de valor, de tal manera que las ondas que viajan en un sentido al superponerse con ondas que viajan en el sentido contrario se pueden reforzar por tener ambas el mismo sentido de presión o contrarrestarse si tienen signos contrario de presión.

A lo largo de las conducciones del sistema se tendrán entonces condiciones variables en el tiempo y en el espacio de presión y de velocidad del fluido. Este fenómeno de generación y

desplazamiento de ondas de presión, sus movimientos y sus valores es conocido como Golpe de Ariete.

Los cambios de presión por tener relación con los cambios de la energía cinética de los fluidos, serán más grandes entre más grandes sean las velocidades de los fluidos en las conducciones y menores sean los tiempos en los cuales se realicen los cambios (operaciones de válvulas o paradas o arranques de equipos de bombeo).

La dinámica de los movimientos y valores de las ondas de presión en el tiempo y en el espacio del sistema se pueden analizar mediante el conjunto de ecuaciones diferenciales de los cambios de presión y de velocidad en el interior del sistema, respecto al espacio y al tiempo, derivadas de la ecuación de Bernoulli. La solución de estas ecuaciones es compleja. Para esta solución ha sido necesario recurrir a diseñar modelos numéricos y métodos gráficos tediosos y muy complicados.

Gracias al desarrollo de los computadores y de los programas de simulación, en la actualidad se dispone de varios modelos de computador para el efecto. Por medio de ellos es posible conocer las variaciones de presión y de la velocidad del fluido en cualquier punto de cualquier sistema en un tiempo relativamente corto, y con un buen margen de aproximación. En el mercado existen modelos de diferentes capacidades (medidas en número de tramos de tubería del sistema) y precios.

Para efectos de este estudio se usa el modelo mencionado anteriormente, de capacidad mediana, llamado SURGE 2000, Ky Pipe, creado por el Doctor Don J. Wood de la Universidad de Kentucky, USA, que permite el estudio de redes hasta de 250 tramos de tubería, en un microcomputador simple de características comerciales.

El objetivo primordial del presente análisis es determinar el tiempo adecuado de cierre de las válvulas de línea (en casos de emergencia o de mantenimiento) para asegurar que la máxima sobrepresión que se presente en el sistema por un cierre de las mismas no exceda del 30% del valor de la presión máxima estática, y que por efecto de apertura de la misma no se produzca un vacío de presión en ningún sitio de la conducción.

Se estudió el caso de carga desde el Tanque Suba. Se simularon diferentes tiempos de operación de la Válvula V 44, la cual servirá de guía para analizar el tiempo de operación de las demás válvulas de línea del tramo.

Para efecto de la presentación de este informe se muestran los resultados obtenidos en el Anexo 1.

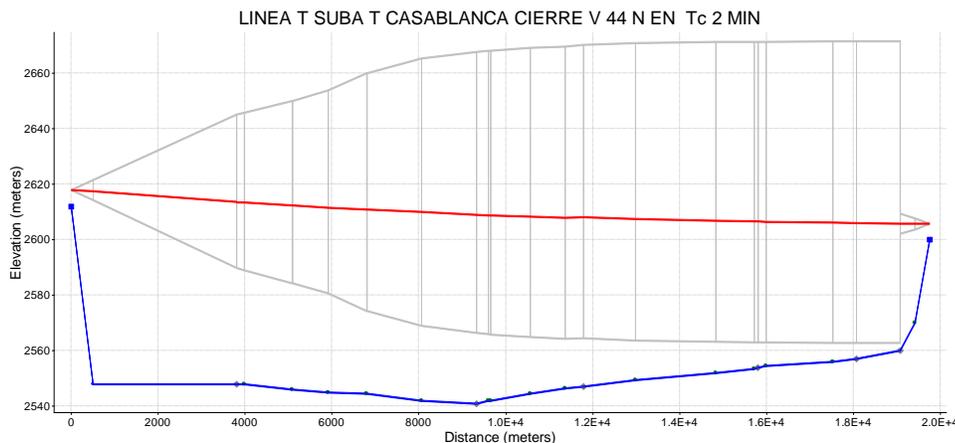
### **3.2 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 2 MINUTOS**

De acuerdo con los resultados bajo estado estable, se concluyó que la máxima presión se presenta en la Válvula V 40, con un valor de 58.06 mca, y un caudal de salida del Tanque Suba de 4.14 m<sup>3</sup>/s. Bajo esta condición, el cierre de la Válvula V 44 generará un transiente de sobrepresión, sobre la curva piezométrica de estado estable. El valor de la sobrepresión será mayor entre más rápido se realice el cierre de la válvula.

El objeto de esta parte del informe es determinar cuál será el tiempo mínimo de operación de las válvulas, con el cual la máxima sobrepresión por cierre no exceda el valor permitido por la Empresa de 30% sobre el valor de la máxima presión estática en la conducción en estudio.

En el Anexo 1 se presentan los resultados de la simulación con cierre de la Válvula V 44 en dos minutos.

En la Gráfica 2, extractada del Numeral 2 del Anexo 1, se observa que la máxima sobrepresión se presenta en la Válvula V 40, con un valor de 126,83 mca, equivalente al 186 % del valor de estado estable. Este valor sobrepasa el máximo de 130% permitido por la Empresa. Por lo tanto, será necesario analizar un tiempo de operación mayor. En la misma gráfica se observa que el descenso de presión por efecto de subpresión es también bastante alto, pero no representa peligro en la conducción, porque en ningún caso se produce vacío en la conducción.

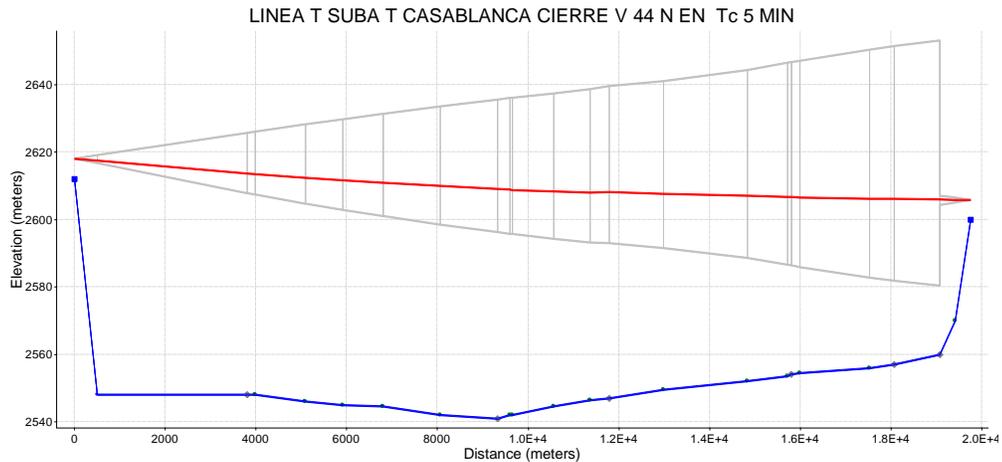


**Gráfica 2 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 2 Minutos.**

### 3.3 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 5 MINUTOS

En el Anexo 1 se presentan los resultados de la simulación con cierre de la Válvula V 44 en cinco minutos.

En la Gráfica 3, extractada del Numeral 3 del Anexo 1, se observa que la máxima sobrepresión se presenta en la Válvula V 40, con un valor de 94,58 mca, equivalente al 139 % del valor de estado estable. Este valor sobrepasa el máximo de 130% permitido por la Empresa. Por lo tanto, será necesario analizar un tiempo de operación mayor. En la misma gráfica se observa que el descenso de presión por efecto de subpresión es alto, pero no representa peligro en la conducción, porque en ningún caso se produce vacío en la conducción.

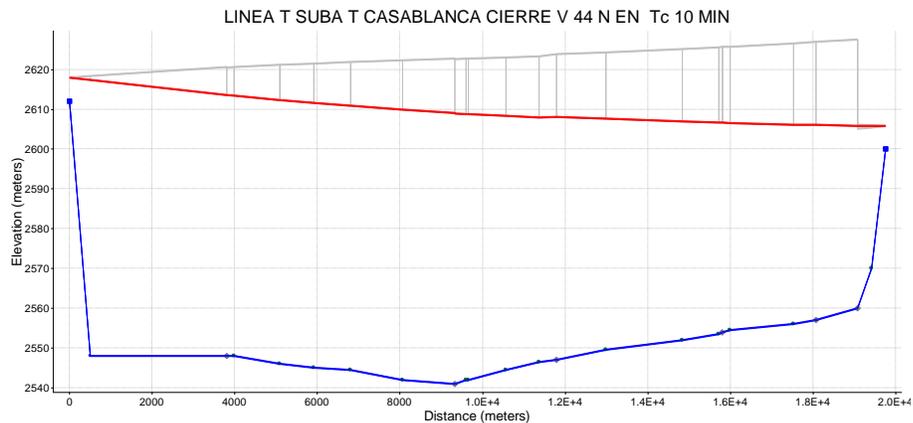


**Gráfica 3 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 5 Minutos.**

### 3.4 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 10 MINUTOS

En el Anexo 1 se presentan los resultados de la simulación con cierre de la Válvula V 44 en diez minutos.

En la Gráfica 4, extractada del Numeral 4 del Anexo 1, se observa que la máxima sobrepresión se presenta en la Válvula V 40, con un valor de 81,68 mca, equivalente al 120 % del valor de estado estable. Este valor es menor que el máximo de 130% permitido por la Empresa. Pero, teniendo en cuenta que la Empresa ha estado operando las válvulas principales de conducciones matrices de gran diámetro en 20 minutos, se realizó un análisis adicional con este tiempo de operación. Se observa que el riesgo de vacío en la conducción desaparece totalmente.

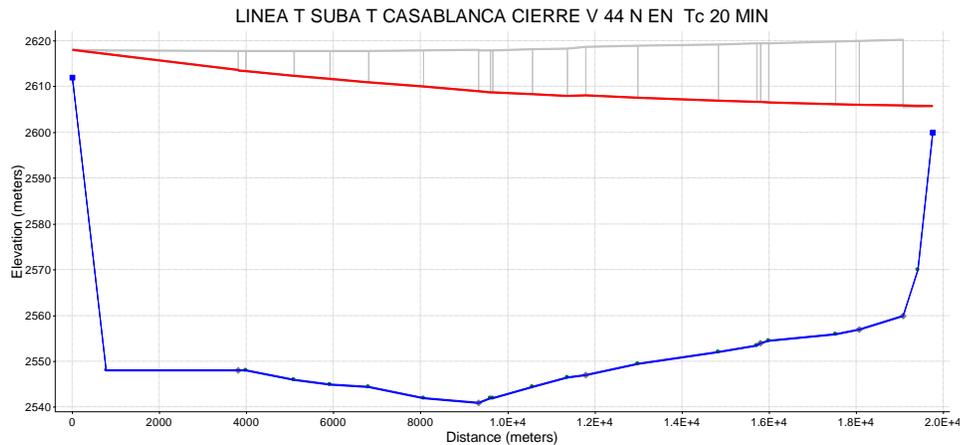


### **Gráfica 4 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 10 Minutos.**

#### **3.5 CIERRE DE LA VALVULA V 44 EN 20 MINUTOS**

En el Anexo 1 se presentan los resultados de la simulación con cierre de la Válvula V 44 en veinte minutos.

En la Gráfica 5, extractada del Numeral 5 del Anexo 1, se observa que la máxima sobrepresión se presenta en la Válvula V 40, con un valor de 76,97 mca, equivalente al 113 % del valor de estado estable. Este valor cumple satisfactoriamente con el límite impuesto por la Empresa.

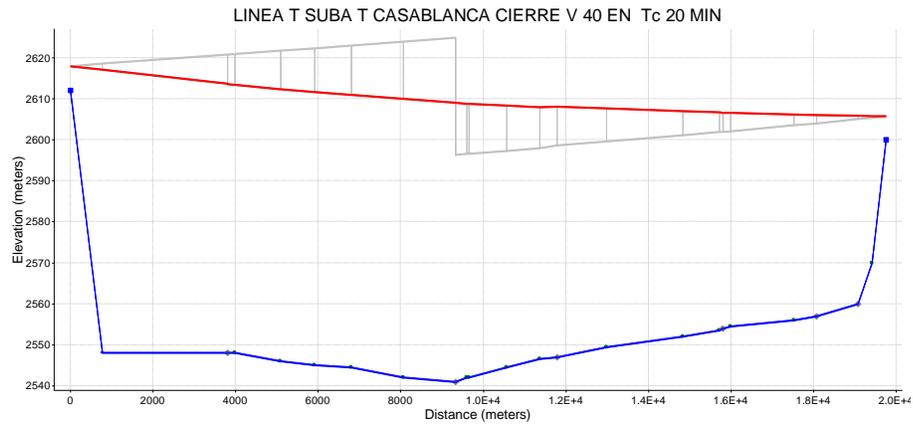


### **Gráfica 5 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 44 en 20 Minutos.**

#### **3.6 CIERRE DE LA VALVULA V 40 EN 20 MINUTOS**

En el Anexo 1 se presentan los resultados de la simulación con cierre de la Válvula V 40 en veinte minutos, con el fin de verificar que el resultado obtenido para la Válvula V44 sea aplicable con las demás válvulas.

En la Gráfica 6, extractada del Numeral 5 del Anexo 1, se observa que la máxima sobrepresión se presenta en la Válvula V 39, con un valor de 72,79 mca, equivalente al 111 % del valor de estado estable. Este valor también cumple satisfactoriamente con el límite impuesto por la Empresa.



**Gráfica 6 – Perfil de la Conducción Tanque Suba Tanque Casablanca y Líneas de Máxima y de Mínima Presiones Producidas por Cierre de la Válvula V 40 en 20 Minutos.**

#### **4. CONCLUSIONES**

- Para asegurar que bajo ninguna circunstancia se presenten sobrepresiones por golpe de ariete mayores al 30% de la presión estática máxima en la conducción en estudio, las válvulas principales de la línea deberán ser programadas para un tiempo de cierre total de 20 minutos.
- Para asegurar que bajo ninguna circunstancia se presente vacío de presión en ningún sitio de la conducción, las válvulas controladoras deberán ser programadas para un tiempo de apertura total de 20 minutos.
- Teniendo en cuenta que la presión de diseño de la nueva tubería es de 150 psi, con la presión máxima de 113 % que se presentaría al cerrar la válvula V 44 en 20 minutos, se tendría un factor de seguridad de 2,60, mayor que el valor mínimo de 2,0 que se tienen con condiciones de diseño.

EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ E.S.P  
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN  
DEL TRAMO 3 DE LA LINEA RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS  
CONTRATO DE CONSULTORÍA: No. 1-02-25400-00923 2015  
ESTUDIO DE GOLPE DE ARIETE DEL TRAMO VALVULA V 39 TANQUE CASABLANCA

## **ANEXO 1 RESULTADOS G ARIETE**