

“DISEÑO DEFINITIVO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y REDES CALDERÓN”

INFORME FINAL DEFINITIVO

SEPTIEMBRE 2021



VOLUMEN 07C: DISEÑO DE COMPONENTES MECÁNICOS

REV.	FECHA	ELABORACIÓN		REVISIÓN	
		NOMBRE	FIRMA	NOMBRE	FIRMA
C	SEPTIEMBRE 2021	Ph.D. Alvaro Aguinaga		MSc. Ximena Hidalgo	
❖ C: RESPUESTA A OFICIO N°. EPMAPS-GTI-2021-262					

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1.	ANTECEDENTES.....	6
1.2.	ALCANCE DE LOS DISEÑOS DE FACTIBILIDAD MECÁNICOS.....	6
1.3.	ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	7
2.	NORMAS Y MATERIALES.....	9
2.1.	NORMAS APLICABLES.....	9
2.1.	MATERIAL SELECCIONADO.....	9
3.	CÁLCULOS MECÁNICOS DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN.....	10
3.1.	DATOS PARA LOS CÁLCULOS MECÁNICOS.....	10
3.2.	ECUACIONES UTILIZADAS PARA LOS CÁLCULOS.....	11
3.2.1.	Velocidad de flujo (v).....	11
3.2.2.	Espesor de la pared de la tubería (t).....	11
3.2.3.	Esfuerzo admisible de diseño (s).....	11
3.2.4.	Espesor mínimo de la pared de la tubería (tmin).....	12
3.2.5.	Celeridad del transiente por golpe de ariete (a).....	12
3.2.6.	Magnitud del transiente por golpe de ariete (pga).....	12
3.3.	CÁLCULOS MECÁNICOS DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN.....	13
3.3.1.	Espesores de la tubería DN 800 con acero ASTM A 36/A 36M.....	13
3.3.2.	Espesores de la tubería DN 700 con acero ASTM A 36/A 36M .. ¡Error! Marcador no definido.	13
3.3.3.	Espesores de la tubería DN 600 con acero ASTM A 36/A 36M.....	14
3.3.4.	Espesores de la tubería DN 500 con acero ASTM A 36/A 36M.....	14
3.3.5.	Espesores de la tubería DN 300 con acero ASTM A 36/A 36M.....	15
3.3.6.	Espesores de la tubería DN 200 con acero ASTM A 36/A 36M.....	16
3.3.7.	Espesores de la tubería DN 150 con acero ASTM A 36/A 36M.....	16
3.4.	ESPEORES NORMALIZADOS DE LAS TUBERÍAS.....	17
4.	PROCESO DE SOLDADURA DE LAS TUBERÍAS.....	18
5.	REVESTIMIENTO INTERNO Y EXTERNO DE LAS TUBERÍAS.....	20
6.	DISEÑOS DE ACCESORIOS DE REDES DE TRANSMISIÓN.....	20
6.1.	NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES.....	20
6.2.	MATERIAL Y RECUBRIMIENTO DE LOS ACCESORIOS.....	21
6.3.	DISEÑO DE CODOS.....	21
6.3.1.	Segmentos de los codos.....	21
6.3.2.	Segmentos de los codos.....	22
6.4.	DISEÑO DE T NORMALES O DE REDUCCIÓN.....	30
6.5.	DISEÑO DE BRIDAS NORMALES Y CIEGAS.....	31
7.	PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE CALDERÓN.....	33
7.1.	NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES.....	33
7.2.	FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA.....	33
7.3.	CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA.....	34
7.4.	SELECCIÓN DEL TIPO DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	35
7.5.	SELECCIÓN DEL TIPO DE ÁNODO PARA PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....	35
7.6.	DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....	40
7.6.1.	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.....	40
7.6.2.	DISEÑO DE COMPONENTES DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	44
7.7.	ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS CONVENCIONALES DE CAMA ANÓDICA.....	51
7.7.1.	DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS CONVENCIONALES DE CAMA ANÓDICA.....	51
7.7.2.	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO COMPARATIVO.....	58
8.	DISEÑO DE VÁLVULAS HIDRÁULICAS.....	61
8.1.	NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES.....	61

8.2.	SELECCIÓN DE VÁLVULAS	61
8.2.1.	VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUJO	61
8.2.2.	VÁLVULAS PARA DESAGÜE.....	63
8.2.3.	VÁLVULAS de guardia Y SECCIONAMIENTO.....	64
8.2.4.	VÁLVULAS de aire	65
8.3.	ECUACIONES UTILIZADAS EN LOS CÁLCULOS DE VÁLVULAS DE PASO ANGULAR.....	66
8.3.1.	COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL FLUJO	66
8.3.2.	CAUDAL	67
8.3.3.	COEFICIENTE DE FLUJO	67
8.3.4.	ÍNDICE DE CAVITACIÓN	67
8.3.5.	RUIDO POR CAVITACIÓN EN LAS VÁLVULAS.....	68
8.4.	CÁLCULO DE VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUJO.....	68
8.5.	CÁLCULO DE VÁLVULAS PARA DESAGÜE	71
8.6.	DISEÑO DE VÁLVULAS DE GUARDIA Y SECCIONAMIENTO	73
8.7.	CÁLCULO DE VÁLVULAS DE AIRE.....	78
8.7.1.	NORMAS TÉCNICAS PARA CÁLCULO DE VÁLVULAS DE AIRE	82
8.7.2.	REQUERIMIENTOS DE EXPULSIÓN DE AIRE Y ALIVIO DE VACIO	82
8.7.3.	CAPACIDAD DE EXPULSIÓN DE AIRE	83
8.7.4.	CAPACIDAD DE alivio del vacio	85
8.7.5.	CAPACIDAD DE EXPULSIÓN DE AIRE ATRAPADO EN LA TUBERÍA	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Propiedades mecánicas del acero ASTM A 36/ A 36M.....	10
Tabla 2:	Propiedades químicas del acero ASTM A 36/ A 36M.....	10
Tabla 3:	Datos de diseño	13
Tabla 4:	Cálculo de espesor de la tubería.....	13
Tabla 5:	Datos de diseño	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 6:	Cálculo de espesor de la tubería.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7:	Datos de diseño	14
Tabla 8:	Cálculo de espesor de la tubería.....	14
Tabla 9:	Datos de diseño	14
Tabla 10:	Cálculo de espesor de la tubería.....	15
Tabla 11:	Datos de diseño	15
Tabla 12:	Cálculo de espesor de la tubería.....	15
Tabla 13:	Datos de diseño	16
Tabla 14:	Cálculo de espesor de la tubería.....	16
Tabla 15:	Datos de diseño	16
Tabla 16:	Cálculo de espesor de la tubería.....	17
Tabla 17:	Datos de diseño	17
Tabla 18:	Tabla de dimensiones normalizadas en pulgadas	23
Tabla 19:	Dimensiones de los codos con DN 800	24
Tabla 20:	Dimensiones de los codos con DN 700	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21:	Dimensiones de los codos con DN 600	25
Tabla 22:	Dimensiones de los codos con DN 500	26
Tabla 23:	Dimensiones de los codos con DN 300	27
Tabla 24:	Dimensiones de los codos con DN 200	28
Tabla 25:	Dimensiones de los codos con DN 150	29
Tabla 26:	Espesores normalizados de las T	30
Tabla 27:	Dimensiones de las bridas	31

Tabla 28: Dimensiones de las bridas ciegas.....	32
Tabla 29: Comparación de ánodos para protección catódica por corriente impresa	39
Tabla 30: Cálculo de la densidad de corriente por el método Peabody	41
Tabla 31: Factores de deterioro del recubrimiento	43
Tabla 32: Densidad de corriente de diseño	43
Tabla 33: División en tramos de protección catódica con APC	45
Tabla 34: Cálculo de la densidad de corriente j [mA/m ²] y potencial del APC Va.....	46
Tabla 35: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 1 (Ecuación 19)	46
Tabla 36: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 1 (Ecuación 21)	47
Tabla 37: Caída de tensión en conductores # 6 AWG Tramo 1	47
Tabla 38: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 2 (Ecuación 19)	47
Tabla 39: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 2 (Ecuación 21)	48
Tabla 40: Caída de tensión en conductores # 6 AWG Tramo 2	48
Tabla 44: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 3 (Ecuación 19)	48
Tabla 45: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 3 (Ecuación 21)	49
Tabla 46: Caída de tensión en conductores # 6 AWG Tramo 3	49
Tabla 47: Selección y ubicación de rectificadores de protección catódica	50
Tabla 48: Propiedades de ánodos convencionales	52
Tabla 49: Composición química de ánodos de ferrosilicio	53
Tabla 50: Propiedades electroquímicas de los ánodos de ferrosilicio	53
Tabla 51: Composición y propiedades de los ánodos de ferrosilicio comerciales.....	54
Tabla 52: Dimensiones de los ánodos de ferrosilicio comerciales.....	55
Tabla 50: Determinación de la masa anódica y número de ánodos por tramo	56
Tabla 51: Características técnicas y cantidades para los ánodos de ferrosilicio	56
Tabla 52: Características técnicas y cantidades para cable anódico	57
Tabla 53: Características técnicas y cantidades para cables catódicos	57
Tabla 54: Costos aproximados estimados de la protección catódica por corriente impresa con ánodo polimérico continuo.....	58
Tabla 55: Costos aproximados estimados de la protección catódica por corriente impresa con ánodos convencionales en cama anódica	59
Tabla 56: Cuadro comparativo técnico y económico entre el uso de ánodo polimérico continuo APC respecto al uso de ánodos convencionales en cama anódica	60
Tabla 57: Comparación entre válvulas para control de flujo	62
Tabla 58: Comparación entre válvulas para desagüe	63
Tabla 59: Comparación entre válvulas de guardia o seccionamiento	64
Tabla 60: Ruido por cavitación en las válvulas.....	68
Tabla 61: Datos para las válvulas de control de flujo de paso anular.....	70
Tabla 62: Características de las válvulas de control de flujo de paso anular	71
Tabla 63: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 1)	72
Tabla 64: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 2)	72
Tabla 65: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 3)	72
Tabla 66: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 4)	72
Tabla 67: Características técnicas para las válvulas de control desagüe.....	73
Tabla 68: Datos para las válvulas de mariposa.....	76
Tabla 69: Características técnicas para las válvulas mariposa	77
Tabla 70: Datos para las válvulas de aire (tramo 1)	79
Tabla 71: Datos para las válvulas de aire (tramo 2)	79

Tabla 72: Datos para las válvulas de aire (tramo 3)	79
Tabla 73: Datos para las válvulas de aire (tramo 4)	81
Tabla 74: Caudal de expulsión de aire y alivio de vacío para DN100	82
Tabla 75: Caudal de expulsión de aire y alivio de vacío para DN50.....	83
Tabla 76: Capacidad de expulsión de aire para DN100	84
Tabla 77: Capacidad de expulsión de aire para DN50.....	84
Tabla 78: Capacidad de alivio de vacío para DN100.....	85
Tabla 79: Capacidad de alivio de vacío para DN50.....	86
Tabla 80: Capacidad de alivio de vacío para DN100	86
Tabla 81: Capacidad de expulsión del aire atrapado en la tubería	87
Tabla 82: Características técnicas de las válvulas de aire	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de la Alternativa 1 - Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.....	8
Figura 2: Procesos de soldadura para tubería recomendados.....	19
Figura 3: Codo de dos segmentos de 0° a 22.5°	21
Figura 4: Codo de tres segmentos de 22.5° a 45°	21
Figura 5: Codo de cuatro segmentos de 45° a 67.5°	22
Figura 6: Codo de cinco segmentos de 67.5° a 90°	22
Figura 7: Esquema de T normal o de reducción	30
Figura 8: Esquema general de bridas.....	31
Figura 9: Esquema de bridas ciegas	32
Figura 10: Elementos del ánodo polimérico continuo	37
Figura 11: Variación del potencial de los ánodos con corriente impresa	38
Figura 12: Variación del potencial del ánodo polimérico continuo con la distancia.....	38
Figura 13: Ubicación del ánodo polimérico continuo respecto a la tubería	45
Figura 14: Componentes del rectificador de protección catódica	50
Figura 15: Diagrama unifilar del RPC	51
Figura 16: Esquema 1 de los ánodos de Ferrosilicio	53
Figura 17: Esquema 2 de los ánodos de Ferrosilicio	54
Figura 18: Cama anódica con ánodos de Ferrosilicio Fe-Si-Cr.....	55
Figura 19: Esquema de válvula de aire	66
Figura 20: Esquema de válvula de paso anular	68
Figura 21: Despiece de válvula de paso anular	69
Figura 22: Válvula de paso anular de émbolo de borde cortado.....	69
Figura 23: Válvula de paso anular de émbolo de múltiple orificio	71

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se desarrolla el compendio general de la Fase III del estudio del proyecto: “Líneas de Transmisión, Tanques de Almacenamiento y Redes de Calderón” relacionado con los diseños de mecánicos.

1.1. ANTECEDENTES

El crecimiento poblacional y el incremento de las actividades productivas y servicios que se desarrollan dentro del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se asocian al aumento de la demanda de agua.

El Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito (2011), plantea las acciones que garantizará el abastecimiento de agua potable, e incluye los proyectos de inversión a corto, mediano y largo plazo.

El plan determinó que la fuente principal de agua para el abastecimiento de agua de la ciudad son las captaciones en los ríos orientales de la Cordillera Central, que será transportada al costado occidental de la misma cordillera hasta el sector de Palaguillo.

Dentro de su planificación estratégica, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) ha previsto desarrollar el proyecto Integral Calderón, con el objetivo de garantizar a corto, mediano y largo plazo el abastecimiento de agua potable a esta parroquia.

Para el aprovechamiento en Calderón se necesitará la construcción de varias obras, entre ellas en el presente proyecto las líneas de transmisión, tanques y redes de distribución de Calderón.

1.2. ALCANCE DE LOS DISEÑOS MECÁNICOS

De conformidad con los diseños definitivos se consideran los siguientes criterios:

- Una vez que se ha aprobado el trazado de las líneas de transmisión y las implantaciones de los nuevos tanques, la Consultora profundizará el análisis de las variables críticas y se afinarán los datos empleados. De esta manera la Consultora optimizará las dimensiones y características de las obras y procurará que el trazado de las transmisiones sea técnico y económicamente posible.
- Deberá indicarse las obras de mejoramiento que deba implementarse para el adecentamiento de tanques existentes.
- Se estudiará detalladamente los impactos ambientales, la vulnerabilidad y riesgos del proyecto; definirá los equipos e instalaciones electromecánicas, eléctricas de instrumentación y de control que se requieran; valorará las afectaciones que provocará el proyecto a propiedades, servicios e infraestructuras; coordinará con otros organismos y entidades la solución a los problemas relacionados con la construcción y operación del proyecto, seleccionará la tecnología más conveniente y elaborará el estudio de seguridad y salud ocupacional para la etapa de construcción, etc.

Para alcanzar los objetivos el proyecto identificó como necesario el siguiente alcance de los estudios definitivos mecánicos:

- Diagnósticos, cálculos y diseños definitivos en el área de ingeniería mecánica para las líneas de transmisión de Calderón;
- Diagnósticos, cálculos y diseños definitivos en el área ingeniería mecánica para los tanques de almacenamiento de Calderón;
- Cálculos y diseños definitivos en el área ingeniería mecánica para las redes de Calderón;
- Diseño definitivo del sistema de protección catódica para tuberías y accesorios enterrados.

1.3. ALTERNATIVA SELECCIONADA

La alternativa seleccionada en la Fase I: Estudio de Prefactibilidad es la Alternativa 1 (ver Figura 1) la misma que, mantiene el uso de la conducción existente entre los tanques Collaloma Bajo – San Juan Alto, e incluye cámaras de seccionamiento:

- La primera, al sur de la derivación proyectada hacia el tanque Carretas, que utilizará una válvula mariposa con actuador eléctrico, para aislar el tramo inicial de la antigua línea de transmisión, que quedará presurizada desde el tanque Collaloma. Durante el período 2032 en adelante, cuando la planta de tratamiento Calderón funcione a plena capacidad, la válvula permanecerá cerrada, pues el sistema Calderón puede ser abastecido totalmente desde la nueva planta de tratamiento.
- La segunda, en la misma línea, al norte de la derivación prevista para alimentar a los tanques Arenal 1 y Arenal 2. La apertura de la primera válvula y el cierre de la segunda, permitirán el abastecimiento de los tanques Carretas y Arenal desde el sistema Bellavista. Tal forma de funcionamiento será necesario por el déficit de agua potable que se presentará entre los años 2025 y 2031, cuando la planta de tratamiento de Calderón funcione con los dos primeros módulos (650 l/s). El déficit será del orden de 107 l/s, que será suministrado por el sistema Bellavista.

En el esquema de la Alternativa 1 se mantiene sin alteraciones el abastecimiento a los tanques Brisas y Plan de Vivienda Ecuador, que son servidos desde el tanque San José de Morán 2. Por otra parte, la alternativa prevé modificar la alimentación a los tanques de San Miguel del Común y Oyacoto desde el tanque San José de Morán 2, mediante una nueva línea expresa, a ser construida.

El servicio hacia los tanques Llano Grande Alto y Llano Grande Bajo se realizará desde el tanque San Luis 2 (4 Esquinas 2) mediante una nueva conducción expresa.

**ESQUEMA SISTEMA CALDERÓN
 (AÑO 2050)**

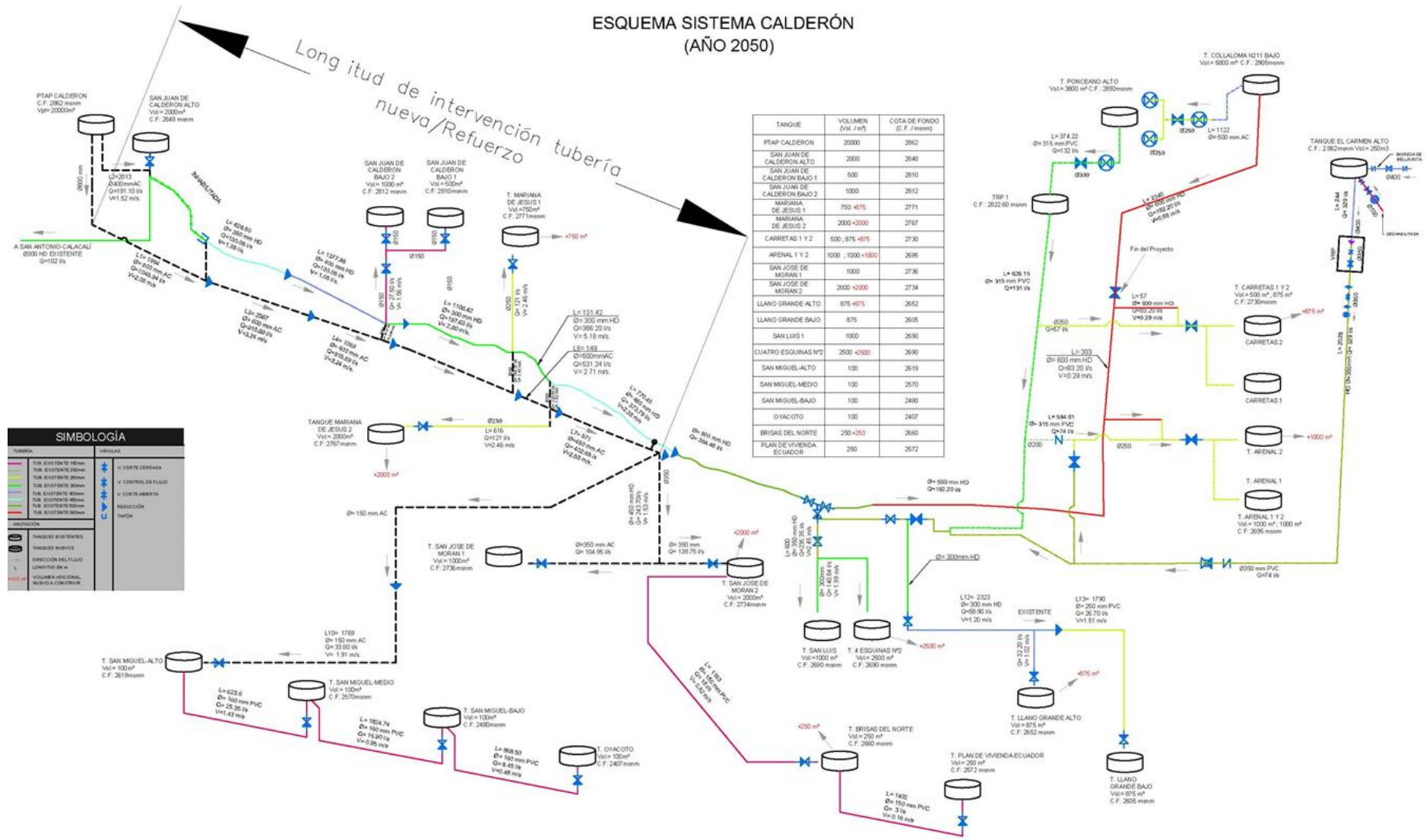


Figura 1: Esquema de la Alternativa 1 - Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

2. NORMAS Y MATERIALES

2.1. NORMAS APLICABLES

En el presente Informe se utilizarán las siguientes Normas Técnicas:

- American Water Works Association, AWWA Manual M11: Steel Pipe - A Guide for Design and Installation, Fourth Edition.
- American Water Works Association, ANSI/AWWA C200: Steel Water Pipe - 6 in. (150 mm) and Larger, 1997.
- Norma API Specification 5L, Specification for Line Pipe, 2013.
- Norma ASME/ANSI B36.10M, Welded and Seamless Wrought Steel Pipe, 2004.
- Normas ANSI/AWWA C213, Fusion Bonded Epoxy Coating for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines, 1996.
- Normas ANSI/AWWA C222, Polyurethane Coatings for the Interior and Exterior of Steel Water Pipe and Fittings, 1999.

2.1. MATERIAL SELECCIONADO

El material para las tuberías y accesorios de las líneas de transmisión de Calderón se ha propuesto considerando los siguientes criterios fundamentales:

- Propiedades mecánicas, resistencia a la tracción, límite de fluencia.
- Composición química, resistencia al desgaste, corrosión y oxidación.
- Facilidad de proceso de fabricación de la tubería y soldabilidad.
- Factibilidad de conseguir en el mercado nacional o internacional.
- Costo del material.
- Buenas experiencias anteriores en proyectos nacionales ya construidos.

El **acero estructural ASTM A 36/ A 36M** es un material de amplia utilización en nuestro país para presiones de hasta 300 m (430 psi), en que cumple con los criterios fundamentales indicados anteriormente; es un acero de bajo contenido de carbono y sus propiedades mecánicas y composición química cumplen con las Normas ANSI/AWWA C200 y AWWA Manual M11 correspondientes a tuberías de acero para conducción de agua a presión, y cuyo proceso de fabricación de la tubería debe cumplir con las AWWA Manual M11. En las Tablas 1 y 2 se presentan, respectivamente, las propiedades mecánicas y composición química del acero estructural ASTM A 36/ A 36M.

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.
^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.
^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.
^D Elongation not required to be determined for floor plate.
^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

Tabla 1: Propiedades mecánicas del acero ASTM A 36/ A 36M
Fuente: Norma ASTM A 36/ A 36M.

Product	Shapes ^A					Plates ^B		Bars		
	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 85], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].
^B For each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 % manganese above the specified maximum will be permitted up to the maximum of 1.35 %.

Tabla 2: Propiedades químicas del acero ASTM A 36/ A 36M
Fuente: Norma ASTM A 36/ A 36M.

3. CÁLCULOS MECÁNICOS DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

3.1. DATOS PARA LOS CÁLCULOS MECÁNICOS

Los cálculos mecánicos para las líneas de transmisión de Calderón, en el trazado seleccionado, tienen como objetivos fundamentales los siguientes:

- Seleccionar el material óptimo para la tubería y accesorios.
- Determinar los espesores de la tubería para el material seleccionado.
- Verificar que la tubería resista el golpe de ariete y los transitorios.
- Definir la serie de espesores óptima en la trayectoria de la conducción.

Los datos con los que se realizarán los cálculos mecánicos de las conducciones para todas las variantes han sido obtenidos en el diseño hidráulico, levantamiento topográfico y otras áreas del Proyecto. Estos datos son:

- Caudal en la línea de conducción.
- Cargas o alturas piezométricas.
- Diámetro de diseño de la tubería.
- Longitudes de los diferentes tramos de conducción.

- Costos unitarios de la tubería.

3.2. ECUACIONES UTILIZADAS PARA LOS CÁLCULOS

En este punto se presentan las ecuaciones utilizadas para los cálculos mecánicos de las líneas de transmisión de Calderón, en el trazado seleccionado.

3.2.1. VELOCIDAD DE FLUJO (v)

La velocidad de flujo en las tuberías se calcula con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * \left(\frac{d}{1000}\right)^2} \quad (1)$$

Donde:

- v: Velocidad de flujo en m/s.
Q: Caudal m³/s.
d: Diámetro interno de la tubería en mm.

3.2.2. ESPESOR DE LA PARED DE LA TUBERÍA (t)

De conformidad con las Normas AWWA Manual M-11, el cálculo del espesor para la pared de la tubería se realiza utilizando la ecuación de Barlow siguiente:

$$t = \frac{p * d}{2 * s} \quad (2)$$

Donde:

- t: Espesor de la pared de la tubería en mm.
p: Presión interna de diseño kPa. (Norma AWWA Manual M-11).
d: Diámetro interno de la tubería en mm.
s: Esfuerzo admisible de diseño en kPa.

3.2.3. ESFUERZO ADMISIBLE DE DISEÑO (s)

De conformidad con las Normas AWWA Manual M-11 y las buenas prácticas de diseño, el valor del esfuerzo admisible de diseño (s) se determina de la siguiente manera:

- Cuando se considera únicamente la presión interna de diseño (s) se calcula como el 50% del esfuerzo de fluencia del acero (sfluencia).
- Cuando se considera la suma de la presión interna de diseño más la presión generada por el transitorio o golpe de ariete, (s) se calcula como el 75% del esfuerzo de fluencia del acero (sfluencia).

Por lo tanto, para calcular el espesor de la pared de la tubería corresponde verificar los dos cálculos y determinar el mayor valor que sería el espesor que corresponde a ese tramo de tubería.

Donde:

s: Esfuerzo admisible de diseño en kPa.

3.2.4. ESPESOR MÍNIMO DE LA PARED DE LA TUBERÍA (TMIN)

De conformidad con las Normas AWWA Manual M-11 y las buenas prácticas de diseño, el valor del espesor mínimo de la pared de la tubería se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cuando } d \leq 1350 \text{ mm} \quad t_{min} = \frac{d}{288} \quad (3)$$

$$\text{Cuando } d > 1350 \text{ mm} \quad t_{min} = \frac{d + 508}{400} \quad (4)$$

Donde:

tmin: Espesor mínimo de la pared de la tubería en mm.

Esto implica que cuando los resultados de los cálculos del espesor de la pared de la tubería (t) sean menores al espesor mínimo de la pared de la tubería (tmin), entonces el valor que se utilizará será este tmin.

3.2.5. CELERIDAD DEL TRANSIENTE POR GOLPE DE ARIETE (A)

De conformidad con las Normas AWWA Manual M-11, el cálculo de la celeridad del transiente de presión por golpe de ariete se realiza utilizando la ecuación siguiente:

$$a = \frac{0.319}{\sqrt{\frac{\rho}{g} * \left(\frac{1}{k} + \frac{d}{E * t} \right)}} \quad (5)$$

Donde:

- a: Celeridad del transiente por golpe de ariete en m/s.
- t: Espesor de la pared de la tubería en mm.
- ρ : Peso específico del fluido en kg/m³. (para el agua 1000 kg/m³)
- g: Gravedad en m/s². (9,8 m/s²).
- k: Módulo de compresibilidad de Bulk para el líquido en Pa. (agua 2.07 GPa).
- E: Módulo de elasticidad de Young en Pa. (para el acero 206.85 GPa).

3.2.6. MAGNITUD DEL TRANSIENTE POR GOLPE DE ARIETE (pga)

De conformidad con las Normas AWWA Manual M-11, el cálculo del incremento de presión o magnitud del transiente de presión por golpe de ariete se realiza utilizando la ecuación siguiente:

$$p_{ga} = \frac{10 * a * v}{g} \quad (6)$$

Donde:

- p_{ga}: Incremento de presión por golpe de ariete en kPa.
 a: Celeridad del transiente por golpe de ariete en m/s.
 v: Velocidad de flujo en m/s.
 g: Gravedad en m/s². (9,8 m/s²).

3.3. CALCULOS MECÁNICOS DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

A continuación, se presentan los cálculos realizados de los espesores de la tubería para las líneas de transmisión de Calderón, considerando siete series de diámetros nominales de las tuberías, esto es DN 800 mm, DN 700 mm, DN 600 mm, DN 500 mm, DN 300 mm, DN 200 mm y DN 250 mm, considerando una carga o altura piezométrica entre su valor mínimo y máximo con intervalos aproximados de 5 m.

3.3.1. ESPEORES DE LA TUBERÍA DN 800 CON ACERO ASTM A 36/A 36M

En la Tabla 3 se presentan los datos considerados para el diseño y en la Tabla 4 se presentan los cálculos de espesores realizados:

(ACERO ASTM A 36/A36 M)		
DATOS FUNDAMENTALES		
CAUDAL	m ³ /s	1,06
DIAMETRO NOMINAL	mm	800,00
ESFUERZO DE FLUENCIA	kPa	250000,00
ESFUERZO DE DISEÑO	kPa	125000,00
ESPEOR MINIMO	mm	3,27
VELOCIDAD DE FLUJO	m/s	2,11
DENSIDAD DEL ACERO	t/m ³	7,85

Tabla 3: Datos de diseño

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

(ACERO ASTM A 36/A36 M)					
PRESIÓN DISEÑO	ESPEOR	CELERIDAD	GOLPE ARIETE	PRESIÓN TOTAL GOLPE ARIETE	ESPEOR
m	mm	m/s	m	m	mm
30	6,00	929,87	199,89	229,89	6,00
35	6,00	929,87	199,89	234,89	7,00
40	6,00	929,87	199,89	239,89	7,00
45	6,00	929,87	199,89	244,89	7,00
50	6,00	929,87	199,89	249,89	7,00
55	6,00	929,87	199,89	254,89	7,00
60	6,00	929,87	199,89	259,89	7,00
65	6,00	929,87	199,89	264,89	7,00
70	6,00	929,87	199,89	269,89	8,00
75	6,00	929,87	199,89	274,89	8,00
80	6,00	929,87	199,89	279,89	8,00
85	6,00	929,87	199,89	284,89	8,00
90	6,00	929,87	199,89	289,89	8,00
95	6,00	929,87	199,89	294,89	8,00
100	6,00	929,87	199,89	299,89	8,00
105	6,00	929,87	199,89	304,89	8,00

SE SELECCIONA UN ESPESOR NORMALIZADO DE 8.74 mm PARA ESTE TRAMO

Tabla 4: Cálculo de espesor de la tubería

3.3.2. ESPEORES DE LA TUBERÍA DN 600 CON ACERO ASTM A 36/A 36M

En la Tabla 7 se presentan los datos considerados para el diseño y en la Tabla 8 se presentan los cálculos de espesores realizados:

(ACERO ASTM A 36/A36 M)		
DATOS FUNDAMENTALES		
CAUDAL	m ³ /s	0,90
DIAMETRO NOMINAL	mm	600,00
ESFUERZO DE FLUENCIA	kPa	250000,00
ESFUERZO DE DISEÑO	kPa	125000,00
ESPEOR MÍNIMO	mm	2,77
VELOCIDAD DE FLUJO	m/s	3,18
DENSIDAD DEL ACERO	t/m ³	7,85

Tabla 5: Datos de diseño

(ACERO ASTM A 36/A36 M)

PRESIÓN DISEÑO	ESPEOR	CELERIDAD	GOLPE ARIETE	PRESIÓN TOTAL GOLPE ARIETE	ESPEOR
m	mm	m/s	m	m	mm
95	6,00	1004,37	325,89	420,89	6,80
100	6,00	1004,37	325,89	425,89	7,00
105	6,00	1004,37	325,89	430,89	7,00
110	6,00	1004,37	325,89	435,89	7,04
115	6,00	1004,37	325,89	440,89	7,12
120	6,00	1004,37	325,89	445,89	7,21
125	6,00	1004,37	325,89	450,89	7,29
130	6,00	1004,37	325,89	455,89	7,37
135	6,00	1004,37	325,89	460,89	8,00

SE SELECCIONA UN ESPEOR NORMALIZADO DE 8.74 mm PARA ESTE TRAMO

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Tabla 6: Cálculo de espesor de la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

3.3.1. ESPEORES DE LA TUBERÍA DN 500 CON ACERO ASTM A 36/A 36M

En la Tabla 9 se presentan los datos considerados para el diseño y en la Tabla 10 se presentan los cálculos de espesores realizados:

(ACERO ASTM A 36/A36 M)		
DATOS FUNDAMENTALES		
CAUDAL	m ³ /s	0,47
DIAMETRO NOMINAL	mm	500,00
ESFUERZO DE FLUENCIA	kPa	250000,00
ESFUERZO DE DISEÑO	kPa	125000,00
ESPEOR MÍNIMO	mm	2,52
VELOCIDAD DE FLUJO	m/s	2,39
DENSIDAD DEL ACERO	t/m ³	7,85

Tabla 7: Datos de diseño

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

(ACERO ASTM A 36/A36 M)

PRESIÓN DISEÑO	ESPESOR	CELERIDAD	GOLPE ARIETE	PRESIÓN TOTAL GOLPE ARIETE	ESPESOR
m	mm	m/s	m	m	mm
140	6,00	1049,03	255,97	395,97	6,00
145	6,00	1049,03	255,97	400,97	7,00
150	6,00	1049,03	255,97	405,97	7,00
155	6,00	1049,03	255,97	410,97	7,00
160	6,00	1049,03	255,97	415,97	7,00
165	6,00	1049,03	255,97	420,97	7,00
170	6,00	1049,03	255,97	425,97	7,00
175	6,00	1049,03	255,97	430,97	7,00
180	6,00	1049,03	255,97	435,97	8,00
185	6,00	1049,03	255,97	440,97	8,00

SE SELECCIONA UN ESPESOR NORMALIZADO DE 8.74 mm PARA ESTE TRAMO

Tabla 8: Cálculo de espesor de la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

3.3.2. ESPEORES DE LA TUBERÍA DN 300 CON ACERO ASTM A 36/A 36M

En la Tabla 11 se presentan los datos considerados para el diseño y en la Tabla 12 se presentan los cálculos de espesores realizados:

(ACERO ASTM A 36/A36 M)		
DATOS FUNDAMENTALES		
CAUDAL	m ³ /s	0,14
DIAMETRO NOMINAL	mm	300,00
ESFUERZO DE FLUENCIA	kPa	250000,00
ESFUERZO DE DISEÑO	kPa	125000,00
ESPESOR MÍNIMO	mm	2,02
VELOCIDAD DE FLUJO	m/s	1,98
DENSIDAD DEL ACERO	t/m ³	7,85

Tabla 9: Datos de diseño

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

(ACERO ASTM A 36/A36 M)

PRESIÓN DISEÑO	ESPESOR	CELERIDAD	GOLPE ARIETE	PRESIÓN TOTAL GOLPE ARIETE	ESPESOR
m	mm	m/s	m	m	mm
180	6,00	1159,75	234,15	414,15	6,00
185	6,00	1159,75	234,15	419,15	7,00
190	6,00	1159,75	234,15	424,15	7,00
195	6,00	1159,75	234,15	429,15	7,00
200	6,00	1159,75	234,15	434,15	7,00
205	6,00	1159,75	234,15	439,15	7,00
210	6,00	1159,75	234,15	444,15	7,00
215	6,00	1159,75	234,15	449,15	7,00
220	6,00	1159,75	234,15	454,15	8,00
225	6,00	1159,75	234,15	459,15	8,00

SE SELECCIONA UN ESPESOR NORMALIZADO DE 8.74 mm PARA ESTE TRAMO

Tabla 10: Cálculo de espesor de la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

3.3.3. ESPEORES DE LA TUBERÍA DN 200 CON ACERO ASTM A 36/A 36M

En la Tabla 13 se presentan los datos considerados para el diseño y en la Tabla 14 se presentan los cálculos de espesores realizados:

(ACERO ASTM A 36/A36 M)		
DATOS FUNDAMENTALES		
CAUDAL	m ³ /s	0,05
DIAMETRO NOMINAL	mm	200,00
ESFUERZO DE FLUENCIA	kPa	250000,00
ESFUERZO DE DISEÑO	kPa	125000,00
ESPEOR MÍNIMO	mm	1,77
VELOCIDAD DE FLUJO	m/s	1,59
DENSIDAD DEL ACERO	t/m ³	7,85

Tabla 11: Datos de diseño

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

(ACERO ASTM A 36/A36 M)

PRESIÓN DISEÑO	ESPEOR	CELERIDAD	GOLPE ARIETE	PRESIÓN TOTAL GOLPE ARIETE	ESPEOR
m	mm	m/s	m	m	mm
175	6,00	1230,10	199,57	374,57	6,00
180	6,00	1230,10	199,57	379,57	7,00
185	6,00	1230,10	199,57	384,57	7,00
190	6,00	1230,10	199,57	389,57	7,00
195	6,00	1230,10	199,57	394,57	7,00
200	6,00	1230,10	199,57	399,57	7,00
205	6,00	1230,10	199,57	404,57	7,00
210	6,00	1230,10	199,57	409,57	7,00
215	6,00	1230,10	199,57	414,57	8,00
220	6,00	1230,10	199,57	419,57	8,00

SE SELECCIONA UN ESPEOR NORMALIZADO DE 8.74 mm PARA ESTE TRAMO

Tabla 12: Cálculo de espesor de la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

3.3.4. ESPEORES DE LA TUBERÍA DN 150 CON ACERO ASTM A 36/A 36M

En la Tabla 15 se presentan los datos considerados para el diseño y en la Tabla 16 se presentan los cálculos de espesores realizados:

(ACERO ASTM A 36/A36 M)		
DATOS FUNDAMENTALES		
CAUDAL	m ³ /s	0,05
DIAMETRO NOMINAL	mm	150,00
ESFUERZO DE FLUENCIA	kPa	250000,00
ESFUERZO DE DISEÑO	kPa	125000,00
ESPEOR MÍNIMO	mm	1,65
VELOCIDAD DE FLUJO	m/s	2,83
DENSIDAD DEL ACERO	t/m ³	7,85

Tabla 13: Datos de diseño

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

(ACERO ASTM A 36/A36 M)

PRESIÓN DISEÑO	ESPESOR	CELERIDAD	GOLPE ARIETE	PRESIÓN TOTAL GOLPE ARIETE	ESPESOR
m	mm	m/s	m	m	mm
215	6,00	1270,44	366,42	581,42	6,00
220	6,00	1270,44	366,42	586,42	7,00
225	6,00	1270,44	366,42	591,42	7,00
230	6,00	1270,44	366,42	596,42	7,00
235	6,00	1270,44	366,42	601,42	7,00
240	6,00	1270,44	366,42	606,42	7,00
245	6,00	1270,44	366,42	611,42	7,00
250	6,00	1270,44	366,42	616,42	7,00
255	6,00	1270,44	366,42	621,42	8,00
260	6,00	1270,44	366,42	626,42	8,00
265	6,00	1270,44	366,42	631,42	8,00
270	6,00	1270,44	366,42	636,42	8,00
275	6,00	1270,44	366,42	641,42	8,00
280	6,00	1270,44	366,42	646,42	8,00
285	6,00	1270,44	366,42	651,42	8,00
290	6,00	1270,44	366,42	656,42	8,00

SE SELECCIONA UN ESPESOR NORMALIZADO DE 8.74 mm PARA ESTE TRAMO

Tabla 14: Cálculo de espesor de la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

3.4. ESPEORES NORMALIZADOS DE LAS TUBERÍAS

De conformidad a la **Norma ASME/ANSI B36.10M**, a continuación, se presentan los valores determinados de los espesores de la tubería para las líneas de transmisión de Calderón, considerando siete series de diámetros nominales de las tuberías, esto es DN 800 mm, DN 600 mm, DN 500 mm, DN 450 mm, DN 400 mm, DN 350 mm, DN 250 mm, DN 200 mm y DN 150 mm, los mismos que se presentan en la Tabla 17.

Dimensiones Normalizadas (Norma ASME/ANSI B36.10M) Material Acero ASTM A36/ A36								
Serie	Diámetro Nominal (Dn)		Espesor Normalizado			Longitud	Peso Unitario	Peso Tramos
	mm	Pulgadas	mm	pulgadas	SCH No.	m	kg/m	T
e1	800	32	8.74	1 1/32	X	2613	173.3	453
e2	600	24	8.74	1 1/32	X	3243	130.0	422
e3	500	20	8.74	1 1/32	X	1881	108.3	204
e4	450	18	8.74	1 1/32	X	586	97.5	57
e5	400	16	8.74	1 1/32	X	688	86.7	60
e6	350	14	8.74	1 1/32	X	224	75.8	17
e7	300	12	8.74	1 1/32	X	239	65.0	16
e8	250	10	8.74	1 1/32	X	320	54.2	17
e9	200	8	8.74	1 1/32	X	132	43.3	6
e10	150	6	8.74	1 1/32	X	3815	32.5	124

Tabla 15: Datos de diseño

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

4. PROCESO DE SOLDADURA DE LAS TUBERÍAS

El proceso de soldadura permitirá la construcción de la tubería y la unión entre diferentes piezas y tramos de tuberías que sirve para transportar agua a presión de manera técnica, segura y eficiente en las líneas de transmisión de Calderón.

Los electrodos y los procedimientos de soldadura se adaptarán a la clase de material a soldar, espesores y formas de las juntas, indicadas en los planos del proyecto y a las posiciones en que las soldaduras deban realizarse para garantizar que el metal quede depositado satisfactoriamente en toda la longitud, y en todo el espesor de la junta, y reducir al mínimo las distorsiones y los esfuerzos por la retracción del material.

Los procesos de soldadura deberán regirse por normas nacionales e internacionales para el calibre y tipo de electrodo, amperaje, tipo de corriente a utilizar, etc. Así mismo, se atenderán las normas y recomendaciones de los fabricantes de los electrodos y de los elementos a soldar (tuberías, accesorios, láminas, etc.).

El proceso de soldadura debe ser realizado de conformidad y cumpliendo estrictamente las recomendaciones y procedimientos de las Normas:

- ✓ Norma ANSI/AWWA C206, Field Welding of Steel Water Pipe, 97.
- ✓ AWS D1.1. Structural Welding Code—Steel.
- ✓ AWS 5.1. Soldadura. Electrodo de acero al carbono revestidos para soldadura por arco
- ✓ API 1104. Código de Soldadura de Líneas de Tubería
- ✓ ASME Sección IX. Soldadura Desarrollo y Calificación de Soldadores

El metal de la soldadura, una vez depositado, debe aparecer sin grietas, inclusiones de escoria, porosidades, cavidades, ni otros defectos de suministro y colocación de la soldadura.

Toda soldadura debe dejarse enfriar libremente y no forzarse el descenso de su temperatura.

El metal de soldadura deberá fundirse adecuadamente con el de las piezas por unir. La soldadura debe pulirse con esmeril para presentar contornos sólidos y uniformes.

Para la fabricación o construcción de la tubería se utilizarán los procesos de soldadura más favorables, tanto técnica como económicamente, para los diferentes métodos de fabricación, recomendados y aceptados por la Norma AWS D1.1, que se presentan en la Figura 2. Este gráfico muestra los rangos de diámetro externo y espesores de pared y el proceso de fabricación más idóneo considerando aspectos técnicos y económicos.

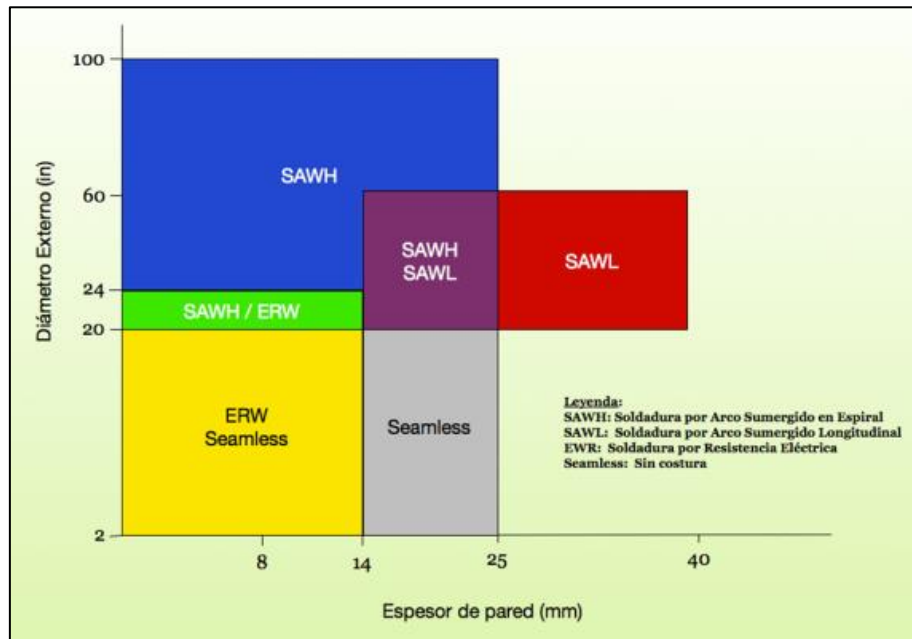


Figura 2: Procesos de soldadura para tubería recomendados

Fuente: Norma AWS D1.1.

De la Figura 2, se determina que de conformidad a la Norma AWS D1.1, el proceso de soldadura que corresponde para la fabricación de las tuberías DN 800, DN 700, DN 600 y DN 500 es el SAWH: SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO ESPIRAL; para la fabricación de las tuberías DN 300, DN 200 y DN 150 se realizará sin costura, esto es, SEAMLESS.

Para el caso de soldadura en la unión de tubería y accesorios de acero al carbono, ésta se hará con el proceso SMAW (soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos), de acuerdo con la norma AWS teniendo como consideraciones, la separación y chaflanes de la unión, así como el tipo de electrodo (revestido), número de cordones, diámetro del electrodo, amperajes y tipo de corriente respectiva en la soldadura al arco eléctrico.

Para la selección y ensayos requeridos de los electrodos, se atenderá lo indicado en la Norma AWS 5.1 "Soldadura. Electrodo de acero al carbono revestidos para soldadura por arco".

El proceso de soldadura y los ensayos no destructivos correspondientes deben ser realizados de conformidad y cumpliendo estrictamente las recomendaciones y procedimientos de las Normas: AWS D1.1, API 1104 y ASME Sección IX.

5. REVESTIMIENTO INTERNO Y EXTERNO DE LAS TUBERÍAS

Para las líneas de transmisión de Calderón, se analizan los siguientes revestimientos internos y externos de la tubería, que son los que actualmente se están utilizando:

- Recubrimiento interno con pintura epóxica anticorrosiva y recubrimiento externo con cinta adhesiva.
- Recubrimientos interno y externo con FBE (Fusion Bonded Epoxi).
- Recubrimientos interno y externo con poliuretano.

Del análisis comparativo de las alternativas de recubrimientos se concluye lo siguiente:

- ✓ Las propiedades físicas, eléctricas y químicas de todas las alternativas de recubrimientos propuestos permiten cumplir de manera eficaz la función de protección de la tubería.
- ✓ Los recubrimientos FBE (Fusion Bonded Epoxi) tienen una mayor dureza que los de poliuretano y los de pintura epóxica anticorrosiva.
- ✓ Los recubrimientos FBE al igual que los de poliuretano tienen mayor resistencia a la abrasión y al impacto que los de pintura epóxica anticorrosiva.
- ✓ Los recubrimientos FBE tienen similar resistencia a la abrasión y al impacto que los de poliuretano.
- ✓ Actualmente los costos de los tres tipos de recubrimientos son competitivos.

Por esta razón se recomienda para protección interna y externa de la tubería el recubrimiento FBE (Fusion Bonded Epoxi) de acuerdo a la Norma AWWA C 213; debido a que posee excelente adhesión, proporciona una resistencia anticorrosiva superior durante mucho tiempo de operación, excelente resistencia al desprendimiento catódico, excelente resistencia mecánica (flexibilidad, adherencia, abrasión, impacto), facilita las reparaciones en el campo y es adecuada para ductos de acero y conducción de agua.

6. DISEÑOS DE ACCESORIOS DE REDES DE TRANSMISIÓN

6.1. NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES

Para los diseños definitivos de los accesorios de la tubería de las redes de Calderón, se utilizarán fundamentalmente las siguientes Normas Técnicas:

- Normas de American Water Works Association, AWWA Manual M11: Steel Pipe - A Guide for Design and Installation, Fourth Edition.
- Normas de American Water Works Association, ANSI/AWWA C208: Dimensions for fabricated Steel Water Pipe Fittings.
- Norma API Specification 5L, Specification for Line Pipe, 2013.
- Norma ASME/ANSI B36.10M, Welded and Seamless Wrought Steel Pipe, 2004.
- Normas ANSI/AWWA C213, Fusion Bonded Epoxy Coating for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines, 1996.

- Normas ANSI/AWWA C222, Polyurethane Coatings for the Interior and Exterior of Steel Water Pipe and Fittings, 1999.
- Normas ANSI/ASME 16.5, Pipe Flanges and Flanged Fittings, 2003.

6.2. MATERIAL Y RECUBRIMIENTO DE LOS ACCESORIOS

El material para los accesorios será el mismo que para la tubería, esto es el acero **ASME A 36/A 36M**.

Igual que la tubería, los accesorios deberán ser protegidos, tanto interna como externamente con **recubrimiento FBE (Fusion Bonded Epoxi)** de acuerdo a la **Norma AWWA C 213**.

6.3. DISEÑO DE CODOS

De conformidad a las Normas ANSI/AWWA C208 y AWWA Manual M11, para cambios de dirección de hasta 5° , es posible compensar la muy pequeña curvatura soldando el siguiente tramo de tubería con este cambio de dirección, cuando se tiene ángulos mayores a 5° y hasta 90° , es necesario construir codos, mediante la soldadura de segmentos, con cortes inclinados.

6.3.1. SEGMENTOS DE LOS CODOS

El número de segmentos con los que se deben construir los codos, dependerán del ángulo de la curvatura, tal como se presenta en las siguientes Figuras 3, 4, 5 y 6:

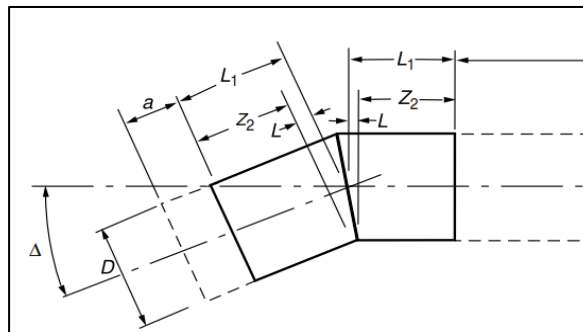


Figura 3: Codo de dos segmentos de 0° a 22.5°
Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

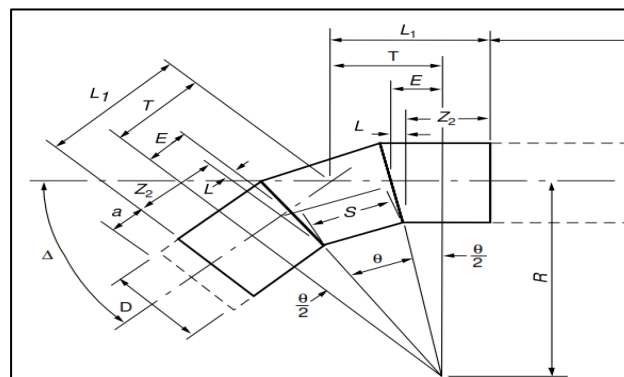


Figura 4: Codo de tres segmentos de 22.5° a 45°
Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

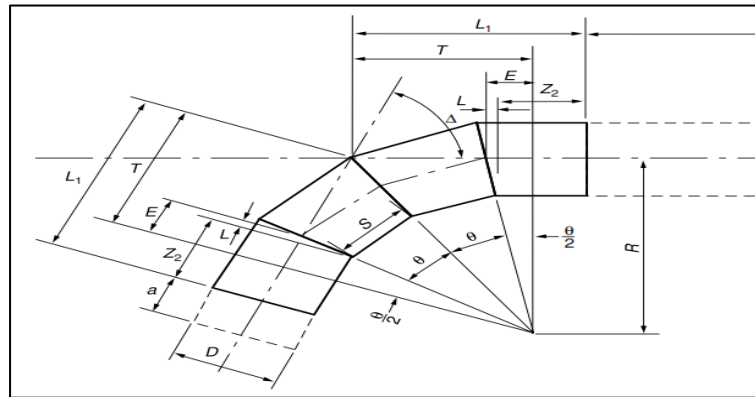


Figura 5: Codo de cuatro segmentos de 45° a 67.5°
Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

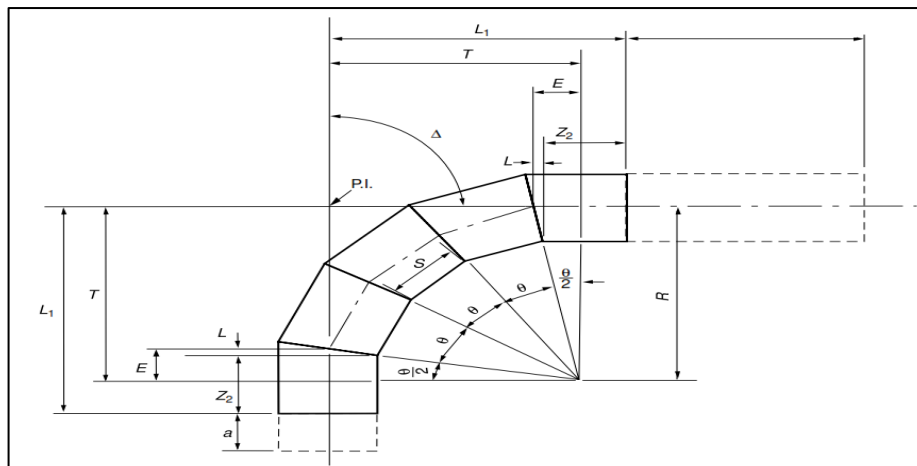


Figura 6: Codo de cinco segmentos de 67.5° a 90°
Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

6.3.2. SEGMENTOS DE LOS CODOS

De conformidad con las Normas ANSI/AWWA C208 y AWWA Manual M11, las ecuaciones que permiten calcular las dimensiones de los codos son las siguientes:

$$R = 2.5 * D \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\Delta}{N_{\text{seg}} - 1} \quad (8)$$

$$S = 4 * D * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (9)$$

$$L = 0.5 * D * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (10)$$

$$T = 2.5 * D * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (11)$$

$$E = 2.5 * D * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (12)$$

Donde:

- D: Diámetro externo de la tubería en mm.
- R: Radio primitivo del codo en mm.
- Nseg: Número de segmentos.
- Δ: Ángulo de curvatura del codo en °.
- θ: Ángulo de curvatura del codo en °.
- S: Dimensión del codo en mm.
- L: Dimensión del codo en mm.
- T: Dimensión del codo en mm.
- E: Dimensión del codo en mm.
- Z2: Dimensión del codo en mm. (Este valor se encuentra como f, en función del diámetro nominal, en la tabla de dimensiones normalizadas Tabla 18.)

La ecuación para el espesor del codo viene determinada por:

$$t = \frac{P * D}{S * \sigma} * \left(\frac{S}{2} + \frac{D}{3} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \right) \quad (13)$$

Donde:

- t: Espesor del codo en mm.
- D: Diámetro externo de la tubería en mm.
- P: Presión interna de diseño kPa.
- σ: Esfuerzo de tensión permisible a la presión de trabajo en kPa.
- θ: Ángulo de curvatura del codo en °.
- S: Dimensión del codo en mm.

Nominal Diameter D	Tees, Crosses A		Wyes 90° F		Laterals (θ = 30° Minimum)				Formula Factor ¹
	in.	(mm)	in.	(mm)	in.	(mm)	in.	(mm)	
6 (6 ⁵ / ₈ OD*)	8	(203)	6	(152)	23	(584)	29	(737)	5
8 (8 ⁵ / ₈ OD)	9	(229)	7	(178)	27	(686)	33	(838)	5
10 (10 ⁵ / ₈ OD)	11	(279)	8	(203)	32	(813)	40	(1,016)	6
12 (12 ³ / ₄ OD)	12	(305)	9	(229)	36	(914)	44	(1,118)	6
14	14	(356)	10	(254)	41	(1,041)	49	(1,245)	7
16	15	(381)	10	(254)	44	(1,118)	53	(1,325)	7
18	16	(406)	11	(279)	49	(1,245)	59	(1,499)	7.5
20	18	(457)	12	(305)	54	(1,372)	64	(1,626)	8
22	20	(508)	14	(356)	60	(1,524)	71	(1,803)	9
24	22	(559)	15	(381)	65	(1,651)	78	(1,981)	10
30	25	(635)	16	(406)	76	(1,930)	90	(2,286)	10
36	29	(737)	19	(483)	90	(2,286)	105	(2,667)	11
42	33	(838)	21	(533)	103	(2,616)	120	(3,048)	12
48	36	(914)	22	(559)	114	(2,896)	132	(3,353)	12
54	41	(1,041)	25	(635)	129	(3,277)	150	(3,810)	14
60	45	(1,143)	26	(660)	140	(3,556)	162	(4,115)	14
66	48	(1,219)	29	(737)	154	(3,912)	177	(4,496)	15
72	51	(1,295)	30	(762)	165	(4,191)	189	(4,801)	15
78	55	(1,397)	32	(813)	178	(4,521)	204	(5,182)	16
84	59	(1,499)	34	(864)	191	(4,851)	219	(5,563)	17
90	62	(1,575)	36	(914)	202	(5,131)	231	(5,867)	17
96	66	(1,676)	38	(965)	216	(5,486)	246	(6,248)	18
102	70	(1,778)	40	(1,016)	229	(5,817)	261	(6,629)	19
108	74	(1,880)	42	(1,067)	242	(6,147)	276	(7,010)	20
114	78	(1,981)	45	(1,143)	255	(6,477)	291	(7,391)	21
120	82	(2,083)	47	(1,194)	268	(6,807)	306	(7,772)	22
126	86	(2,184)	49	(1,245)	282	(7,163)	321	(8,153)	23
132	90	(2,286)	51	(1,295)	295	(7,493)	336	(8,534)	24
138	94	(2,388)	54	(1,372)	308	(7,823)	351	(8,915)	25
144	98	(2,489)	56	(1,422)	321	(8,153)	366	(9,296)	26

Tabla 16: Tabla de dimensiones normalizadas en pulgadas

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

Por lo tanto, las dimensiones de los codos en las líneas de transmisión de Calderón se presentan en las Tablas 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 siguientes:

Diámetro nominal tubería DN: 800 mm
Diámetro externo tubería D: 813 mm
Radio primitivo R: 2000 mm

Δ	Nseg	θ	S	L	T	E	Z2
o		o	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	2	2,500	71	9	44	44	254
5,0	2	5,000	142	18	89	89	254
7,5	2	7,500	213	27	133	133	254
10,0	2	10,000	285	36	178	178	254
12,5	2	12,500	356	45	223	223	254
15,0	2	15,000	428	54	268	268	254
17,5	2	17,500	501	63	313	313	254
20,0	2	20,000	573	72	358	358	254
22,5	2	22,500	647	81	404	404	254
25,0	3	12,500	356	45	451	223	254
27,5	3	13,750	392	49	497	245	254
30,0	3	15,000	428	54	545	268	254
32,5	3	16,250	464	58	592	290	254
35,0	3	17,500	501	63	641	313	254
37,5	3	18,750	537	67	690	336	254
40,0	3	20,000	573	72	740	358	254
42,5	3	21,250	610	76	790	381	254
45,0	3	22,500	647	81	842	404	254
47,5	4	15,833	452	57	894	283	254
50,0	4	16,667	476	60	948	298	254
52,5	4	17,500	501	63	1002	313	254
55,0	4	18,333	525	66	1058	328	254
57,5	4	19,167	549	69	1115	343	254
60,0	4	20,000	573	72	1173	358	254
62,5	4	20,833	598	75	1233	374	254
65,0	4	21,667	622	78	1295	389	254
67,5	4	22,500	647	81	1358	404	254
70,0	5	17,500	501	63	1423	313	254
72,5	5	18,125	519	65	1490	324	254
75,0	5	18,750	537	67	1560	336	254
77,5	5	19,375	555	69	1631	347	254
80,0	5	20,000	573	72	1705	358	254
82,5	5	20,625	592	74	1782	370	254
85,0	5	21,250	610	76	1862	381	254
87,5	5	21,875	628	79	1946	393	254
90,0	5	22,500	647	81	2033	404	254

ESPESOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN DN 800 mm			ESPESOR CODO	ESPESOR STANDARD DE CODOS Y OTROS ACCESORIOS		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 17: Dimensiones de los codos con DN 800

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

Diámetro nominal tubería DN: 600 mm
 Diámetro externo tubería D: 610 mm
 Radio primitivo R: 1500 mm

Δ	Nseg	θ	S	L	T	E	Z2
o		o	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	2	2,500	53	7	33	33	254
5,0	2	5,000	107	13	67	67	254
7,5	2	7,500	160	20	100	100	254
10,0	2	10,000	213	27	133	133	254
12,5	2	12,500	267	33	167	167	254
15,0	2	15,000	321	40	201	201	254
17,5	2	17,500	376	47	235	235	254
20,0	2	20,000	430	54	269	269	254
22,5	2	22,500	485	61	303	303	254
25,0	3	12,500	267	33	338	167	254
27,5	3	13,750	294	37	373	184	254
30,0	3	15,000	321	40	409	201	254
32,5	3	16,250	348	44	444	218	254
35,0	3	17,500	376	47	481	235	254
37,5	3	18,750	403	50	518	252	254
40,0	3	20,000	430	54	555	269	254
42,5	3	21,250	458	57	593	286	254
45,0	3	22,500	485	61	632	303	254
47,5	4	15,833	339	42	671	212	254
50,0	4	16,667	357	45	711	223	254
52,5	4	17,500	376	47	752	235	254
55,0	4	18,333	394	49	794	246	254
57,5	4	19,167	412	51	837	257	254
60,0	4	20,000	430	54	880	269	254
62,5	4	20,833	449	56	925	280	254
65,0	4	21,667	467	58	972	292	254
67,5	4	22,500	485	61	1019	303	254
70,0	5	17,500	376	47	1068	235	254
72,5	5	18,125	389	49	1118	243	254
75,0	5	18,750	403	50	1170	252	254
77,5	5	19,375	417	52	1224	260	254
80,0	5	20,000	430	54	1280	269	254
82,5	5	20,625	444	55	1337	277	254
85,0	5	21,250	458	57	1397	286	254
87,5	5	21,875	472	59	1460	295	254
90,0	5	22,500	485	61	1525	303	254

ESPELOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN DN 600 mm			ESPELOR CODO	ESPELOR STANDARD DE CODOS Y OTROS ACCESORIOS		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 18: Dimensiones de los codos con DN 600

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

Diámetro nominal tubería DN: 500 mm
 Diámetro externo tubería D: 508 mm
 Radio primitivo R: 1250 mm

Δ	Nseg	θ	S	L	T	E	Z2
o		o	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	2	2,500	44	6	28	28	203
5,0	2	5,000	89	11	55	55	203
7,5	2	7,500	133	17	83	83	203
10,0	2	10,000	178	22	111	111	203
12,5	2	12,500	223	28	139	139	203
15,0	2	15,000	268	33	167	167	203
17,5	2	17,500	313	39	195	195	203
20,0	2	20,000	358	45	224	224	203
22,5	2	22,500	404	51	253	253	203
25,0	3	12,500	223	28	282	139	203
27,5	3	13,750	245	31	311	153	203
30,0	3	15,000	268	33	340	167	203
32,5	3	16,250	290	36	370	181	203
35,0	3	17,500	313	39	400	195	203
37,5	3	18,750	335	42	431	210	203
40,0	3	20,000	358	45	462	224	203
42,5	3	21,250	381	48	494	238	203
45,0	3	22,500	404	51	526	253	203
47,5	4	15,833	283	35	559	177	203
50,0	4	16,667	298	37	592	186	203
52,5	4	17,500	313	39	626	195	203
55,0	4	18,333	328	41	661	205	203
57,5	4	19,167	343	43	697	214	203
60,0	4	20,000	358	45	733	224	203
62,5	4	20,833	374	47	771	233	203
65,0	4	21,667	389	49	809	243	203
67,5	4	22,500	404	51	849	253	203
70,0	5	17,500	313	39	889	195	203
72,5	5	18,125	324	41	931	203	203
75,0	5	18,750	335	42	975	210	203
77,5	5	19,375	347	43	1019	217	203
80,0	5	20,000	358	45	1066	224	203
82,5	5	20,625	370	46	1114	231	203
85,0	5	21,250	381	48	1164	238	203
87,5	5	21,875	393	49	1216	245	203
90,0	5	22,500	404	51	1270	253	203

ESPESOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN DN 500 mm			ESPESOR CODO	ESPESOR STANDARD DE CODOS Y OTROS ACCESORIOS		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 19: Dimensiones de los codos con DN 500

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

Diámetro nominal tubería DN: 300 mm
 Diámetro externo tubería D: 323,8 mm
 Radio primitivo R: 750 mm

Δ	Nseg	θ	S	L	T	E	Z2
o		o	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	2	2,500	28	4	18	18	152
5,0	2	5,000	57	7	35	35	152
7,5	2	7,500	85	11	53	53	152
10,0	2	10,000	113	14	71	71	152
12,5	2	12,500	142	18	89	89	152
15,0	2	15,000	171	21	107	107	152
17,5	2	17,500	199	25	125	125	152
20,0	2	20,000	228	29	143	143	152
22,5	2	22,500	258	32	161	161	152
25,0	3	12,500	142	18	179	89	152
27,5	3	13,750	156	20	198	98	152
30,0	3	15,000	171	21	217	107	152
32,5	3	16,250	185	23	236	116	152
35,0	3	17,500	199	25	255	125	152
37,5	3	18,750	214	27	275	134	152
40,0	3	20,000	228	29	295	143	152
42,5	3	21,250	243	30	315	152	152
45,0	3	22,500	258	32	335	161	152
47,5	4	15,833	180	23	356	113	152
50,0	4	16,667	190	24	377	119	152
52,5	4	17,500	199	25	399	125	152
55,0	4	18,333	209	26	421	131	152
57,5	4	19,167	219	27	444	137	152
60,0	4	20,000	228	29	467	143	152
62,5	4	20,833	238	30	491	149	152
65,0	4	21,667	248	31	516	155	152
67,5	4	22,500	258	32	541	161	152
70,0	5	17,500	199	25	567	125	152
72,5	5	18,125	207	26	594	129	152
75,0	5	18,750	214	27	621	134	152
77,5	5	19,375	221	28	650	138	152
80,0	5	20,000	228	29	679	143	152
82,5	5	20,625	236	29	710	147	152
85,0	5	21,250	243	30	742	152	152
87,5	5	21,875	250	31	775	156	152
90,0	5	22,500	258	32	810	161	152

ESPESOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN DN 300 mm			ESPESOR CODO	ESPESOR STANDARD DE CODOS Y OTROS ACCESORIOS		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 20: Dimensiones de los codos con DN 300

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

Diámetro nominal tubería DN: 200 mm
 Diámetro externo tubería D: 219,1 mm
 Radio primitivo R: 500 mm

Δ	Nseg	θ	S	L	T	E	Z2
o		o	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	2	2,500	19	2	12	12	127
5,0	2	5,000	38	5	24	24	127
7,5	2	7,500	57	7	36	36	127
10,0	2	10,000	77	10	48	48	127
12,5	2	12,500	96	12	60	60	127
15,0	2	15,000	115	14	72	72	127
17,5	2	17,500	135	17	84	84	127
20,0	2	20,000	155	19	97	97	127
22,5	2	22,500	174	22	109	109	127
25,0	3	12,500	96	12	121	60	127
27,5	3	13,750	106	13	134	66	127
30,0	3	15,000	115	14	147	72	127
32,5	3	16,250	125	16	160	78	127
35,0	3	17,500	135	17	173	84	127
37,5	3	18,750	145	18	186	90	127
40,0	3	20,000	155	19	199	97	127
42,5	3	21,250	164	21	213	103	127
45,0	3	22,500	174	22	227	109	127
47,5	4	15,833	122	15	241	76	127
50,0	4	16,667	128	16	255	80	127
52,5	4	17,500	135	17	270	84	127
55,0	4	18,333	141	18	285	88	127
57,5	4	19,167	148	18	301	92	127
60,0	4	20,000	155	19	316	97	127
62,5	4	20,833	161	20	332	101	127
65,0	4	21,667	168	21	349	105	127
67,5	4	22,500	174	22	366	109	127
70,0	5	17,500	135	17	384	84	127
72,5	5	18,125	140	17	402	87	127
75,0	5	18,750	145	18	420	90	127
77,5	5	19,375	150	19	440	94	127
80,0	5	20,000	155	19	460	97	127
82,5	5	20,625	159	20	480	100	127
85,0	5	21,250	164	21	502	103	127
87,5	5	21,875	169	21	524	106	127
90,0	5	22,500	174	22	548	109	127

ESPESOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN DN 200 mm			ESPESOR CODO	ESPESOR STANDARD DE CODOS Y OTROS ACCESORIOS		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 21: Dimensiones de los codos con DN 200

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

Diámetro nominal tubería DN: 150 mm
 Diámetro externo tubería D: 168,3 mm
 Radio primitivo R: 375 mm

Δ	Nseg	θ	S	L	T	E	Z2
o		o	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	2	2,500	15	2	9	9	127
5,0	2	5,000	29	4	18	18	127
7,5	2	7,500	44	6	28	28	127
10,0	2	10,000	59	7	37	37	127
12,5	2	12,500	74	9	46	46	127
15,0	2	15,000	89	11	55	55	127
17,5	2	17,500	104	13	65	65	127
20,0	2	20,000	119	15	74	74	127
22,5	2	22,500	134	17	84	84	127
25,0	3	12,500	74	9	93	46	127
27,5	3	13,750	81	10	103	51	127
30,0	3	15,000	89	11	113	55	127
32,5	3	16,250	96	12	123	60	127
35,0	3	17,500	104	13	133	65	127
37,5	3	18,750	111	14	143	69	127
40,0	3	20,000	119	15	153	74	127
42,5	3	21,250	126	16	164	79	127
45,0	3	22,500	134	17	174	84	127
47,5	4	15,833	94	12	185	59	127
50,0	4	16,667	99	12	196	62	127
52,5	4	17,500	104	13	207	65	127
55,0	4	18,333	109	14	219	68	127
57,5	4	19,167	114	14	231	71	127
60,0	4	20,000	119	15	243	74	127
62,5	4	20,833	124	15	255	77	127
65,0	4	21,667	129	16	268	81	127
67,5	4	22,500	134	17	281	84	127
70,0	5	17,500	104	13	295	65	127
72,5	5	18,125	107	13	309	67	127
75,0	5	18,750	111	14	323	69	127
77,5	5	19,375	115	14	338	72	127
80,0	5	20,000	119	15	353	74	127
82,5	5	20,625	122	15	369	77	127
85,0	5	21,250	126	16	386	79	127
87,5	5	21,875	130	16	403	81	127
90,0	5	22,500	134	17	421	84	127

ESPELOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN DN 150 mm			ESPELOR CODO	ESPELOR STANDARD DE CODOS Y OTROS ACCESORIOS		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 22: Dimensiones de los codos con DN 150

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

6.4. DISEÑO DE T NORMALES O DE REDUCCIÓN

En la Figura 7 se presenta un esquema general de la T normal o de reducción:

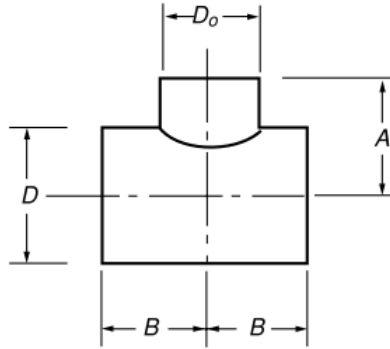


Figura 7: Esquema de T normal o de reducción

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

De conformidad con las Normas ANSI/AWWA C208 y AWWA Manual M1, las ecuaciones que permiten calcular las dimensiones de las T normales o de reducción son las siguientes:

$$A = 0.5 * D + fo \quad (14)$$

$$B = 0.5 * Do + fr \quad (15)$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería en mm.

Do: Diámetro de la T a la tubería de salida en mm

A: Dimensión de la T de reducción en mm.

B: Dimensión de la T de reducción en mm.

fo y fr: Factores de dimensión f en mm en función de los diámetros D y/o Do respectivamente. (Este valor se presenta en la Tabla 18 anterior)

Cuando son T normales D=Do y por tanto A=B y fo=fr=f.

Los espesores normalizados vienen presentados en la Tabla 26 siguiente.

ESPESOR STANDARD TUBERÍA CONDUCCIÓN			ESPESOR T	ESPESOR STANDARD DE T NORMALES Y/O DE REDUCCIÓN		
mm	pulgadas	SCH No.	mm	mm	pulgadas	SCH No.
8,740	0,344	x	10,49	11,130	0,438	X

Tabla 23: Espesores normalizados de las T

Fuente: Norma ANSI/AWWA C208.

6.5. DISEÑO DE BRIDAS NORMALES Y CIEGAS

La tubería de conducción dispone de bridas para diferentes usos, en los diferentes tramos en este punto se procederá a diseñar estas bridas, tomando como base las Normas ANSI/ASME 16.5.

Por seguridad y por corresponder a esta aplicación se han seleccionado bridas para soldar bajo la norma ANSI/ASME B16.5 de clase 300. En la Figura 8 se presenta un esquema general de estas bridas y en la Tabla 27 se indican sus dimensiones normalizadas, para los diferentes diámetros nominales de la tubería de conducción o distribución:

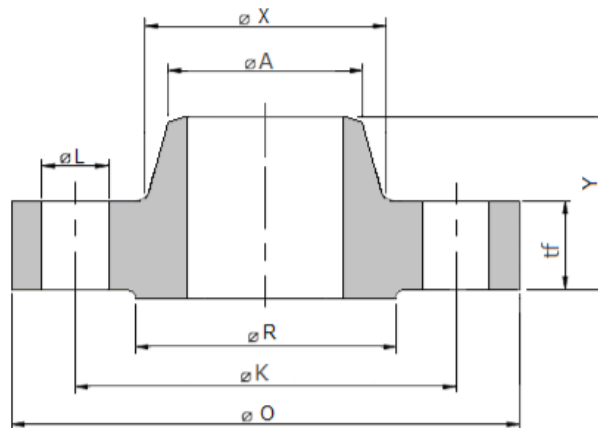


Figura 8: Esquema general de bridas

Fuente: Norma ANSI/ASME 16.5.

BRIDAS PARA SOLDAR DE CLASE 300 (PN 40)										
DN	O	tf	R	X	A	Y	K	L	# Aguj.	Peso
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	z	kg
150	320	35	216	206	168	97	270	22	12	19
200	380	40	270	260	219	110	330	25	12	26
300	520	49	381	375	324	129	451	32	16	52
500	775	62	584	587	508	160	686	35	24	187
600	915	68	692	702	610	167	813	41	24	252
700	1035	86	800	775	665	197	940	44	28	321
800	1149	98	914	881	749	222	1054	51	28	398

Tabla 24: Dimensiones de las bridas

Fuente: Norma ANSI/ASME B16.5 Clase 300.

En caso de montaje de la instalación, la existencia de tramos futuros y para mantenimiento, se ha procedido también a diseñar bridas ciegas, bajo la norma ANSI/ASME B16.5 de clase 300. En la Figura 9 se presenta un esquema general de estas bridas ciegas; y, en la Tabla 28 se indican sus dimensiones normalizadas, para los diferentes diámetros nominales de la tubería de conducción o distribución:

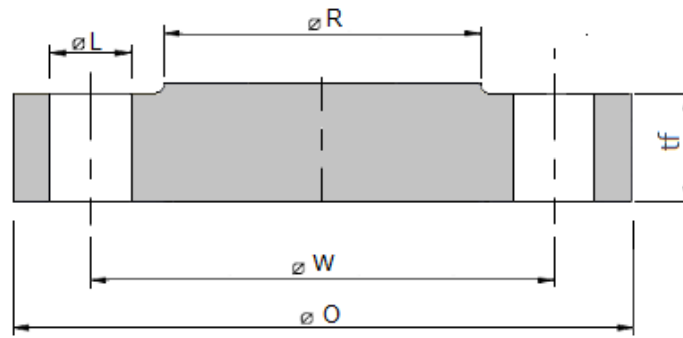


Figura 9: Esquema de bridas ciegas

Fuente: Norma ANSI/ASME 16.5.

BRIDAS CIEGAS CLASE 300 (PN 40)							
DN	O	tf	R	W	L	# Aguj.	Peso
mm	mm	mm	mm	mm	mm	z	kg
150	320	35	216	270	22	12	19
200	380	40	270	330.2	25	12	26
300	520	49	381	451	32	16	52
500	775	62	584	686	35	24	187
600	915	68	692	813	41	24	252
700	1008	83	789	944	44	28	321
800	1149	98	914	1054	51	28	398

Tabla 25: Dimensiones de las bridas ciegas

Fuente: Norma ANSI/ASME B16.5 Clase 300.

7. PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE CALDERÓN

7.1. NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES

Para los estudios y diseños de la protección catódica de la tubería de la Línea de Transmisión de Calderón se utilizarán fundamentalmente las siguientes Normas Técnicas:

- Norma ISO 15589-1:2015 Petroleum and natural gas industries – Cathodic protection of pipeline transportation systems.
- NACE 35108-2008, Cathodic protection.
- NACE. SP-0169-2007, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- NOM-008-SECRE-1999. Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas o sumergidas.
- NRF-047-PEMEX-2007. Diseño, Instalación y Mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica.
- PDVSA-HA- 201-2010. “Criterios de Diseño para Sistemas de Protección Catódica”.
- NRF-030-PEMEX-2007. Diseño y Construcción de Ducto Terrestres.

Es importante indicar que los diseños desarrollados en esta sección guardarán estrictamente coherencia con los diseños y criterios similares de los diseños definitivos de las líneas de transmisión Palaguillo-Bellavista y Puenbo Calderón.

7.2. FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Se entiende por corrosión la interacción entre un metal con el medio que lo rodea, dando origen al deterioro en sus propiedades físicas y químicas. Las características fundamentales de este fenómeno es que sólo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones identificadas como anódicas y catódicas. En la zona anódica se da la reacción de oxidación en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas y por lo tanto en esta zona se producirá la disolución del metal (corrosión) y en la zona catódica, la inmunidad del metal.

Uno de los medios donde se puede producir la corrosión es en el suelo, el cual es un electrolito que puede contener agua y sales al mismo tiempo, con resistencia específica que varía según el contenido de estos, aumentando o disminuyendo el grado de agresividad del terreno.

Hoy en día, existe una gran cantidad de estructuras metálicas, que por requerimientos de instalación deben estar enterradas y están en contacto con este tipo de electrolito, entre ellas las tuberías de transporte de agua.

La protección catódica es un método utilizado para disminuir la velocidad de corrosión de una superficie metálica, haciendo que la superficie del metal se comporte como un cátodo cuando se encuentra sumergido, o enterrado en un electrolito. Cuando el metal funciona como cátodo en él se desarrolla la reacción de reducción y prácticamente no ocurre corrosión. Antes de aplicar la protección catódica, las estructuras corrosibles presentan áreas catódicas y anódicas (donde la estructura se corroe). El fin de la protección catódica es hacer que todas las áreas anódicas se conviertan en catódicas, y así la estructura completa funcionaría como un cátodo y la corrosión sería eliminada.

7.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Para proteger catódicamente tuberías de acero al carbono enterradas, como es el caso del presente proyecto, de conformidad a las Normas ISO 15589-1:2015, NACE 35108-2008, NACE SP-0169-2007 y NRF-047-PEMEX-2007, se debe cumplir como mínimo con uno de los siguientes criterios:

- El potencial de una tubería de acero con el electrolito o medio corrosivo, medido en la superficie del terreno, debe ser igual o más negativo que $-0,850\text{ V}$ y no más negativo que $-1,200\text{ V}$ para evitar daños al recubrimiento. Este potencial se debe medir con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO_4), en contacto con el electrolito, con el sistema de protección catódica encendido y la corriente eléctrica circulando en el circuito, para minimizar la caída de voltaje el electrodo de referencia se debe colocar lo más cerca posible del ducto.
- Se debe tener un cambio mínimo de 100 mV en el potencial de la tubería de acero, más negativo que el valor del potencial de la tubería de acero con el electrolito o medio corrosivo, medido sin protección catódica (OFF). Este cambio de potencial se debe medir de manera inmediata al apagar el sistema de protección catódica ya que, corresponde a la diferencia entre el valor de potencial que se mide con el sistema de protección catódica apagado instantáneamente o “instant OFF” y el valor de potencial natural que se mide manteniendo el sistema de protección catódica apagado (OFF), ambos con un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO_4). Cuando se interrumpe inicialmente la corriente protectora, ocurrirá una variación de voltaje inmediata. El voltaje después del cambio inmediato será usado como el valor base a partir del cual se mide la pérdida de polarización.

La polarización se define como el cambio de potenciales de una superficie metálica, tanto en sentido negativo como en el positivo, resultante del paso de corriente directa hacia o de un electrodo. La polarización se puede lograr en un tiempo relativamente corto, sin embargo, en otros casos se requiere mayor tiempo de aplicación de la corriente protectora para que los potenciales se vuelvan más negativos.

La despolarización o cambio del potencial en sentido positivo, es el valor que se toma en cuenta cuando se aplica el criterio de protección catódica de variación en sentido positivo de 100 mV al apagar el rectificador.

7.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE PROTECCIÓN CATÓDICA

En la primera fase del proyecto se realizó el análisis de dos tipos de sistemas de protección catódica que pueden utilizarse que son los siguientes:

Corriente impresa: Este sistema consiste en una fuente de energía y un electrodo auxiliar (ánodo) o grupo de ánodos inertes que integran la cama anódica, situados a la distancia determinada por el diseño de la estructura a proteger, en el cual la corriente fluye del ánodo hacia la estructura.

Ánodos galvánicos de sacrificio: Este sistema utiliza como fuente de corriente, la diferencia de potencial entre el material del ánodo y la estructura a proteger. En este sistema, el material de los ánodos se consume dependiendo de la demanda de corriente de protección de la estructura a proteger, la resistividad del electrolito y del material usado como ánodo, durante el proceso de descarga de este.

Para el caso de la protección catódica por corriente impresa se tiene la ventaja de tener un amplio margen de potencial y corriente y se utiliza principalmente para conducciones de gran extensión, sin embargo, estos son sistemas muy costosos y que requieren un mantenimiento complicado y frecuente. También la protección catódica de corriente impresa posibilita, el control automático, de la densidad de corriente que se entrega a la tubería recubierta y el monitoreo continuo del estado de la tubería, juntamente con el sistema SCADA del proyecto.

Por estas razones se ha priorizado el criterio de la protección de la tubería y el aumento de la vida útil de la misma, por lo que, pese a ser más costosa, **se selecciona la protección catódica por corriente impresa**, para controlar la corrosión de la tubería de la Línea de Transmisión de Calderón.

7.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE ÁNODO PARA PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

Para los sistemas de protección de tuberías por corriente impresa, se describirán a continuación los tipos de ánodos utilizados para tal fin. Una de las características principales de este tipo de ánodos es que estos deben poseer bajas tasas de consumo cuando son conectados a una fuente de energía para la protección catódica, entre estos se encuentran:

- **Ánodos de ferrosilicio:** son usados para aplicaciones de protección catódica en tierra y en otros lugares donde la resistencia a la abrasión y otras consideraciones de daños mecánicos son importantes. Son recomendables en terrenos de media y baja resistividad. Estos ánodos están disponibles en barras sólidas, formas tubulares y muchas otras formas en una amplia variedad de tamaños para satisfacer las demandas de aplicaciones específicas.
- **Ánodos de grafito:** estos se utilizan principalmente en terrenos de resistividad media para protecciones catódicas en tuberías bajo tierra, en los cuales, los ánodos pueden ser enterrados en múltiples lechos de ánodos. Debido a la naturaleza frágil del material, el grafito debe ser almacenado y manipulado con cuidado.

- **Metales preciosos** también son utilizados como ánodos de corriente impresa, ya que son electrodos altamente eficientes y pueden manejar corrientes mucho más altas que los ánodos fabricados a partir de otros materiales. Estos ánodos pueden ser titanio platinado o de tantalio, este material está especialmente indicado para instalaciones en agua de mar, incluso en agua dulce y en suelos.
- **Ánodos de cerámica.** Son los materiales más recientes disponibles para los ánodos de protección catódica. Estos ánodos se suministran como recubrimientos de óxido sobre sustratos de metales de transición o como una masa cerámica. Su uso como ánodos de protección catódica para proteger acero reforzado en concreto es nuevo, pero los ánodos de recubiertos de óxido sobre metales de transición se usan en la industria para proteger tanques de agua y estructuras enterradas de acero
- **Ánodos compuestos de óxido y metal (chatarra).** Este tipo de ánodo puede ser utilizado en terrenos de resistividad elevada y es aconsejable que este rodeado de un relleno artificial constituido por carbón de coque. Son usados en ambientes clorados y consisten en una mezcla de dióxido de rutenio y recubrimiento de óxido de titanio sinterizado en un sustrato de titanio puro.
- **Ánodos poliméricos continuo:** se utiliza para la protección y rehabilitación de tuberías enterradas y bases de tanques. Este tipo de ánodo proporciona una protección efectiva y uniforme, con una interferencia mínima de las estructuras adyacentes. En la rehabilitación de tuberías que poseen un revestimiento envejecido y desgastado, es una solución económica por su simple implementación que no interviene en el aumento de la corrosión en la tubería.

Como se puede observar en la Figura 10, los cuatro elementos básicos del ánodo polimérico continuo son:

- Menudo de coque de alto rendimiento que sirve como matriz activa en la cual se producen las reacciones electroquímicas.
- Conductor de cobre que actúa como barra conductora de baja resistencia para suministrar la corriente requerida en una distancia considerable sin incurrir en una disminución del voltaje longitudinal.
- Polímero conductor especial (polietileno lineal de baja densidad) que protege al conductor de cobre de ataques químicos, permitiendo que la corriente fluya a lo largo del mismo, desde el conductor de cobre hasta el medio ambiente.
- Camisa tejida que mantiene el menudo de coque en su lugar alrededor del ánodo. Está diseñado para resistir ataques químicos y permite que la corriente fluya desde el ánodo hasta el suelo circundante.

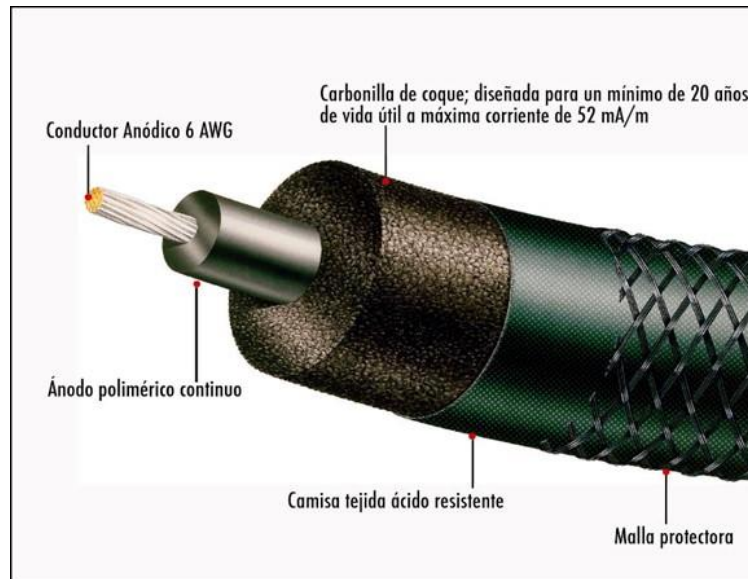


Figura 10: Elementos del ánodo polimérico continuo

Fuente: Ánodo Polimérico Continuo; Osvaldo C. D'Albuquerque, Rubén O. Bracco, 2007.

El ánodo polimérico continuo APC más utilizado se lo conoce como **Anodefex 1500** que, aunque es una marca comercial, es la designación que la mayoría de los fabricantes a nivel mundial utilizan para su comercialización. El Anodefex 1500, es el que se presenta en la Figura 10, es diseñado para una vida útil mínima de 20 años a máxima corriente de 52 mA/m que se entrega al suelo; tiene un conductor anódico # 6 AWG.

A diferencia de otros sistemas de protección catódica convencionales, indicados anteriormente que requieren de un lecho anódico con una masa de ánodos, el ánodo polimérico continuo se coloca en el suelo próximo a la superficie de acero a proteger, brindando una distribución uniforme de la corriente protectora a toda la superficie de acero, manteniendo el potencial dentro del rango de protección como se observa en las Figuras 11 y 12.

Debe mencionarse que el ánodo polimérico continuo que rodea al conductor anódico Cu AWG # 6 está constituido por un polímero semiconductor; si bien los polímeros clásicos son aislantes (por ejemplo, en cables eléctricos), con un procedimiento o «dopaje» se agrega una carga que produce un cambio en su conductividad. En este caso se llega a que el polímero tenga propiedades semiconductoras, no siendo ya aislante.

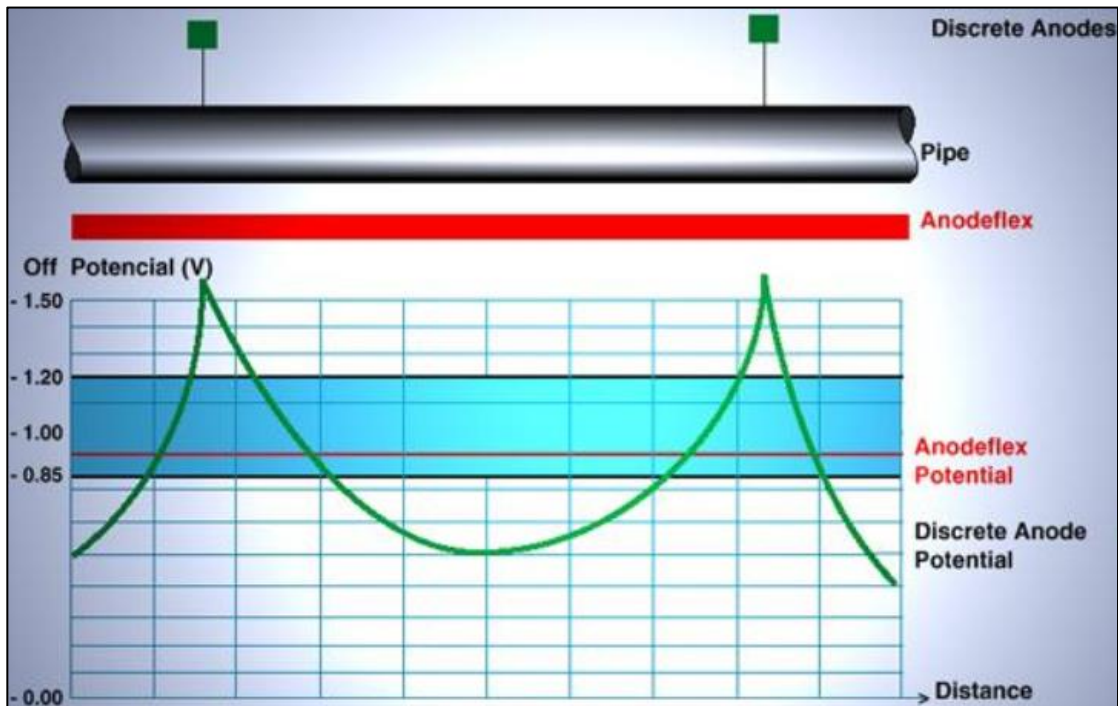


Figura 11: Variación del potencial de los ánodos con corriente impresa
 Fuente: Ánodo Polimérico Continuo; Osvaldo C. D'Albuquerque, Rubén O. Bracco, 2007.

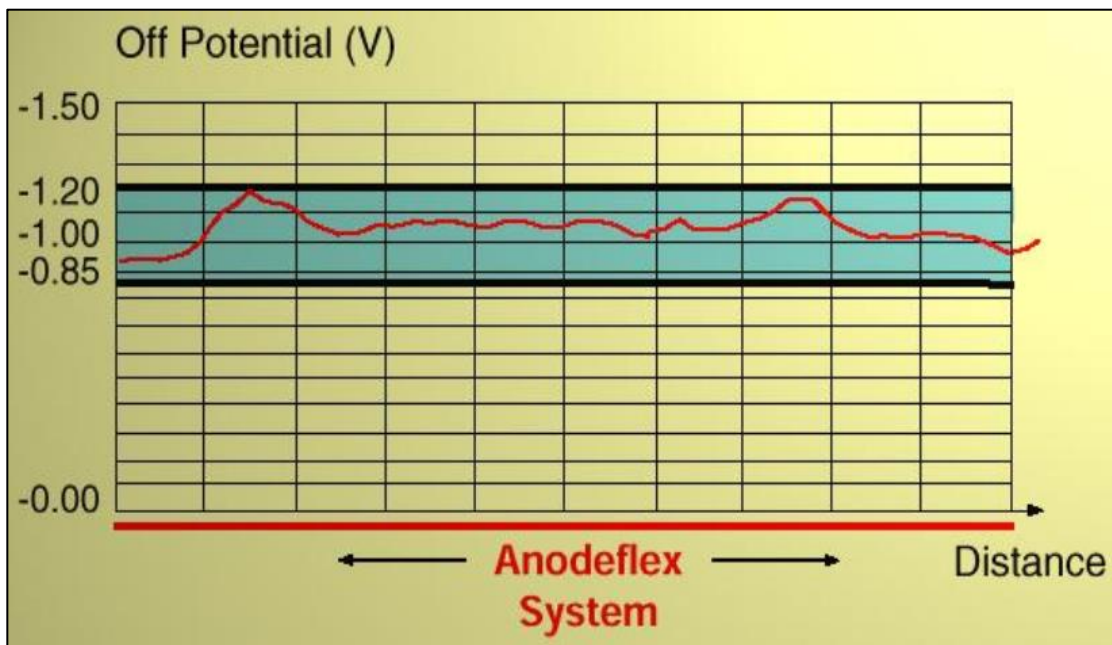


Figura 12: Variación del potencial del ánodo polimérico continuo con la distancia
 Fuente: Ánodo Polimérico Continuo; Osvaldo C. D'Albuquerque, Rubén O. Bracco, 2007.

Como se presenta en las Figura 11 y 12, los ánodos convencionales, dependiendo de la ubicación discreta de las camas anódicas tienen potenciales sobre 1,2 V en los sitios cercanos a la cama anódica y bajo 0,85 V en sitios lejanos, lo que producirá el deterioro del recubrimiento de la tubería o la falta de protección a la corrosión de la tubería, respectivamente.

En cambio, en el caso del ánodo polimérico continuo, al encontrarse paralelo y en la cercanía de la tubería, el potencial se logra mantener dentro del rango entre 0,85 V y 1,2 V, asegurando la protección contra la corrosión de la tubería y evitando también el deterioro del recubrimiento de la tubería por sobre potencial.

Adicionalmente, en la Tabla 29 se presenta un cuadro comparativo de ánodos para protección catódica por corriente impresa.

CUADRO COMPARATIVO PARA ANODOS DE CORRIENTE IMPRESA

TIPO DE ÁNODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ÁNODOS CONVENCIONALES. (Cama anódica discreta)	<ul style="list-style-type: none"> Baja velocidad de consumo de los ánodos. Aplicables en cualquier medio. Capacidad de protección en áreas grandes. Voltaje y amperaje de protección variables. Útil en diseños para cualquier requerimiento de corriente. 	<ul style="list-style-type: none"> Distribución discontinua de potencial. Altos costos de mantenimiento. Para optar por este método, el recubrimiento debe estar en excelentes condiciones, ya de modo contrario podría dañarlo aun mas ocasionando fallas mayores. Altas corrientes de protección podrían dañar el revestimiento y fragilización por hidrógenos.
ÁNODO POLIMÉRICO CONTÍNUO	<ul style="list-style-type: none"> El ánodo se encuentra siempre próximo a la tubería. Distribuye la corriente de manera uniforme a lo largo de toda la tubería. No existen áreas sobreprotegidas ni menos protegidas. Previene el desprendimiento acelerado del revestimiento. Prolonga sustancialmente la vida útil del revestimiento existente. Longitudes de circuito continuas. Menor costo de mantenimiento. Mejora el rendimiento a largo plazo. Dirige la corriente sobre la tubería objetivo. Instalación con equipos de tendido de cables modificados. Instalación de sistema rápida, fácil y eficaz en función de los Costos 	<ul style="list-style-type: none"> Producto importados no existe en mercado local. Menos experiencia en su diseño y uso.

Tabla 26: Comparación de ánodos para protección catódica por corriente impresa
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Todas estas ventajas comparativas determinan que para el presente proyecto se seleccione el **ánodo polimérico continuo** para el sistema de protección catódica por corriente impresa de la Línea de Transmisión de Calderón.

7.6. DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

En el punto anterior de este Informe, correspondiente a la protección catódica de la tubería de la Línea de Transmisión de Calderón, se definieron los fundamentos y criterios de diseño de esta protección catódica y se seleccionó la protección catódica por corriente impresa con ánodo polimérico continuo para el presente proyecto.

En este punto se realizará el diseño a nivel de factibilidad para la mencionada protección catódica por corriente impresa con el uso de ánodo polimérico continuo.

7.6.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

Como se definió en los criterios de diseño, para definir los parámetros de diseño del sistema de protección catódica de las tuberías enterradas, de material de acero al carbono ASTM A 36/A36 M, de la Línea de Transmisión de Calderón, se utilizarán las Normas ISO 15589-1:2015, NACE 35108-2008, NACE SP-0169-2007 y NRF-047-PEMEX-2007, estas normas establecen lo siguiente:

El potencial del tubo – electrolito (suelo en que está enterrado el tubo) debe ser tal que la corrosión se mantenga controlada con un espesor corroído del tubo menor a 0,01 mm por año. Para esto se debe entregar un potencial de protección que cumpla la siguiente condición:

$$E_l \leq E_{irfree} \leq E_p \quad (16)$$

Donde:

Ep: Potencial de protección para la tubería.
Eirfree: Potencial tubería/suelo (electrolito).
El: Potencial crítico límite.

Es decir, el potencial negativo que se debe entregar a la tubería debe ser capaz de convertir el potencial de la tubería de acero con el electrolito o medio corrosivo, medido en la superficie del terreno, cuyo valor debe ser igual o más negativo que -850 mV para proteger efectivamente a la tubería, pero no debe ser más negativo que -1200 mV para evitar daños por la formación de burbujas de hidrógeno que producen desprendimientos del recubrimiento. Este potencial se debe medir con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO₄), en contacto con el electrolito, con el sistema de protección catódica encendido y la corriente eléctrica circulando en el circuito, para minimizar la caída de voltaje el electrodo de referencia se debe colocar lo más cerca posible del ducto.

Otro criterio alternativo de las normas establece un cambio de potencial catódico mínimo de 100 mV en el potencial de la tubería de acero, más negativo que el valor del potencial de la tubería de acero con el electrolito o medio corrosivo, medido sin protección catódica.

El material de la tubería es acero de bajo contenido de carbono ASTM A 36/A36 M.

Anteriormente se han definido los espesores de las paredes de la tubería y las longitudes correspondientes a los tramos de la línea de conducción.

Para la protección interna y externa de la tubería el recubrimiento FBE (Fusion Bonded Epoxi) de acuerdo con la Norma AWWA C 213.

Con un medidor Fluke 1623 y utilizando el método Wenner se realizaron varias medidas de resistividad del suelo, a lo largo del trazado, en que estará enterrada la tubería, obteniendo valores fluctuando entre 10000 Ω .cm y 100000 Ω .cm, que son muy comunes para la sierra ecuatoriana. Sin embargo, no es necesario obtener valores exactos de resistividad porque se está diseñando un sistema de protección catódica por corriente impresa, en que los tableros rectificadores disponen de un control automático, el mismo que, con un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO₄), medirá los valores reales de potencial tubería/suelo (electrolito), los mismos que serán la consigna o referencia para que se pueda regular la densidad de corriente que se debe entregar a la tubería. En el Tabla 30 se presentan justamente los valores de densidad de corriente que se entregarán considerando la tubería sin recubrimiento para el rango de resistividades medidas. Estos valores de la tabla serán utilizados para los cálculos de corriente. Para el cálculo se ha utilizado el método de Peabody con la ecuación:

$$j = 73,73 - 13,35 \cdot \log(\rho) \text{ [}\Omega\text{.cm]} \quad (17)$$

Donde:

- j: Densidad de corriente para la tubería sin recubrimiento [mA/m²].
 p: Resistividad del suelo [Ω .cm].

ρ	j	Va
Ω .cm	mA/m ²	V
10000	20,33	8,13
20000	16,31	13,05
30000	13,96	16,75
40000	12,29	19,67
50000	11,00	22,00
60000	9,94	23,86
70000	9,05	25,33
80000	8,27	26,48
90000	7,59	27,33
100000	6,98	27,92

Tabla 27: Cálculo de la densidad de corriente por el método Peabody
 Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Igualmente, con un medidor de PH PCE-PH20S se realizaron medidas, determinándose un PH promedio de 5,59; este valor, juntamente con los valores de resistividad, hacen posible calificar al suelo, en que estará enterrada la tubería, como de alta resistividad y poco corrosivo.

La superficie revestida de la tubería a proteger catódicamente viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Supc} = \pi * D * L \quad (18)$$

Donde:

Supc: Superficie a ser protegida [m²].
D: Diámetro de la tubería [m].
L: Longitud del tramo de tubería [m].

De conformidad con las normas ya indicadas, se utilizarán dos ecuaciones para el cálculo de la corriente necesaria para la protección catódica de la tubería, con el objeto de seleccionar el valor calculado crítico.

La primera ecuación se basa en el factor de deterioro del recubrimiento y es la siguiente:

$$I_{\text{tot}} = \pi * D * L * k * j * ff \text{ [mA]} \quad (19)$$

En la que:

$$ff = fi + (\Delta f * tdl) \quad (20)$$

Donde:

I_{tot}: Corriente total demandada en el tramo [mA].
D: Diámetro de la tubería [m].
L: Longitud del tramo de tubería [m].
k: Factor de contingencia que debe ser mayor a 1.25.
j: Densidad de corriente para tubería sin recubrimiento [mA/m²].
ff: Factor de deterioro del recubrimiento.
fi: Factor de deterioro anual de la Tabla 31.
 Δf : Incremento del deterioro por año de la Tabla 31.
Tdl: Vida útil de diseño para este caso 30 años.

Revestimiento de la tubería	fi	Δf
Fusion Bonded Epoxi (FBE)	0,005	0,003
3LPE	0,001	0,0003
3LPP	0,001	0,0003
Liquid epoxi	0,008	0,01
Coal tar urethane	0,008	0,01

Tabla 28: Factores de deterioro del recubrimiento

Fuente: Normas ISO 15589-1:2015.

Para el recubrimiento de la tubería de Fusion Bonded Epoxi (FBE), corresponden los valores de $f_i = 0,005$ y $\Delta f = 0,003$. Para el factor de contingencia se cumple la recomendación, utilizando un valor de 1.3.

La segunda ecuación se basa en la densidad de corriente para tuberías recubiertas y es la siguiente:

$$I_{tot} = \pi * D * L * k * j_c \text{ [mA]} \quad (21)$$

Donde:

- I_{tot} : Corriente total demandada en el tramo [mA].
- D: Diámetro de la tubería [m].
- L: Longitud del tramo de tubería [m].
- k: Factor de contingencia que debe ser mayor a 1.25.
- j_c : Densidad de corriente para tubería con recubrimiento [mA/m²], Tabla 32.

Revestimiento de la tubería	Densidad de corriente para diseño optimizado (j_c)	Densidad de corriente para diseño conservador (j_c)
	mA/m ²	mA/m ²
Fusion Bonded Epoxi (FBE)	0,02 a 0,2	0,4 a 0,7
3LPE	0,001 a 0,02	0,05 a 0,2
3LPP	0,001 a 0,03	0,05 a 0,3
Coal tar urethane	0,2 a 0,3	0,3 a 0,8

Tabla 29: Densidad de corriente de diseño

Fuente: Normas ISO 15589-1:2015.

Para el recubrimiento de la tubería de Fusion Bonded Epoxi (FBE), se escoge, por seguridad, el valor más crítico que corresponde a un diseño de $j_c = 0,7$. Para el factor de contingencia se cumple la recomendación, utilizando un valor de 1.3.

La ecuación que permite calcular el potencial que debe tener el ánodo de la protección catódica es la siguiente:

$$V_a = F_{res} * I_{tot} * \rho * d_{at} / A_f \quad [\text{VDC}] \quad (22)$$

Donde:

- Va: Potencial del ánodo en el tramo [VDC].
- ρ : Resistividad del suelo [$\Omega \cdot \text{cm}$].
- dat: Distancia entre el ánodo y la tubería [cm].
- Itot: Corriente total demandada en el tramo [A].
- Af: Área de flujo de corriente [cm^2].
- Fres: Factor de reserva con un valor igual a 2.

7.6.2. DISEÑO DE COMPONENTES DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Anteriormente, por las grandes ventajas comparativas, porque es recomendado para suelos de alta resistividad y en base a las lecturas realizadas de resistividad del suelo (10000 a 100000 $\Omega \cdot \text{cm}$) se seleccionó el ánodo polimérico continuo APC para el sistema de protección catódica por corriente impresa de la Línea de Transmisión de Calderón. El ánodo polimérico continuo APC más utilizado se lo conoce como Anodefex 1500 que, aunque es una marca comercial, es la designación que la mayoría de los fabricantes a nivel mundial utilizan para su comercialización. El Anodefex 1500, es diseñado para una vida útil mínima de 20 años a máxima corriente de 52 mA/m que se entrega al suelo; tiene un conductor anódico # 6 AWG.

El Anodefex 1500 está enterrado en el suelo, paralelo y próximo a la superficie de la tubería de acero que debe proteger, para este caso se encontrará a 20 cm de la tubería, como se indica en la Figura 13. Igualmente es necesario realizar una división de la longitud de la tubería de la Línea de Transmisión de Calderón, en tramos como se indica en la Tabla 33. Cabe indicar que el Anodefex 1500 viene en carretes de 500 metros.

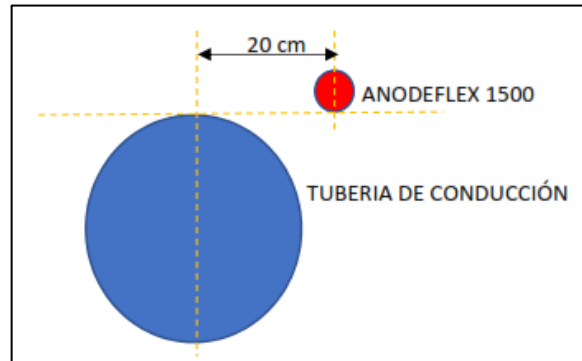


Figura 13: Ubicación del ánodo polimérico continuo respecto a la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

TRAMO	ABSCISA INICIAL	LONGITUD (metros)
RECTIFICADOR PROTECCION CATÓDICA (RPC1)		
1	Desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Calderón hasta los tanques de San Juan de Calderón	3537
RECTIFICADOR PROTECCION CATÓDICA (RPC2)		
2	Desde los tanques de San Juan de Calderón hasta los tanques de San José de Morán	3927
RECTIFICADOR PROTECCION CATÓDICA (RPC3)		
3	Desde los tanques de San José de Morán hasta los tanques de San Miguel de Común	3629
LONGITUD TOTAL APC		11093
NUMERO DE CARRETES DE 500 m DE APC		22

Tabla 30: División en tramos de protección catódica con APC

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Se había indicado anteriormente que la resistividad del suelo, a lo largo del trazado, en que estará enterrada la tubería, tiene valores que fluctúan entre 10000 $\Omega \cdot \text{cm}$ y 100000 $\Omega \cdot \text{cm}$, que son muy comunes para la sierra ecuatoriana y que no era necesario obtener valores exactos de resistividad porque se está diseñando un sistema de protección catódica por corriente impresa, en que los tableros rectificadores disponen

de un control automático, el mismo que, con un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO₄), medirá los valores reales de potencial tubería/suelo (electrolito), con los que se puede determinar la consigna o referencia para que se pueda regular la densidad de corriente que se debe entregar a la tubería y el potencial del ánodo polimérico flexible.

En el Tabla 34 se presentan los valores de densidad de corriente j , que se calcula con la ecuación 17 (método Peabody); y, el potencial V_a que debe tener el ánodo de la protección catódica, calculado con la ecuación 22; para el rango de resistividades determinado para el suelo:

ρ	j	V_a
$\Omega.cm$	mA/m^2	VDC
10000	20,33	8,13
20000	16,31	13,05
30000	13,96	16,75
40000	12,29	19,67
50000	11,00	22,00
60000	9,94	23,86
70000	9,05	25,33
80000	8,27	26,48
90000	7,59	27,33
100000	6,98	27,92

Tabla 31: Cálculo de la densidad de corriente j [mA/m^2] y potencial del APC V_a
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Por tanto, para los cálculos siguientes se utilizará un potencial de APC igual a 30 VDC que asegura un factor de reserva adecuado.

7.6.2.1. Potenciales y corrientes de protección catódica Tramo 1

De conformidad con las ecuaciones, parámetros y tablas indicadas anteriormente se han desarrollado los siguientes cálculos de los potenciales y corrientes de la protección catódica por corriente impresa, que se presentan en las Tablas 35, 36 y 37:

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
D	m	0,80
L	m	3537,00
k		1,30
j	mA/m^2	20,33
f_i		0,0050
Δf		0,0030
tdl	años	30,00
ff (9-5)		0,0950
Π_{TOT} (9-4)	mA	22319,232
Π_{TOT}	A	22,319
I	mA/m	6,31

Tabla 32: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 1 (Ecuación 19)
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
D	m	0,80
L	m	3537,00
k		1,30
jC	mA/m ²	0,70
ITOT (9-6)	mA	8089,400
ITOT	A	8,089
I	mA/m	2,29

Tabla 33: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 1 (Ecuación 21)
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

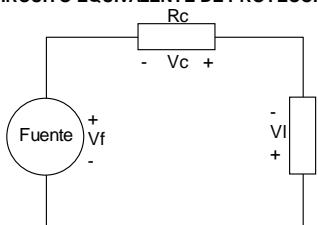
CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES	CIRCUITO EQUIVALENTE DE PROTECCIÓN CATÓDICA
Resistividad del cobre [ρ]: 0,018 $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$ Distancia del tramo [L]: 3537 m Tipo de carga: <input type="radio"/> Vatios <input checked="" type="radio"/> Amperio Voltaje del sistema [Vf]: 30 VDC Calibre del cable: 6 Diámetro del cable: 4,11 mm Área de cable [A]: 13,27 mm ² Resistencia del ánodo [Ri]: 9,60 Ω Corriente del sistema [In]: 13,189 A Resistencia de carga [Rc]: 300 Ω Voltaje en terminales [Vi]: 29,07 VDC Regulación [ΔV%]: 3,10 %	 $V_i = \frac{R_i}{R_i + R_c} V_f$ $R_c = 2 \frac{\rho L}{A}$ $R_i = \frac{V_f}{I_n}$ $\Delta V\% = 100 \left[1 - \left(\frac{V_i}{V_f} \right) \right]$

Tabla 34: Caída de tensión en conductores # 6 AWG Tramo 1
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

7.6.2.2. Potenciales y corrientes de protección catódica Tramo 2

De conformidad con las ecuaciones, parámetros y tablas indicadas anteriormente se han desarrollado los siguientes cálculos de los potenciales y corrientes de la protección catódica por corriente impresa, que se presentan en las Tablas 38, 39 y 40:

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
D	m	0,50
L	m	3927,00
k		1,50
j	mA/m ²	20,33
fi		0,0050
Δf		0,0030
tdl	años	30,00
ff (9-5)		0,0950
ITOT (9-4)	mA	17870,348
ITOT	A	17,870
I	mA/m	4,55

Tabla 35: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 2 (Ecuación 19)
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
D	m	0,50
L	m	3927,00
k		1,50
jC	mA/m ²	0,70
ITOT (9-6)	mA	6476,943
ITOT	A	6,477
I	mA/m	1,65

Tabla 36: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 2 (Ecuación 21)
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

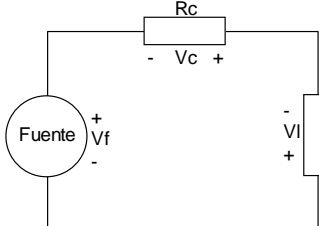
CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES		CIRCUITO EQUIVALENTE DE PROTECCIÓN CATÓDICA	
Resistividad del cobre [ρ]:	0,018 $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$		
Distancia del tramo [L]:	3927 m		
Tipo de carga	20 A		
<input type="radio"/> Vatios <input checked="" type="radio"/> Amperio			
Voltaje del sistema [Vf]:	30 VDC		
Calibre del cable:	6		
Diámetro del cable:	4,11 mm		
Area de cable [A]:	13,27 mm ²		
Resistencia del ánodo [Ri]	10,66 Ω		
Corriente del sistema [In]:	12,205 A		
Resistencia de carga [Rc]	400 Ω	$V_i = \frac{R_i}{R_i + R_c} V_f$ $R_c = 2 \frac{\rho L}{A}$ $R_i = \frac{V_f}{I_n}$ $\Delta V\% = 100 \left[1 - \left(\frac{V_i}{V_f} \right) \right]$	
Voltaje en terminales [VI]	29,22 VDC		
Regulación [ΔV%]:	2,59 %		

Tabla 37: Caída de tensión en conductores # 6 AWG Tramo 2
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

7.6.2.3. Potenciales y corrientes de protección catódica Tramo 3

De conformidad con las ecuaciones, parámetros y tablas indicadas anteriormente se han desarrollado los siguientes cálculos de los potenciales y corrientes de la protección catódica por corriente impresa, que se presentan en las Tablas 44, 45 y 46:

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
D	m	0,15
L	m	3629,00
k		1,30
j	mA/m ²	20,33
fi		0,0050
Δf		0,0030
tdl	años	30,00
ff (9-5)		0,0950
ITOT (9-4)	mA	4293,707
ITOT	A	4,294
I	mA/m	1,18

Tabla 38: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 3 (Ecuación 19)
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
D	m	0,15
L	m	3629,00
k		1,30
jC	mA/m ²	0,70
ITOT (9-6)	mA	1556,215
ITOT	A	1,556
I	mA/m	0,43

Tabla 39: Cálculo de la corriente para PC del Tramo 3 (Ecuación 21)
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

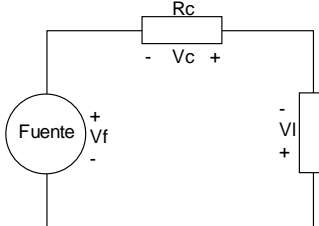
CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES	CIRCUITO EQUIVALENTE DE PROTECCIÓN CATÓDICA
Resistividad del cobre [ρ]: 0,018 $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$	 <p>Ánodo polimérico Longitud 3629 m</p> $V_i = \frac{R_i}{R_i + R_c} V_f$ $R_c = 2 \frac{\rho L}{A}$ $R_i = \frac{V_f}{I_n}$ $\Delta V\% = 100 \left[1 - \left(\frac{V_i}{V_f} \right) \right]$
Distancia del tramo [L]: 3629 m	
Tipo de carga: <input type="radio"/> Vatios <input checked="" type="radio"/> Amperio	
Corriente [I]: 20 A	
Voltaje del sistema [Vf]: 30 VDC	
Calibre del cable: 6	
Diámetro del cable: 4,11 mm	
Area de cable [A]: 13,27 mm ²	
Resistencia del ánodo [Ri]: 9,85 Ω	
Corriente del sistema [In]: 13,547 A	
Resistencia de carga [Rc]: 350 Ω	
Voltaje en terminales [VI]: 29,18 VDC	
Regulación [ΔV%]: 2,74 %	

Tabla 40: Caída de tensión en conductores # 6 AWG Tramo 3
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

7.6.2.4. Diseño de rectificadores de protección catódica RPC

De conformidad con los cálculos realizados para los diferentes tramos se establece que las corrientes que se deben entregar en cada uno de los tramos tienen valores menores que 30 A en el Tramo 1, 2 y 3, así como, el potencial requerido en el ánodo polimérico continuo para cada uno de los tramos es inferior a 30 VDC.

Para la longitud de cada tramo, con la utilización del cable # 6 AWG, tanto en lo que corresponde al conductor del Anodeflect 1500, como al conductor que conecta el ánodo con él rectificador y este con la tubería, se ha calculado pérdidas de potencial menores al 5%, lo que permite asegurar que el control automático del rectificador pueda regular el potencial requerido para una correcta entrega de la corriente de protección.

Con estos criterios se han seleccionado y ubicado los siguientes rectificadores de protección catódica, presentados en la Tabla 47:

RECTIFICADOR	TRAMO	AMPERAJE MÁXIMO	VOLTAJE MÁXIMO	POTENCIA
		A	VDC	W
RECTIFICADOR PROTECCION CATÓDICA (RPC1)	1	30	30	900
RECTIFICADOR PROTECCION CATÓDICA (RPC2)	2	30	30	900
RECTIFICADOR PROTECCION CATÓDICA (RPC3)	3	30	30	900

Tabla 41: Selección y ubicación de rectificadores de protección catódica
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Cada uno de los rectificadores de protección catódica por corriente impresa tendrán una alimentación monofásica de 220/127 VAC.

Los rectificadores deben contar con dos modos de operación:

- El modo automático en que la salida de poder es proporcional al control de la señal (Set Point) y tiene un control de bucle cerrado que permite mantener los ajustes de potencial estables de forma continua.
- El modo manual en que la potencia de salida es proporcional al control de señal y carga, dependiendo de los ajustes a los valores de corriente y voltaje. Una vez que se ha seleccionado el deseado, el sistema deberá trabajar en modo de corriente constante.

El módulo de control permite llevar a cabo el control y monitoreo en tiempo real de parámetros a través de un módulo de un display digital que muestra los parámetros voltaje de salida, corriente de salida y potencial con referencia a un electrodo permanente. La capacidad de regulación del potencial debe ser de entre 0 y 30 VDC.

En la Figura 14 se presentan los componentes principales del rectificador de protección catódica por corriente impresa:

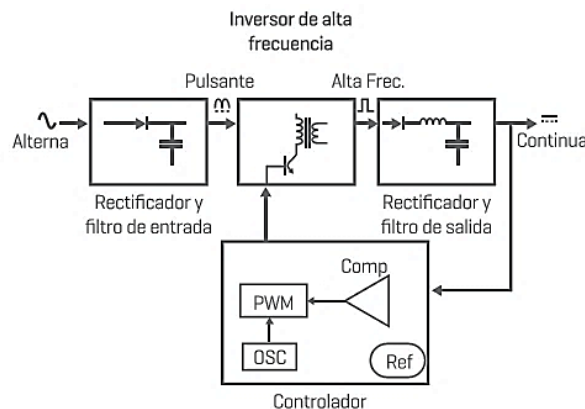


Figura 14: Componentes del rectificador de protección catódica
Fuente: Manual de fabricante.

El rectificador debe disponer de un módulo exclusivo ModBus para la integración del rectificador a un sistema SCADA de la línea de conducción Puenbo Calderón.

Cada tramo definido para la protección catódica debe disponer, a 10 metros de la conexión del APC con el cable que conecta con la salida positiva del rectificador, de un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO₄), con el que se medirán los valores reales de potencial tubería/suelo (electrolito), los mismos que serán la consigna o referencia para que el módulo de control del rectificador pueda regular la densidad de corriente correcta que se debe entregar, para la protección adecuada de la tubería.

En la Figura 15 se presentan el diagrama unifilar del RPC.

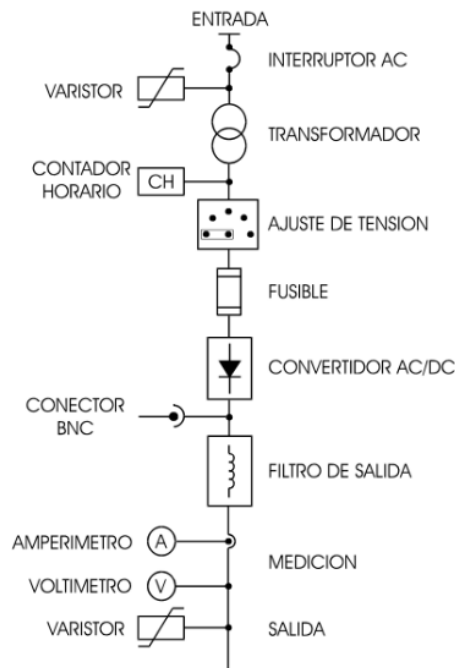


Figura 15: Diagrama unifilar del RPC

Fuente: Manual de fabricante.

7.7. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS CONVENCIONALES DE CAMA ANÓDICA

Se incluye este punto a pedido de la EPMAPS, en cumplimiento de la recomendación del Ing. José Littuma Msc. del Memorando EPMAPS-UECH-2021-054 en que se solicita “Analizar la condición económica de la implementación de la protección catódica con ánodos convencionales de cama anódica”.

7.7.1. DISEÑO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS CONVENCIONALES DE CAMA ANÓDICA

En el presente proyecto se seleccionó y realizaron los diseños definitivos con el ánodo polimérico continuo para el sistema de protección catódica por corriente impresa de la Línea de Transmisión de Calderón. En la Tabla 29 se realizó una comparación entre las características técnicas de la protección catódica por corriente impresa con el uso de ánodo polimérico continuo respecto al uso de ánodos convencionales de cama anódica discreta. Para poder realizar el análisis

de la condición económica de la implementación de la protección catódica por corriente impresa con ánodos convencionales de cama anódica, en este punto se desarrollarán los diseños considerando el uso de este tipo de ánodos, utilizando para ello los mismos criterios y valores de parámetros de diseño que ya se han determinado y calculado.

En el punto 7.5 de este Informe se indican y describen los ánodos convencionales de cama anódica discreta utilizados en protección catódica por corriente impresa. En nuestro país, por la facilidad de conseguir en el mercado y por su bajo costo se utilizan con mayor frecuencia los ánodos de ferrosilicio (Fe-Si-Cr) y la chatarra de acero, sin embargo, las propiedades de los de ferrosilicio son mejores a los de la chatarra de acero como puede apreciarse en la Tabla 48 siguiente:

Anodos de Corriente Impresa						
Propiedad	Fe-Si-Cr	Grafito	Niobio platinizado	Titanio Activado	Chatarra de acero	MMO
Consumo aproximado (kg/A.año)						
Agua de mar	1,0	N	8.63×10^{-6}	0,0005	9,1	1×10^{-6}
Suelo	1,0	0,20	1×10^{-6}	0,0071	9,1	
Fondo del Lago	1,3	N			9,1	
Densidad de corriente Máxima recomendada (mA/cm²)						
Agua de mar	0,5	N	40	60	L	
Suelo	0,5	N	40	11	L	
Fondo del Lago	1,0	0,15	0,15	10	0,5	
Voltaje máximo permitido (V)						
Agua de mar	N/L	N	60	N/L	L	
Suelo	N/L	N	N/L	N/L	L	
Fondo del Lago	N/L	N/L	N/L	N/L	L	
Factor de utilización Recomendado (F_{utilización})	0,85	0,85	0,90	0,90	0,75	
Nota: N: No recomendado						
L : Si está colgado en agua, no hay límite						
N/L: Sin límite						

Tabla 42: Propiedades de ánodos convencionales

Fuente: PDVSA-HA- 201-2010.

Además, a intensidades bajas de corrientes (< 1 A), tienen una vida muy grande y su capacidad máxima de salida de corriente es de unos 12 a 15 A por ánodo, su consumo oscila, a intensidades de corriente altas, entre 0.1- 0.3 kg/A-año. Estas ventajas comparativas determinan que se seleccionen los ánodos de ferrosilicio (Fe-Si-Cr) para el análisis la condición económica de la implementación de la protección catódica con ánodos convencionales de cama anódica.

Un esquema de los ánodos de Ferrosilicio se los puede determinar en la Figura 16 siguiente:

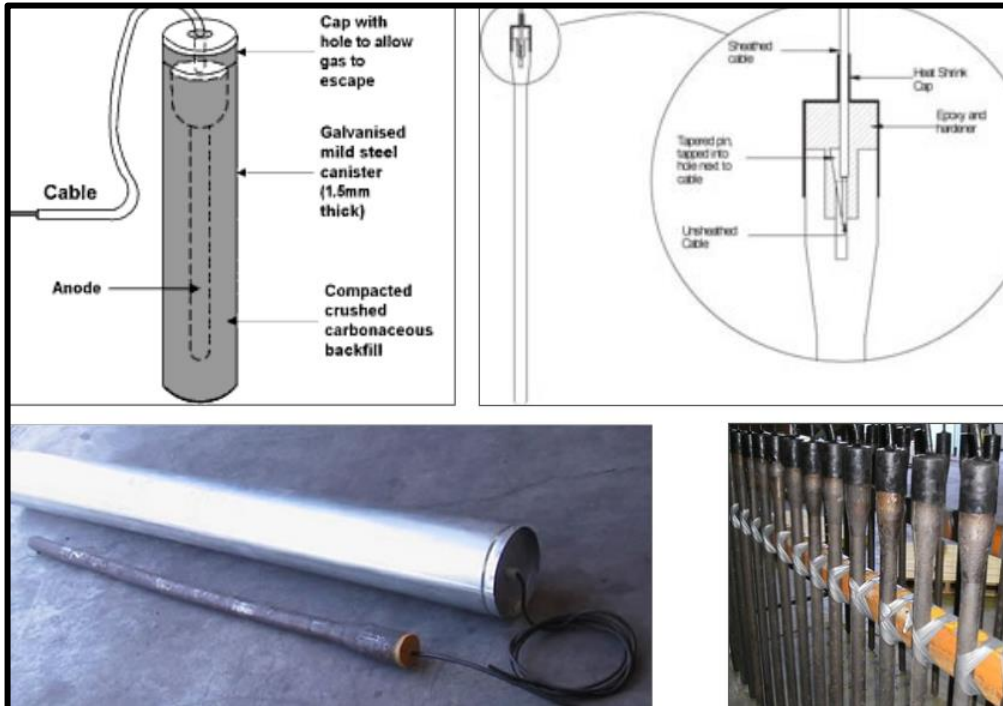


Figura 16: Esquema 1 de los ánodos de Ferrosilicio

Fuente: Manual de fabricante.

La composición química de los ánodos de ferrosilicio cromo que se utilizan para protección catódica con corriente impresa se presenta en la Tabla 49 siguiente:

Elemento	Contenido en % Peso)	Método de prueba
Carbón (C)	0,70 – 1,10	ASTM E350-95(2005).
Manganeso (Mn)	1,50 máximo	
Silicio (Si)	14,20 – 14,75	
Cromo (Cr)	3,25 – 5,00	
Molibdeno (Mo)	0,20 máximo	
Cobre (Cu)	0,50 máximo	
Hierro (Fe)	76,95 – 81,85	

Tabla 43: Composición química de ánodos de ferrosilicio

Fuente: Norma ISO 15589-1:2015.

Las propiedades electroquímicas de estos ánodos de ferrosilicio cromo se presentan en la Tabla 50 siguiente:

Elemento	Contenido en % Peso)	Método de prueba
Carbón (C)	0,70 – 1,10	ASTM E350-95(2005).
Manganeso (Mn)	1,50 máximo	
Silicio (Si)	14,20 – 14,75	
Cromo (Cr)	3,25 – 5,00	
Molibdeno (Mo)	0,20 máximo	
Cobre (Cu)	0,50 máximo	
Hierro (Fe)	76,95 – 81,85	

Tabla 44: Propiedades electroquímicas de los ánodos de ferrosilicio

Fuente: Norma ISO 15589-1:2015.

En el mercado, los ánodos seleccionados se los conoce como ánodos de ferrosilicio de grado 3 (Fe-Si-Cr); como ejemplo en la Tabla 51 se presentan la composición y propiedades de ánodos de ferrosilicio existentes en el mercado.

Composición	Grado 1 (SiFe aleación)	Grado 3 (SiFeCr aleación)	BS1591
Carbono %	0,65-1,10	0,70-1,10	1.40max
Manganeso-%	1,50 max	1,50 max	0.50max
Del %	14,20-14,75	14,20-14,75	14,25-15,25
Cromo %	0,50 max	3,25-5,00	0.50max
Molibdeno %	0,50 max	0,20 max	N/A
Cobre %	0,50 max	0,50 max	N/A
Azúfre %	N/A	N/A	0.10max
Fósforo %	N/A	N/A	0.25max
De hierro %	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio
La densidad de corriente en el suelo/agua	10Amp cuadrado/metro		
Densidad de corriente de agua salada	30-50Amp/metro cuadrado		
Tasa de consumo en el suelo/agua	0,15 kg/amperio-año		
La tasa de consumo de sal en agua	0,5 kg/amperio-año		

Tabla 45: Composición y propiedades de los ánodos de ferrosilicio comerciales
Fuente: Catálogos de fabricantes.

En la Figura 17 se presenta un esquema de los ánodos de ferrosilicio grado 3.

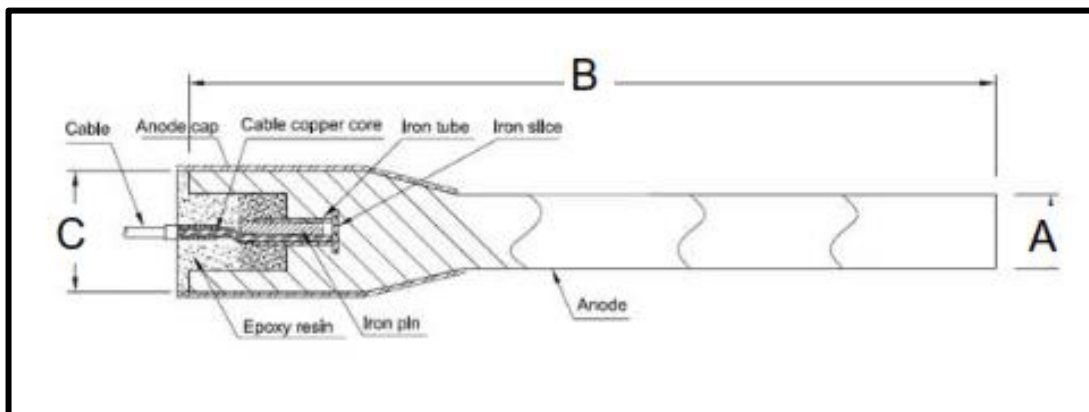


Figura 17: Esquema 2 de los ánodos de Ferrosilicio
Fuente: Manual de fabricante.

En el mercado se encuentran de diferentes dimensiones y peso, como se puede observar en el ejemplo de la Tabla 52, sin embargo, se pueden seleccionar los ánodos con las dimensiones que más fácilmente se puedan encontrar en el mercado o sean los de menor costo, puesto que lo importante es la masa anódica completa, correspondiente a la suma del número de ánodos requeridos, la que se calculará más adelante.

Especificación (mm)		Superficie	Peso Nominal
$\Phi A \times B$	ΦC	m ²	kg
38x1220	63	0,15	10,5
38x1524	63	0,19	13
51x1220	76	0,2	18
51x1524	76	0,25	22
76x1220	102	0,3	40
76x1524	102	0.37	49

Tabla 46: Dimensiones de los ánodos de ferrosilicio comerciales

Fuente: Catálogos de fabricantes.

Los ánodos de ferrosilicio, en el número que correspondan a la masa anódica requerida deber ser enterrados en un lecho o cama anódica y se debe utilizar como material de relleno carbón de coque pulverizado, cumpliendo las disposiciones de las normas, como se presenta en la Figura 18 siguiente:

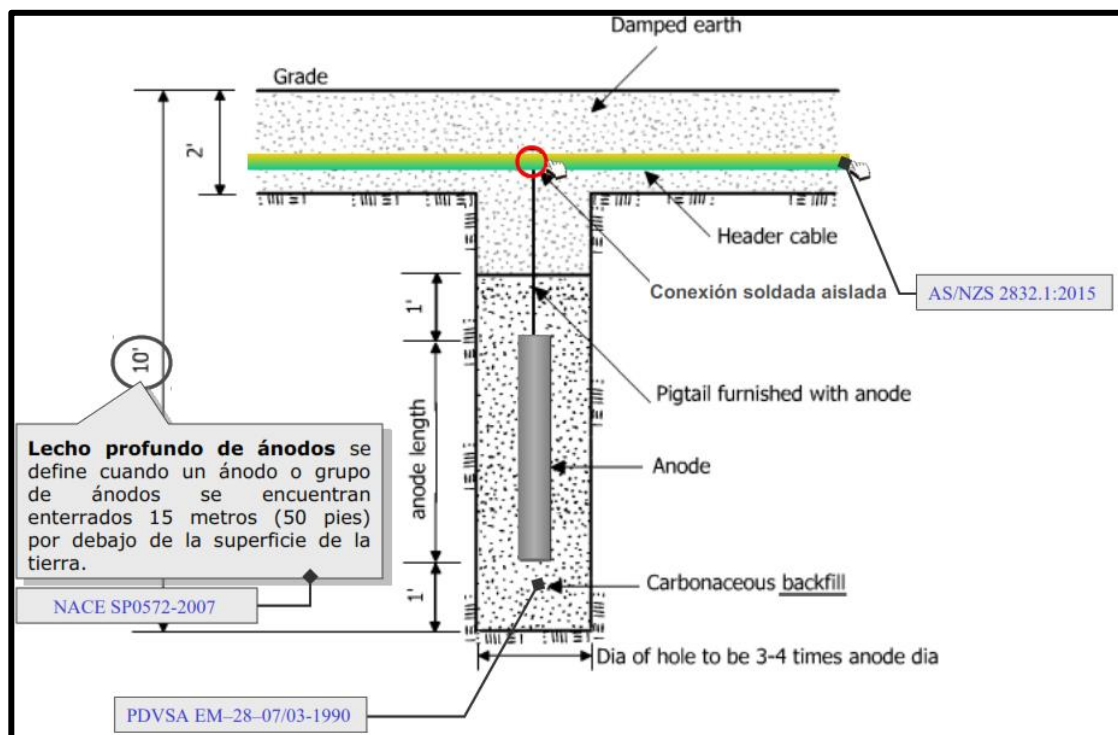


Figura 18: Cama anódica con ánodos de Ferrosilicio Fe-Si-Cr

Fuente: Manual de fabricante.

Como se indicó anteriormente, para los diseños de la protección catódica por corriente impresa con los ánodos de ferrosilicio en cama anódica, se utilizarán los mismos valores de parámetros de diseño que ya se han determinado y calculado en los diseños con ánodo polimérico continuo.

Por lo tanto, se mantiene la división en 3 tramos presentada anteriormente en la Tabla 33, así como, los criterios de diseño, cálculos, valores de potenciales, corrientes y demás parámetros determinados para cada uno de estos tramos.

Considerando las corrientes de protección catódica, requerida por cada uno de los tres tramos se determina la masa anódica requerida por tramo, considerando una vida útil de 30 años. Se seleccionan ánodos de ferrosilicio (Fe-Si-Cr) con una masa de 30 kg cada uno, con dimensiones fácilmente existentes en el mercado; y, considerando de conformidad a las normas una separación de 100 m entre las camas anódicas con los ánodos, se calcula el número de ánodos por tramo. Estos valores se presentan en la Tabla 50 siguiente:

TRAMO	ABSCISA INICIAL	LONGITUD (metros)	MASA ANÓDICA (kg)	NÚMERO DE ÁNODOS
1	Desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Calderón hasta los tanques de San Juan de Calderón	3537	670	22
2	Desde los tanques de San Juan de Calderón hasta los tanques de San José de Morán	3927	743	25
3	Desde los tanques de San José de Morán hasta los tanques de San Miguel de Común	3629	687	23
TOTAL:		11093	2100	70

Tabla 47: Determinación de la masa anódica y número de ánodos por tramo

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Con lo cual, en la Tabla 51 se presentan las características técnicas y cantidades para los ánodos de ferrosilicio y las camas anódicas.

Tipo: Ánodos de ferrosilicio de Grado 3 (Fe-Si-Cr)

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Consumo del ánodo	kg/(A-año)	1,00
Masa por ánodo	kg	30,00
Espaciamiento entre ánodos mínimo	m	100,00
Masa anódica Tramo 1	kg	670,00
Número de ánodos Tramo 1		22,00
Masa anódica Tramo 2	kg	743,00
Número de ánodos Tramo 2		25,00
Masa anódica Tramo 3	kg	687,00
Número de ánodos Tramo 3		23,00
Masa anódica total	kg	2100,00
Número total de ánodos		70,00
La separación de los ánodos respecto a la tubería de acero por proteger, no debe ser menor de 50 m		
Los ánodos deben ser enterrados a profundidad 3 m, en una cama anódica rellena carbón de coque pulverizado, espesor mínimo de relleno por todos los lados 0.3 m		

Tabla 48: Características técnicas y cantidades para los ánodos de ferrosilicio

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Los rectificadores de protección catódica son los mismos dimensionados y presentados en la Tabla 47 anterior.

Por cada tramo se debe disponer de un poste tipo "R" o "RA" que es un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO₄), para la medición de potenciales respecto a los postes, se utilizarán voltímetros o multímetros digitales en los rectificadores de protección catódica, con las siguientes características

mínimas: impedancia de entrada de 10 MΩ, exactitud de ± 1, porcentaje +1, sensibilidad de 2 V y resolución de 0,0001 V.

En las Tablas 52 y 52 se presentan las especificaciones del cable anódico y los cables catódicos necesarios para este sistema de protección catódica:

Cable anódico de cobre electrolítico sólido

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Calibre	4 AWG	
Longitud del cable anódico Tramo 1	m	3537,00
Longitud del cable anódico Tramo 2	m	3927,00
Longitud del cable anódico Tramo 3	m	3629,00
Longitud del cable anódico Total	m	11093,00
Aislamiento de doble forro de polietileno negro de alto peso molecular para 600 V, 75 °C y cubierta negra de PVC		
Las conexiones se realizarán con soldaduras de tipo exotérmica (CADWELD o aluminotermia)		
Se requieren 10 conexiones con cable de cobre AWG 4 pasante a la superficie horizontal de los ánodos de ferrosilicio, con moldes thermoweld de tipo CS9		

Tabla 49: Características técnicas y cantidades para cable anódico

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Cables catódicos de cobre electrolítico sólido

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Calibre	4 AWG	
Longitud cable catódico para tubería de acero Tramo 1	m	50,00
Longitud cable catódico para tubería de acero Tramo 2	m	50,00
Longitud cable catódico para tubería de acero Tramo 3	m	50,00
Longitud cable catódico para tubería de acero Total	m	150,00
Longitud cable catódico para poste tipo "R" o "RA" Tramo 1	m	10,00
Longitud cable catódico para poste tipo "R" o "RA" Tramo 2	m	10,00
Longitud cable catódico para poste tipo "R" o "RA" Tramo 3	m	10,00
Longitud cable catódico para poste tipo "R" o "RA" Total	m	30,00
Aislamiento de doble forro de polietileno negro de alto peso molecular para 600 V, 75 °C y cubierta negra de PVC		
Las conexiones se realizarán con soldaduras de tipo exotérmica (CADWELD o aluminotermia)		
Se requieren 2 conexiones con cable de cobre AWG 4 terminal ascendente a tubo de presión de acero, con moldes thermoweld de tipo CS3H		

Tabla 50: Características técnicas y cantidades para cables catódicos

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

7.7.2. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO COMPARATIVO

En la Tabla 54 se presentan los costos aproximados estimados de la protección catódica por corriente impresa con ánodo polimérico continuo APC.

COSTOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA CON ÁNODO POLIMÉRICO CONTÍNUO					
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANT	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ingeniero	1	30,00	30,00	70	2100,00
Técnico electromecánico	1	10,00	10,00	70	700,00
Ayudante	2	7,00	14,00	70	980,00
SUBTOTAL					3780,00
EQUIPOS Y MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Carretes de 500 m de ánodo polimérico continuo APC	u	22	33000,00	726000,00	
Rectificadores de protección catódica RPC	u	3	6500,00	19500,00	
Control de resistividad del suelo	u	3	250,00	750,00	
Cable alimentador monofásico de baja tensión	m	150	12,30	1845,00	
Miscelaneos	u	3	50,00	150,00	
SUBTOTAL					748245,00
INSTALACIÓN Y MONTAJE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Materiales de instalación y montaje	u	3	100,00	300,00	
Equipos	u	1	50,00	50,00	
SUBTOTAL					350,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Camioneta	1	10	100,00	1000,00	
SUBTOTAL					1000,00
SUBTOTAL USD					753375,00
IMPREVISTOS 10%					75337,50
COSTO TOTAL USD					828712,50

Tabla 51: Costos aproximados estimados de la protección catódica por corriente impresa con ánodo polimérico continuo

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

En la Tabla 55 se presentan los costos aproximados estimados de la protección catódica por corriente impresa con ánodos convencionales en cama anódica.

COSTOS APROXIMADOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS CONVENCIONALES EN CAMA ANÓDICA					
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANT	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Ingeniero	1	30,00	30,00	280	8400,00
Técnico electromecánico	1	10,00	10,00	280	2800,00
Ayudante	2	7,00	14,00	280	3920,00
SUBTOTAL					15120,00
EQUIPOS Y MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Rectificadores de protección catódica RPC	u	3	6500,00	19500,00	
Ánodos de ferrosilicio de Grado 3 (Fe-Si-Cr)	u	70	165,00	11550,00	
Material de relleno para camas anódicas	kg	3200	32,00	102400,00	
Cable anódico de cobre electrolítico sólido AWG 4	m	11093	3,95	43817,35	
Cable catódico para tubería de acero AWG 4	m	180	3,95	711,00	
Cable catódico para poste tipo "R" o "RA" AWG 4	m	30	3,95	118,50	
Poste tipo "R" o "RA" de referencia de Cu/CuSO4	u	3	25,00	75,00	
Conexiones para cable anódico	u	70	34,00	2380,00	
Conexiones para cables catódicos	u	6	56,00	336,00	
Miscelaneos	u	1	500,00	500,00	
SUBTOTAL					181387,85
INSTALACIÓN Y MONTAJE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Materiales de instalación y montaje	u	1	2500,00	2500,00	
Equipos	u	1	200,00	200,00	
SUBTOTAL					2700,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Camioneta	u	24	100,00	2400,00	
SUBTOTAL					2400,00
SUBTOTAL USD					201607,85
IMPREVISTOS 10%					20160,79
COSTO TOTAL USD					221768,64

Tabla 52: Costos aproximados estimados de la protección catódica por corriente impresa con ánodos convencionales en cama anódica

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

Aunque en la Tabla 29 anterior se realizó ya un cuadro comparativo de ánodos para protección catódica por corriente impresa. En la siguiente Tabla 56 se presenta un cuadro comparativo complementario que incluye las ventajas y desventajas técnicas y económicas los comparativas entre la protección catódica por corriente impresa con el uso de ánodo polimérico continuo APC, respecto al uso de ánodos convencionales en cama anódica.

CUADRO COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA ANODOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

TIPO DE ÁNODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ÁNODOS CONVENCIONALES EN CAMA ANÓDICA	<ul style="list-style-type: none"> • La principal ventaja es su muy bajo costo de inversión. • Baja velocidad de consumo de los ánodos. • Útil en diseños para cualquier requerimiento de corriente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución no uniforme de la corriente de protección, las zonas cercanas de la tubería a los ánodos bien protegidas, mientras en las mas lejanas disminuye la protección. • En el mediano y largo tiempo significa costos de mantenimiento de la tubería en las zonas mal protegidas. • La no uniformidad en el reparto de la corriente de la tubería puede producir daños en el recubrimiento de la tubería. • Como consecuencia de estas desventajas la confiabilidad operacional disminuye con el tiempo.
ÁNODO POLIMÉRICO CONTÍNUO APC	<ul style="list-style-type: none"> • El ánodo polimérico contínuo se encuentra siempre próximo y a una distancia uniforme de la tubería por lo que se distribuye la corriente de protección de manera uniforme a lo largo de toda la tubería. • No existen áreas sobreprotegidas ni menos protegidas, previene el desprendimiento acelerado del revestimiento, prolonga sustancialmente la vida útil del revestimiento existente, las longitudes de circuito continuas. • Bajo costo de mantenimiento. • Alta confiabilidad operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Producto importados no existe en mercado local. • Menos experiencia en su diseño y uso. • Por las razones indicadas, actualmente tiene un muy alto costo de inversión comparativo, pero como sucede con productos de alta tecnología su precio disminuirá con su fabricación y uso masivo.

Tabla 53: Cuadro comparativo técnico y económico

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2021.

En la Tabla 56 se observa que las ventajas técnicas de la protección catódica por corriente impresa con el uso de ánodo polimérico contínuo APC son superiores respecto al uso de ánodos convencionales en cama anódica, aunque con esta última se tiene una protección adecuada. Por lo tanto, ambos métodos de protección catódica son válidos y son establecidos en las normas para protección de tuberías, en la EPMAPS hay una experiencia de aproximadamente 31 años en el manejo de la protección catódica con ánodos convencionales en cama anódica, así como, también en el área petrolera de nuestro país, es de empleo común la protección catódica con ánodos convencionales en cama anódica.

En cambio, se observa que el costo aproximado estimado por el consultor entre el método de protección por corriente impresa con ánodo polimérico es 373,68 % más que el de ánodos convencionales en cama anódica.

Por estas razones, en concordancia y en cumplimiento de la recomendación del Ing. José Littuma Msc. del Memorando No. EPMAPS-UECH-2021-176; **para la protección en el Proyecto de la Línea de Transmisión y Tanques de Almacenamiento y Redes Calderón se selecciona el método de protección catódica por corriente impresa con ánodos convencionales en cama anódica.**

8. DISEÑO DE VÁLVULAS HIDRÁULICAS

8.1. NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES

Para los estudios y diseños de las válvulas hidráulicas de la Línea de Transmisión y Redes de Calderón se utilizarán fundamentalmente las siguientes Normas Técnicas:

- Norma de American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.34: Valves – Flanged, Threaded and Welding End, 2004.
- Norma de American Society of Mechanical Engineers, ASME B16.5: Pipe Flanges and Flanged Fittings, 2013.
- Norma del Instituto Alemán de Normalización, DIN EN1074: Valves for Water Supply, 2001.

Es importante indicar que los diseños desarrollados en esta sección guardarán estrictamente coherencia con los diseños y criterios similares de los diseños definitivos de las líneas de transmisión Palaguillo-Bellavista y Puembo Calderón.

8.2. SELECCIÓN DE VÁLVULAS

Las válvulas hidráulicas son los componentes electromecánicos que posibilitan el control de los parámetros operacionales y de la seguridad de una línea de transmisión hidráulica. Para la Línea de Transmisión y Redes de Calderón se requieren las siguientes válvulas:

- Válvula para control de flujo.
- Válvulas de guardia y seccionamiento.
- Válvulas de desagüe.
- Válvulas de aire o ventosas.

8.2.1. VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUJO

Los tipos de válvulas que aplican técnicamente para el control del caudal y presión son los siguientes:

- Válvulas de mariposa.
- Válvulas de globo.
- Válvulas de diafragma.
- Válvulas de paso anular (émbolo o aguja).

En la Tabla 57 se presentan un cuadro comparativo entre estas válvulas indicando las ventajas y desventajas comparativas.

COMPARACIÓN ENTRE VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUJO

TIPO DE VÁLVULA	VÁLVULA DE MARIPOSA	VÁLVULA DE GLOBO	VÁLVULA DE DIAFRAGMA	VÁLVULA DE PASO ANULAR
VENTAJAS COMPARATIVAS		El control del flujo es preciso, el área de flujo es regular y cambia paulativamente.	El control de flujo es indirecto estas válvulas son sostenedoras o reductoras de presión.	El control del flujo es preciso, el área de flujo es regular y cambia paulativamente.
	Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 100 y 4000 mm.			Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 100 y 4000 mm.
	Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 50 (Clase 300)			Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 50 (Clase 300)
	Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa			Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa
	Bajo costo relativo	Alta confiabilidad operacional.		Alta confiabilidad operacional.
DESVENTAJAS COMPARATIVAS	El control del flujo no es preciso porque el área de flujo por la válvula es muy irregular y cambia bruscamente			
		Estas válvulas se las encuentra con diámetros nominales de hasta 150 mm.	Estas válvulas se las encuentra con diámetros nominales de hasta 300 mm.	
		Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150)	Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150)	
		En diámetros grandes se complica su accionamiento.	Complejidad en la instrumentación y servos hidráulicos.	
	Confiabilidad operacional media.		Confiabilidad operacional media.	Alto costo relativo

Tabla 54: Comparación entre válvulas para control de flujo

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Del análisis y comparaciones realizadas se pueden indicar las siguientes conclusiones:

- Las válvulas de mariposa se fabrican normalmente para los diámetros y presiones nominales que se requieren en el Proyecto, tiene un accionamiento simple y se requiere de poca instrumentación relativa; son de bajo costo relativo y tienen una confiabilidad operacional media; sin embargo, el control del flujo no es preciso y el área de flujo por la válvula es muy irregular, cambiando bruscamente, lo que puede traer efectos inadecuados en generar transientes y cavitación; por esta razón se consideran inadecuadas para esta aplicación.
- Las válvulas de globo se fabrican para los diámetros nominales y clases requeridos en el presente proyecto; sin embargo, en diámetros grandes se complica su accionamiento y adicionalmente el peso y costos es muy alto.
- Igualmente, las válvulas de diafragma se fabrican normalmente para los diámetros nominales de hasta 300 mm. y presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150), que son valores inferiores a los que se requieren en el Proyecto y adicionalmente, la regulación de caudal es indirecto pues estas válvulas son sostenedoras o reductoras de presión; por lo que, pese a sus ventajas relativas, no se pueden utilizar para esta aplicación.

- En las válvulas de paso anular, el control del flujo y presión es preciso, el área de flujo es regular y cambia paulatinamente; se fabrican normalmente para los diámetros y presiones nominales que se requieren en el Proyecto, tiene un accionamiento simple, se requiere de poca instrumentación relativa y tienen una alta confiabilidad operacional; sin embargo, el costo relativo es alto, pero en relación al costo del Proyecto, esta diferencia de costo con las otras válvulas no afecta significativamente, por lo que se considera el tipo de válvulas más adecuadas para esta aplicación.

Por lo tanto, **se selecciona el tipo de válvula de paso anular para el control flujo**, en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón.

8.2.2. VÁLVULAS PARA DESAGÜE

Los tipos de válvulas que aplican técnicamente para desagüe son los siguientes:

- Válvulas Howell Bunger.
- Válvulas de émbolo o aguja.
- Válvulas Polijet.

En la Tabla 58 se presentan un cuadro comparativo entre estas válvulas indicando las ventajas y desventajas comparativas.

COMPARACIÓN ENTRE VÁLVULAS PARA DESAGÜE

TIPO DE VÁLVULA	VÁLVULA HOWELL BUNGER	VÁLVULA POLIJET	VÁLVULA DE PASO ANULAR
VENTAJAS COMPARATIVAS	Alta disipación de energía y adecuado control de cavitación para desagüe.	Muy alta disipación de energía y adecuado control de cavitación para desagüe.	Alta disipación de energía y adecuado control de cavitación para desagüe.
	Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 400 y 2000 mm.	Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 100 y 1000 mm.	Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 100 y 4000 mm.
		Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales mayores a PN 100 (Clase 600)	Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales hasta a PN 50 (Clase 300)
	Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa	Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa	Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa
	Alta confiabilidad operacional.	Alta confiabilidad operacional.	Alta confiabilidad operacional.
	Bajo costo relativo		
DESVENTAJAS COMPARATIVAS	Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150)		
		Muy alto costo relativo	Costo relativo medio

Tabla 55: Comparación entre válvulas para desagüe

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Del análisis y comparaciones realizadas se pueden indicar las siguientes conclusiones:

- Las válvulas Howell Bunger se fabrican normalmente para presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150), que son valores inferiores a los que se requieren en

el Proyecto, por lo que, pese a sus ventajas relativas, no se pueden utilizar para esta aplicación.

- Las válvulas de émbolo o aguja se fabrican normalmente para los diámetros nominales de hasta 300 mm. y presiones nominales de hasta a PN 50 (Clase 300), que son valores que se requieren en el Proyecto y adicionalmente, tienen un costo relativo medio; por lo que, por sus ventajas relativas, se pueden utilizar para esta aplicación.
- En las válvulas Polijet, se tiene una muy alta disipación de energía y adecuado control de cavitación para desagüe, se fabrican normalmente para los diámetros y presiones nominales que se requieren en el Proyecto, tiene un accionamiento simple y una alta confiabilidad operacional; sin embargo, son de muy alto costo relativo; por lo que no se consideran adecuadas para esta aplicación.

Por lo tanto, **se selecciona el tipo de válvula de paso anular para desagüe**, en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón.

8.2.3. VÁLVULAS DE GUARDIA Y SECCIONAMIENTO

Los tipos de válvulas que son aplicables técnicamente como válvulas de guardia y seccionamiento para las válvulas de aire y de desagüe en diferentes sitios del trazado de la Línea de Transmisión y Redes de Calderón, son los siguientes:

- Válvulas de mariposa.
- Válvulas de compuerta.
- Válvulas de bola.
- Válvulas de macho.

En la Tabla 59 se presenta un cuadro comparativo entre estas válvulas indicando las ventajas y desventajas comparativas.

COMPARACIÓN ENTRE VÁLVULAS DE GUARDIA O SECCIONAMIENTO				
TIPO DE VÁLVULA	VÁLVULA DE MARIPOSA	VÁLVULA DE COMPUERTA	VÁLVULA DE BOLA	VÁLVULA DE MACHO
VENTAJAS COMPARATIVAS	Válvulas 0/1 de cierre y apertura adecuados para esta función.	Válvulas 0/1 de cierre y apertura adecuados para esta función.	Válvulas 0/1 de cierre y apertura adecuados para esta función.	Válvulas 0/1 de cierre y apertura adecuados para esta función.
	Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 100 y 4000 mm.		Estas válvulas se las encuentra comunmente con diámetros nominales entre 100 y 4000 mm.	
	Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 50 (Clase 300)		Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales mayores a PN 50 (Clase 300)	Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales mayores a PN 50 (Clase 300)
	Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa			Simple para su accionamiento y poca instrumentación relativa
		Alta confiabilidad operacional.	Alta confiabilidad operacional.	Alta confiabilidad operacional.
	Bajo costo relativo			
DESVENTAJAS COMPARATIVAS		Estas válvulas se las encuentra con diámetros nominales de hasta 300 mm.		Estas válvulas se las encuentra con diámetros nominales de hasta 600 mm.
		Estas válvulas se las encuentra con presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150)		
		En diámetros grandes se complica su accionamiento.	Complejidad en la instrumentación y servos hidráulicos.	
	Confiabilidad operacional media.			
		Costo relativo medio	Muy alto costo relativo	Alto costo relativo

Tabla 56: Comparación entre válvulas de guardia o seccionamiento

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Del análisis y comparaciones realizadas se pueden indicar las siguientes conclusiones:

- Las válvulas de mariposa son 0/1, de cierre y apertura, adecuadas para esta función; se fabrican normalmente para los diámetros y presiones nominales que se requieren en el Proyecto, tiene un accionamiento simple y se requiere de poca instrumentación relativa; son de bajo costo relativo y tienen una confiabilidad operacional media; resisten presiones nominales de hasta PN 50 (Clase 300), que son valores inferiores a los que se requieren en el Proyecto, por lo que, por sus ventajas relativas, se pueden utilizar para esta aplicación.
- Las válvulas de compuerta se fabrican normalmente para los diámetros nominales de hasta 300 mm. y presiones nominales de hasta PN 20 (Clase 150), que son valores inferiores a los que se requieren en el Proyecto, por lo que, pese a sus ventajas relativas, no se pueden utilizar para esta aplicación.
- Las válvulas de bola y de macho son también 0/1, de cierre y apertura, adecuadas para esta función; se fabrican normalmente para los diámetros y presiones nominales que se requieren en el Proyecto, resisten presiones nominales mayores a PN 100 (Clase 600), tiene un accionamiento simple y tienen una confiabilidad operacional media; sin embargo, tienen una alta complejidad en la instrumentación y sus servos hidráulicos; y, tienen un costo alto; por lo que no se consideran para esta aplicación.

Por lo tanto, **se selecciona el tipo de válvula de mariposa para guardia y seccionamiento** en diferentes sitios del trazado de la Línea de Transmisión y Redes de Calderón.

8.2.4. VÁLVULAS DE AIRE

Las válvulas de aire de triple función, presentadas en la Figura 19, se utilizan para controlar la presencia de aire en el interior de la tubería de conducción que puede provocar fenómenos hidrodinámicos indeseables, tales como, el golpe de ariete, sobrepresiones y presiones de vacío, tanto en régimen permanente; en operaciones de llenado, drenaje y aceleraciones o desaceleraciones del flujo (burbujas de aire).

En la primera función, la válvula de aire debe permitir el ingreso de un caudal de aire igual o mayor que el caudal de agua a fin de que no se produzca una presión menor a la atmosférica y pueda fallar la tubería, esto se produce cuando se está drenando la tubería.

En la segunda función, al llenar la tubería en el tramo correspondiente, la válvula de aire permitirá evacuar el aire a una tasa mayor al caudal de llenado.

En la tercera función, cuando la tubería está ya presurizada permite el ingreso o evacuación de cantidades pequeñas de aire que se generan por aceleraciones o desaceleraciones del flujo.

El tipo de válvula de aire que cumple estas funciones corresponde a una válvula de aire de triple efecto, la cual permite entrar aire cuando se produce sub-presión y evacuar el aire cuando la tubería está en proceso de llenarse, luego que la presión

supera la presión atmosférica, la válvula se mantiene firmemente cerrada en forma automática.

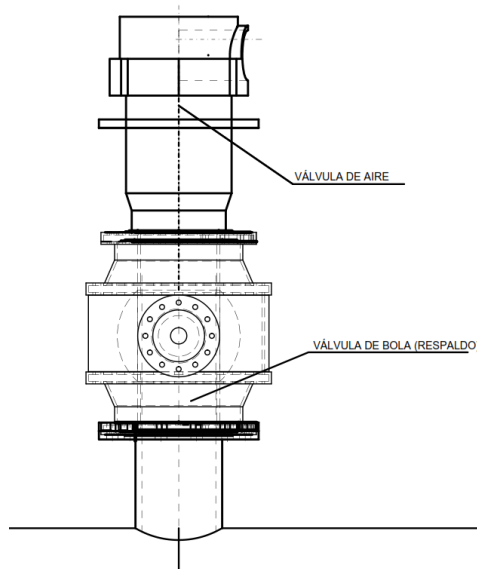


Figura 19: Esquema de válvula de aire
Fuente: Manual de fabricante.

Por las altas presiones, longitud de la conducción y pendientes existentes, esta instalación debe ser resguardada con un alto nivel de seguridad, por lo que **se han seleccionado válvulas de aire de triple función paso completo**.

8.3. ECUACIONES UTILIZADAS EN LOS CÁLCULOS DE VÁLVULAS DE PASO ANULAR

Los datos con los que se realizarán los cálculos de las válvulas hidráulicas, para la Línea de Transmisión y Redes de Calderón son:

- Caudal nominal.
- Carga o alturas piezométricas, antes y después de la válvula.
- Coeficiente de resistencia al flujo antes y después de la válvula.
- Diámetros de la tubería antes y después de la válvula.
- Altitud de instalación de la válvula.

En este punto se presentan las ecuaciones utilizadas para los cálculos mecánicos de las válvulas para todas las variantes.

8.3.1. COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL FLUJO

El coeficiente de resistencia al flujo de una válvula se calcula con la siguiente ecuación:

$$z = \frac{2 * g * (P_e - P_s)}{(v)^2} \quad (23)$$

Donde:

- z: Coeficiente de resistencia al flujo (adimensional).
Pe: Presión de entrada a la válvula en m de agua.
Ps: Presión de salida de la válvula en m de agua.
v: Velocidad de flujo en m/s.
g: Gravedad 9,8 m/s².

8.3.2. CAUDAL

El caudal que atraviesa una válvula se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 900 * \pi * v * dh^2 \quad (24)$$

Donde:

- Q: Caudal en m³/h.
v: Velocidad de flujo en m/s.
dh: Diámetro hidráulico de flujo en m.

8.3.3. COEFICIENTE DE FLUJO

El coeficiente de flujo de una válvula se calcula con la siguiente ecuación:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{(Pe - Ps)}} \quad (25)$$

Donde:

- Kv: Coeficiente de flujo en m³/h.
Pe: Presión de entrada a la válvula en bar.
Ps: Presión de salida de la válvula en bar.
Q: Caudal en m³/h.

8.3.4. ÍNDICE DE CAVITACIÓN

El número o índice de cavitación en la operación de una válvula se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{Ps - Pv}{Pe - Ps} \quad (26)$$

Donde:

- σ : Número o índice de cavitación (adimensional).
Pe: Presión de entrada a la válvula en bar absolutos.
Ps: Presión de salida de la válvula en bar absolutos.
Pv: Presión de vaporización a la temperatura de operación de la válvula en bar absolutos.

8.3.5. RUIDO POR CAVITACIÓN EN LAS VÁLVULAS

Otra forma de asegurar que el fenómeno de cavitación esté controlado en una válvula hidráulica es mantener el nivel del ruido (dB A) bajo valores determinados experimentalmente y que se presentan en la siguiente Tabla 60:

TAMAÑO DE VÁLVULA	TAMAÑO DE VÁLVULA	MÁXIMO NIVEL DE RUIDO
mm	Pulgadas	dB A
< 100	< 4	80
Entre 100 y 200	Entre 4 y 8	85
Entre 200 y 400	Entre 8 y 16	90
> 400	> 16	95

Tabla 57: Ruido por cavitación en las válvulas

Fuente: J. Monsen and P. Jessee Noise, Cavitation: Bad for Control Valves, Bad for Equipment, Valve Magazine, Valin Corporation.

Puesto que la generación de cavitación y ruido en una válvula dependerá directamente de su geometría, dimensiones y en general del diseño de las válvulas es necesario recurrir a tablas y software suministrado por los fabricantes, en este caso se usarán tablas y software de los fabricantes de válvulas.

Es importante indicar que los distintos parámetros calculados tendrán diferentes valores, dependiendo de la apertura de la válvula (desde 0 al 100% de apertura) y del diseño de la válvula, por lo que es necesario también recurrir a tablas y software suministrado por los fabricantes, en este caso se usarán tablas y software de los fabricantes de válvulas.

8.4. CÁLCULO DE VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUJO

Los cálculos que se realizan en este punto se basarán en las ecuaciones presentadas en el punto 8.3; y donde es necesario se usan tablas y software de los fabricantes de válvulas.

Se seleccionó el tipo de válvula de paso anular para el control flujo, en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón.

En la Figura 20 se presenta un esquema de la válvula de émbolo o aguja y en la Figura 21 se presenta un despiece de esta.



Figura 20: Esquema de válvula de paso anular

Fuente: Manual de fabricante.

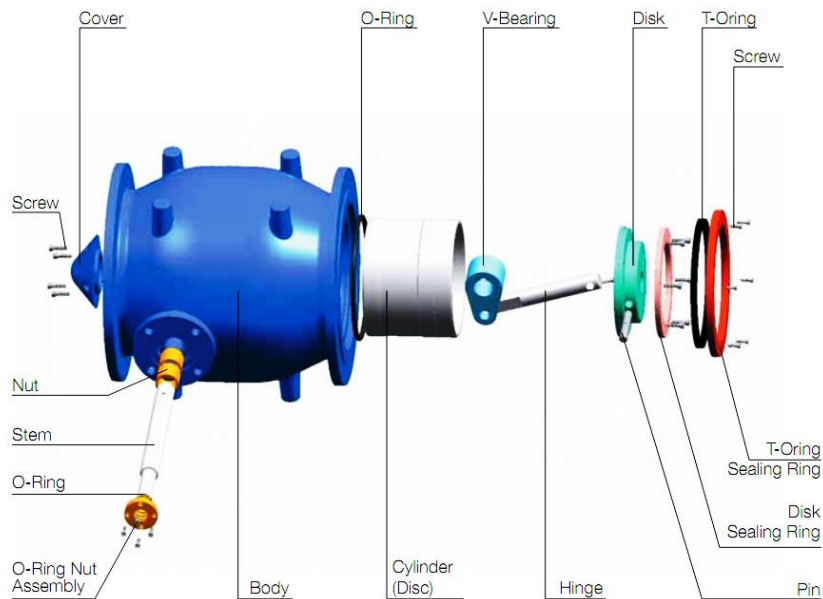


Figura 21: Despiece de válvula de paso anular

Fuente: Manual de fabricante.

Como se utiliza para control de flujo esta válvula de paso anular será de émbolo de borde cortado, como se presenta en la Figura 22.

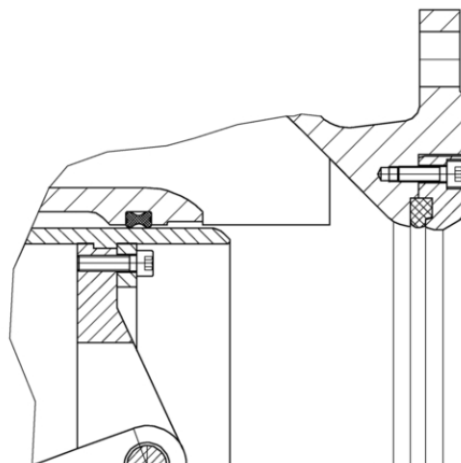


Figura 22: Válvula de paso anular de émbolo de borde cortado

Fuente: Manual de fabricante.

Los datos, suministrados por el área hidráulica, para las válvulas de control de flujo de paso anular en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón se presentan en la Tabla 61 siguiente:

Control de Flujo														
ID	Cantidad	Cota (msnm)	D (mm) de la tubería en la que va instalada	Pd (presión máxima de diseño mca)	QMIN (apertura 40%)					QMAX (apertura 60%)				
					Qmin (l/s)	P1(mca)	P2(mca)	DP(mca)	σ_1	Qmx (l/s)	P1(mca)	P2 (mca)	DP(mca)	σ_1
A	2	2.689,22	250,00	220,8	70,77	133,64	3,12	130,52	0,08	114,35	64,11	3,16	60,95	0,17
Br	2	2.655,11	150,00	74,8	14,2	70,38	2,15	68,23	0,13	22,94	67,81	2,18	65,63	0,14
Cr	2	2.724,87	250,00	185,1	53,97	98,08	3,38	94,7	0,11	87,21	28,58	3,61	24,97	0,42
Cu-E2	2	2.684,77	300,00	225,2	129,53	132,33	3,69	128,64	0,08	209,3	53,83	3,98	49,85	0,22
LLGA	2	2.647,83	200,00	41,9	38,17	37,63	3,66	33,97	0,31	61,68	33,85	3,9	29,95	0,36
LLGB	2	2.602,34	150,00	50,5	17,31	46,68	3,65	43,03	0,25	27,98	45,02	3,77	41,25	0,26
MJ1	2	2.763,15	200,00	146,9	78,46	83,32	3,25	80,07	0,13	126,78	50,57	3,43	47,14	0,22
MJ2	2	2.761,85	250,00	148,2	78,46	83,95	4,34	79,61	0,14	126,78	50,17	5,32	44,85	0,27
Oya	2	2.406,68	100,00	85,5	6,39	80,88	2,43	78,45	0,12	10,33	79,27	2,45	76,82	0,12
PVE	2	2.565,23	100,00	94,9	2,65	91,06	2,48	88,58	0,11	4,28	90,67	2,48	88,19	0,11
SJCA	2	2.847,84	250,00	62,2	116,95	18,88	3,2	15,68	0,65	200,3	16,66	3,57	13,09	0,81
SJCB	2	2.809,66	250,00	100,3	17,87	43,04	2,57	40,47	0,24	28,87	19,73	2,63	17,1	0,56
SJM1	2	2.724,93	250,00	185,1	60,97	118,32	2,95	115,37	0,09	98,51	80,75	3	77,75	0,13
SJM2	2	2.723,89	250,00	186,1	75,17	119,22	3,51	115,71	0,09	121,45	81,44	3,57	77,87	0,14
SL	2	2.685,81	300,00	224,2	91,37	137,52	3,11	134,41	0,08	147,62	68,84	3,14	65,7	0,15
SMCA	2	2.614,21	150,00	295,8	23,09	196,28	2,75	193,53	0,05	37,3	109,86	2,86	107	0,09
SMCB	2	2.487,20	100,00	89,4	11,02	82,95	2,58	80,37	0,12	17,8	78,77	2,69	76,08	0,13
SMCM	2	2.571,60	150,00	47,6	14,65	40,7	2,58	38,12	0,25	23,66	35,13	2,82	32,31	0,30
	36													

Tabla 58: Datos para las válvulas de control de flujo de paso anular
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Los cálculos se desarrollarán utilizando el software UseCAD 7.0 de la VAG. Los resultados de los cálculos se presentan en el ANEXO A.

Como resultado de los cálculos, en la Tabla 62, se presentan las características técnicas principales, para las válvulas de control de flujo de paso anular en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón, basadas en las Normas ANSI/ASME B16.34 (American National Standard/American Society of Mechanical Engineers):

NOMBRE	ID	CANTIDAD	DN	PN	ACCIONAMIENTO
			mm	bar	
VCF1-VCF2	A	2	150	40	Automatico/Manual emergencia
VCF5-VCF6	Cr	2			
VCF23-VCF24	SJM1	2			
VCF29-VCF30	SMCA	2			
TOTAL:		8			
VCF3-VCF4	Br	2	150	16	Automatico/Manual emergencia
VCF9-VCF10	LLGA	2			
VCF11-VCF12	LLGB	2			
VCF21-VCF22	SJCB	2			
VCF17	Oya	1			
VCF18	PVE	1			
VCF31	SMCB	1			
VCF32	SMCM	1			
TOTAL:		12			
VCF13-VC14	MJ1	2	200	25	

VCF15-VCF16	MJ2	2			Automatico/Manual emergencia
VCF25-VCF26	SJM2	2			
VCF27-VCF28	SL	2			
TOTAL:		8			
VCF7-VCF8	Cu-E2	2	300	40	Automatico/Manual emergencia
TOTAL:		2			
VCF19-VCF20	SJCA	2	250	16	Automatico/Manual emergencia
TOTAL:		2			
TOTAL VÁLVULAS:		32			

Tabla 59: Características de las válvulas de control de flujo de paso anular

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Las válvulas deben tener sus correspondientes actuadores eléctricos, porque su funcionamiento será motorizado y automatizado, pero también deben tener accionamiento manual de emergencia.

8.5. CÁLCULO DE VÁLVULAS PARA DESAGÜE

Los cálculos que se realizan en este punto también se basarán en las ecuaciones presentadas en el punto 8.3; y donde es necesario se usan tablas y software de los fabricantes de válvulas.

Se seleccionó el tipo de válvula de paso anular para el control de desagüe, en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón, correspondiente al tipo válvula presentado en las Figuras 20 y 21 anteriores; pero en este caso para el control de desagües, esta válvula de paso angular será de émbolo con múltiple orificio, como se presenta en la Figura 23.

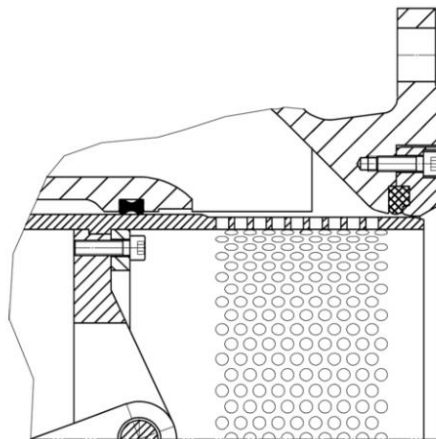


Figura 23: Válvula de paso anular de émbolo de múltiple orificio

Fuente: Manual de fabricante.

Los datos, suministrados por el área hidráulica, para las válvulas de desagüe de paso anular, en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón se presentan en la Tablas 63, 64, 65 y 66 siguientes:

	Label	Cota	Presión Estática (mca)	Presión de operación mantenimiento	Q (m3/s)	Diámetro tubería principal	válvula de guardia (D mm)
Línea Principal	VD1	2.840,46	69,54	25,37	0,08	800	150
	VD2	2.842,72	67,28	8,35	0,08	800	150
	VD3	2.765,23	144,77	17,13	0,08	800	150
	VD4	2.768,64	141,36	44,66	0,08	800	150

Tabla 60: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 1)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

	Label	Cota	Presión Estática (mca)	Presión de operación mantenimiento	Q (m3/s)	Diámetro tubería principal	válvula de guardia (D mm)
Línea PTAP_SJCA	VD5	2.840,46	69,54	25,37	0,08	500	150
	VD6	2.842,72	67,28	8,35	0,08	500	150

Tabla 61: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 2)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

	Label	Cota	Presión Estática (mca)	Presión de operación mantenimiento	Q (m3/s)	Diámetro tubería principal	válvula de guardia (D mm)
SMCA-OY	VD7	2.680,25	229,75	45,94	0,04	150	150

Tabla 62: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 3)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

	Label	Cota	Presión Estática (mca)	Presión de operación mantenimiento	Q (m3/s)	Diámetro tubería principal	válvula de guardia (D mm)
SMCA-OY	VD8	2.559,50	17,10	17,1	0,04	200	150

Tabla 63: Datos para las válvulas de desagüe (tramo 4)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Los cálculos se desarrollan utilizando el software UseCAD 7.0 de la VAG. Los resultados de los cálculos se presentan en el ANEXO B.

Como resultado de los cálculos, en la Tabla 67, se presentan las características técnicas principales, para las válvulas de control de desagüe de paso anular en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón, basadas en las Normas ANSI/ASME B16.34 (American National Standard/American Society of Mechanical Engineers):

VÁLVULAS DE CONTROL PARA DESAGÜE						
NOMBRE	ID	CANTIDAD	DN	PN	CLASE	ACCIONAMIENTO
			mm	bar		
VD1	Línea Principal	1	150	50	300	Automatico/Manual emergencia
VD2		1				
VD3		1				
VD4		1				
VD5	Línea	1				
VD6	PTAP_SJCA	1				
VD7	SMCA-OY	1				
VD8		1				
TOTAL:		8				

Tabla 64: Características técnicas para las válvulas de control desagüe
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Las válvulas deben tener sus correspondientes actuadores eléctricos, porque su funcionamiento será motorizado y automatizado, pero también deben tener accionamiento manual de emergencia.

8.6. DISEÑO DE VÁLVULAS DE GUARDIA Y SECCIONAMIENTO

Se seleccionó el tipo de válvula de mariposa para guardia y seccionamiento en diferentes sitios del trazado de la Línea de Transmisión y Redes de Calderón.

Las válvulas de mariposa son 0/1, de cierre y apertura, adecuadas para esta función; se fabrican normalmente para los diámetros y presiones nominales que se requieren en el proyecto, tiene un accionamiento simple y se requiere de poca instrumentación relativa; son de bajo costo relativo y tienen una confiabilidad operacional media; por lo que se consideran adecuadas para esta aplicación, como ya se lo determinó anteriormente. El costo de mantenimiento también es bajo porque tienen un mínimo de piezas movibles. El uso principal de las válvulas de mariposa es para control de corte cuando se manejan grandes caudales.

El diseño abierto de flujo rectilíneo evita la acumulación de sólidos y produce baja caída de presión. Su operación es fácil y rápida, es posible moverla desde la apertura total hasta el cierre total con gran rapidez. Las principales características de los servicios de las válvulas de mariposa incluyen apertura total, cierre total o estrangulación, operación frecuente, cierre positivo y baja caída de presión.

Las válvulas mariposas seleccionadas serán de sello metálico y de triple excentricidad, herméticas, es decir, no deben permitir goteo.

Los datos, suministrados por el área hidráulica, para las válvulas de mariposa para guardia y seccionamiento en diferentes sitios del trazado de la Línea de Transmisión y Redes de Calderón, se presentan en la Tablas 68 siguiente:

Valvulas_Mariposa_EDC					
No. Válvula	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Presión trabajo (mca)	Presión Estática (mca)
VM96	TCV_Crr_1	2.724,87	250	28,77	185,13
VM97	TCV_Crr_2	2.724,87	250	3,6	185,13
VM98	TCV_Crr_3	2.724,87	250	28,82	185,13
VM99	TCV_Crr_4	2.724,87	250	28,82	185,13
VM100	TCV_Crr_5	2.724,87	250	28,82	185,13
VM128	TCV_MJ1_1	2.763,15	200	50,83	146,85
VM129	TCV_MJ1_2	2.763,15	200	50,83	146,85
VM130	TCV_MJ1_3	2.763,15	200	3,35	146,85
VM131	TCV_MJ1_4	2.763,15	200	50,83	146,85
VM132	TCV_MJ2_1	2.761,85	200	50,74	148,15
VM133	TCV_MJ2_2	2.761,85	200	50,74	148,15
VM101	TCV_MJ2_3	2.761,85	250	5,2	148,15
VM102	TCV_MJ2_4	2.761,85	250	50,43	148,15
VM103	TCV_MJ2_5	2.761,85	250	50,74	148,15
VM104	TCV_SJCA_1	2.847,84	250	3,37	62,16
VM105	TCV_SJCA_2	2.847,84	250	16,85	62,16
VM106	TCV_SJCA_3	2.847,84	250	16,85	62,16
VM107	TCV_SJCA_4	2.847,84	250	16,85	62,16
VM108	TCV_SJCB_1	2.809,66	250	19,73	100,34
VM109	TCV_SJCB_2	2.809,66	250	2,63	100,34
VM110	TCV_SJCB_3	2.809,66	250	19,73	100,34
VM111	TCV_SJCB_4	2.809,66	250	19,73	100,34
VM112	TCV_SJM1_1	2.724,93	250	80,8	185,07
VM113	TCV_SJM1_2	2.724,93	250	80,8	185,07
VM47	TCV_SJM1_3	2.724,93	350	80,84	185,07
VM114	TCV_SJM1_4	2.724,93	250	2,99	185,07
VM115	TCV_SJM1_5	2.724,93	250	80,8	185,07
VM65	TCV-Ar_1	2.689,22	300	64,13	220,78
VM66	TCV-Ar_2	2.689,22	300	64,13	220,78
VM67	TCV-Ar_3	2.689,22	300	64,13	220,78
VM68	TCV-Ar_4	2.689,22	300	3,16	220,78
VM69	TCV-Ar_5	2.689,22	300	64,16	220,78
VM135	TCV-Br_1	2.655,12	150	67,83	73,77
VM136	TCV-Br_2	2.655,12	150	67,83	73,77
VM137	TCV-Br_3	2.655,12	150	2,16	73,77
VM138	TCV-Br_4	2.655,12	150	67,83	73,77
VM139	TCV-Br_5	2.655,12	150	67,88	73,77
VM70	TCV-CE_1	2.684,77	300	53,9	225,23
VM71	TCV-CE_2	2.684,77	300	53,9	225,23
VM72	TCV-CE_3	2.684,77	300	53,9	225,23
VM73	TCV-CE_4	2.684,77	300	3,96	225,23
VM74	TCV-CE_5	2.684,77	300	53,9	225,23
VM140	TCV-LLGA_1	2.647,83	150	34,01	41,94
VM141	TCV-LLGA_2	2.647,83	150	34,18	42,98
VM142	TCV-LLGA_3	2.647,83	150	3,86	42,98
VM143	TCV-LLGA_4	2.647,83	150	34,01	42,98
VM144	TCV-LLGA_5	2.647,93	150	34,18	42,88
VM145	TCV-LLGB_1	2.602,34	150	3,65	50,49
VM146	TCV-LLGB_2	2.602,34	150	45,3	50,49
VM147	TCV-LLGB_3	2.602,34	100	45,3	50,49
VM148	TCV-LLGB_4	2.602,34	100	45,3	50,49
VM149	TCV-LLGB_5	2.602,34	150	45,58	50,49
VM150	TCV-OYAC_1	2.406,66	150	79,36	85,54
VM151	TCV-OYAC_2	2.406,68	150	79,29	85,52
VM152	TCV-OYAC_3	2.406,68	150	79,29	85,52
VM153	TCV-OYAC_4	2.406,68	150	2,44	85,52
VM154	TCV-OYAC_5	2.406,68	150	79,29	85,52
VM155	TCV-PVE_1	2.565,23	150	90,67	94,88

VM156	TCV-PVE_2	2.565,23	150	2,48	94,88
VM157	TCV-PVE_3	2.565,23	150	90,67	94,88
VM158	TCV-PVE_4	2.565,23	150	90,67	94,88
VM48	TCV-SJM_1	2.723,89	350	81,49	186,11
VM75	TCV-SJM_2	2.723,89	300	81,46	186,11
VM76	TCV-SJM_3	2.723,89	300	81,46	186,11
VM77	TCV-SJM_4	2.723,89	300	3,57	186,11
VM78	TCV-SJM_5	2.723,89	300	81,46	186,11
VM79	TCV-SL_1	2.685,81	300	68,88	224,19
VM80	TCV-SL_2	2.685,81	300	68,88	224,19
VM81	TCV-SL_3	2.685,81	300	68,88	224,19
VM82	TCV-SL_4	2.685,81	300	3,13	224,19
VM40	TCV-SL_5	2.685,81	400	68,9	224,19
VM159	TCV-SMCA_1	2.614,21	150	109,9	295,79
VM160	TCV-SMCA_2	2.614,21	150	2,82	295,79
VM161	TCV-SMCA_3	2.614,21	150	109,9	295,79
VM162	TCV-SMCA_4	2.614,21	150	109,9	295,79
VM163	TCV-SMCA_5	2.614,21	150	110	295,79
VM164	TCV-SMCB_1	2.487,17	150	78,93	242,76
VM165	TCV-SMCB_2	2.487,20	150	78,83	242,73
VM166	TCV-SMCB_3	2.487,20	150	78,83	242,73
VM167	TCV-SMCB_4	2.487,20	150	2,66	242,73
VM168	TCV-SMCB_5	2.487,20	150	78,83	242,73
VM169	TCV-SMCM_1	2.571,60	150	35,23	47,61
VM170	TCV-SMCM_2	2.571,60	150	35,23	47,61
VM171	TCV-SMCM_3	2.571,60	150	2,81	47,61
VM172	TCV-SMCM_4	2.571,60	150	35,23	47,61
VM173	TCV-SMCM_5	2.571,60	150	35,35	47,61

Valvula-Mariposa_Salida_Tanques						
No. Válvula	Label	Cantidad	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Presión trabajo (mca)	Presión Estatica (mca)
VM27-VM29	A_450	3	2695,20	450	7,50	7,50
VM116-117	A_250	2	2695,20	250	7,50	7,50
VM118-VM119	Br_250	2	2656,69	250	7,50	7,50
VM83-VM84	Cr_300	2	2721,14	300	7,50	7,50
VM49-VM50	Cr_350	2	2721,14	350	7,50	7,50
VM19-VM20	Cu-E_500	2	2688,96	500	7,50	7,50
VM85-VM86	LLGA_300	2	2645,74	300	7,50	7,50
VM51-VM53	MJ1_350	3	2766,07	350	7,50	7,50
VM5-VM6	MJ2_600	2	2759,87	600	7,50	7,50
VM54-VM57	SJCA_350	4	2830,35	350	7,50	7,50
VM87-VM88	SJCB_300	2	2810,13	300	7,50	7,50
VM41-VM42	SJCB_400	2	2810,13	400	7,50	7,50
VM89-VM90	SJM1_300	2	2725,48	300	7,50	7,50
VM7-VM8	SJM2_600	2	2736,00	600	7,50	7,50
VM58-VM59	SL_350	2	2661,92	350	7,50	7,50
VM174-VM177	SMCA_150	4	2608,08	150	7,50	7,50
VM30	A_450	1	2695,20	450	7,50	7,50
VM120	Br_250	1	2656,69	250	7,50	7,50
VM60	Cr_350	1	2721,14	350	7,50	7,50
VM21	Cu-E_500	1	2688,96	500	7,50	7,50
VM91	LLGA_300	1	2645,74	300	7,50	7,50
VM61	LLGB_350	1	2605,00	350	7,50	7,50
VM9	MJ2_600	1	2759,87	600	7,50	7,50
VM178	Oya_150	1	2438,74	150	7,50	7,50
VM134	PVE_200	1	2571,50	200	7,50	7,50
VM62	SJCA_350	1	2830,35	350	7,50	7,50
VM43	SJCB_400	1	2810,13	400	7,50	7,50
VM92	SJM1_300	1	2725,48	300	7,50	7,50
VM10	SJM2_600	1	2736,00	600	7,50	7,50
VM63	SL_350	1	2661,92	350	7,50	7,50
VM179	SMCA_150	1	2608,08	150	7,50	7,50
VM180-VM181	SMCB_150	2	2501,34	150	7,50	7,50
VM182-VM183	SMCM_150	2	2566,61	150	7,50	7,50

V_Mariposa_Deri_Intx					
No. Válvula	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Presión trabajo (mca)	Presión Estática (mca)
VM121	TCV_Der_MJ1_1	2.766,80	250	48,74	143,20
VM11	TCV_Der_MJ1_2	2.767,15	600	49,08	142,85
VM122	TCV_Der_MJ1_3	2.767,15	250	48,98	142,85
VM123	TCV_Der_MJ1_4	2.767,15	250	48,99	142,85
VM124	TCV_Der_MJ2_1	2.719,52	250	93,81	190,48
VM125	TCV_Der_MJ2_2	2.759,52	250	53,96	150,48
VM126	TCV_Der_SJCB1	2.809,66	250	19,78	100,34
VM127	TCV_Der_SJCB2	2.809,66	250	19,78	100,34
VM12	TCV_Der_SL-CE_1	2.727,00	600	27,42	183,00
VM13	TCV_Der_SL-CE_2	2.727,00	600	27,42	183,00
VM14	TCV_Der_SL-CE_3	2.727,00	600	27,42	183,00
VM15	TCV_Der_SL-CE_4	2.727,00	600	27,41	183,00
VM16	TCV-Der_Ar1	2.696,80	600	57,73	213,20
VM17	TCV-Der_Ar2	2.696,80	600	57,61	213,20
VM18	TCV-Der_Ar3	2.696,80	600	57,61	213,20
VM31	TCV-Der_SMCA_1	2.723,34	450	83	186,66
VM184	TCV-Der_SMCA_2	2.723,34	150	82,97	186,66
VM64	TCV-Der_SMCA_3	2.723,34	350	82,94	186,66
VM22	TCV-Derv_SL_1	2.660,29	500	103,32	249,71
VM44	TCV-Derv_SL_2	2.660,29	400	103,25	249,71
VM23	TCV-Derv_SL_3	2.660,29	500	103,26	249,71
VM32	TCV_FR_1	2.725,05	450	81,39	184,95
VM33	TCV_FR_2	2.725,05	450	81,38	184,95
VM34	TCV_FR_3	2.725,05	450	81,53	184,95
VM35	TCV_FR_4	2.725,05	450	81,32	184,95
VM36	TCV_FR_5	2.725,05	450	81,45	184,95
VM93	TCV_Inx_ElCarmen_1	2.685,40	300	69,55	224,60
VM45	TCV_Inx_ElCarmen_2	2.685,40	400	69,55	224,60
VM46	TCV_Inx_ElCarmen_3	2.685,40	400	69,42	224,60
VM37	TCV_Inx_MJ1	2.761,43	450	53,73	148,57
VM38	TCV_Inx_MJ2	2.761,43	450	53,82	148,57
VM39	TCV_Inx_MJ3	2.761,43	450	53,73	148,57
VM24	TCV_Inx_MJ4	2.761,43	500	53,72	148,57
VM25	TCV_Inx_MJ5	2.761,43	500	53,76	148,57
VM26	TCV_IP_1	2.863,00	500	4,39	47,00
VM1	TCV_IP_2	2.863,00	800	3,43	47,00
VM2	TCV_IR_1	2.776,61	800	78,9	133,39
VM3	TCV_IR_2	2.776,70	800	79,05	133,30
VM94	TCV_IR_3	2.776,71	300	78,52	133,29
VM4	TCV_IR_4	2.776,75	800	78,77	133,25
VM95	TCV_IR_5	2.777,96	300	78,77	132,04

Tabla 65: Datos para las válvulas de mariposa

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Como resultado de los cálculos, en la Tabla 69, se presentan las características técnicas principales, de conformidad con las Normas RTE INEN 226, en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón:

VÁLVULAS MARIPOSA					
NOMBRE	CANTIDAD	DN	PN	CLASE	ACCIONAMIENTO
		mm	bar		
VM1-VM4	4	800	20	150	Manual
TOTAL:	4				
VM5-VM15	11	600	20	150	Manual
TOTAL:	11				
VM16-VM18	3	600	50	300	Manual
TOTAL:	3				
VM19-VM21	3	500	20	150	Manual
VM24-VM26	3				
TOTAL:	6				
VM22-VM23	2	500	50	300	Manual
TOTAL:	2				
VM27-VM39	13	450	20	150	Manual
TOTAL:	13				
VM44-VM46	3	400	20	150	Manual
TOTAL:	3				
VM40-VM43	4	400	50	300	Manual
TOTAL:	4				
VM47-VM64	18	350	20	150	Manual
TOTAL:	18				
VM75-VM78	4	300	20	150	Manual
VM83-VM92	10				
VM94-VM95	2				
TOTAL:	16				
VM65-VM74	10	300	50	300	Manual
VM79-VM82	4				
VM93	1				
TOTAL:	15				
VM96-VM127	32	250	20	150	Manual
TOTAL:	32				
VM128-VM134	7	200	20	150	Manual
TOTAL:	7				
VM135-VM158	24	150	20	150	Manual
VM169-VM184	16				
TOTAL:	40				
VM159-VM168	10	150	50	300	Manual
TOTAL:	10				
NOTA: Las válvulas desde VM81 hasta VM95 son: Automático/Manual emergencia (Total=15)					
TOTAL VÁLVULAS:	184				

Tabla 66: Características técnicas para las válvulas mariposa

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Las válvulas de mariposa son de accionamiento manual en general, sin embargo, desde la válvula VM81 hasta la válvula VM95 (total 15 válvulas mariposa) tendrán funcionamiento motorizado y automatizado, pero también deben tener accionamiento manual de emergencia con sus correspondientes actuadores eléctricos.

8.7. CÁLCULO DE VÁLVULAS DE AIRE

De conformidad al diámetro de la tubería, las presiones, longitud de la conducción y pendientes existentes; y, considerando que la instalación debe ser resguardada con un alto nivel de seguridad, se han seleccionado válvulas de aire de triple función paso completo.

Los datos, suministrados por el área hidráulica, para las válvulas de aire requeridas en la Línea de Transmisión y Redes de Calderón se presentan en la Tablas 70, 71, 72 y 73 siguientes:

VA_linea_PTAP_Carretas								
Nº VALVULA	COORDENADAS		ABSCISA (m)	COTA	∅ Tubería mm	Material Tubería	PEND. ANTERIOR (%)	PEND. POSTERIOR (%)
	NORTE	ESTE						
VA1	9995566,99	508276,26	0+257.56m	2862,71	800	Acero	0,24	-5,83
VA2	9995221,33	508263,14	0+459.71m	2851,19	800	Acero	-5,83	-5,83
VA3	9995233,44	507964,01	0+953.75m	2850,69	800	Acero	3,33	-8,91
VA4	9995124,96	507794,39	1+241.92m	2850,50	800	Acero	5,96	-7,15
VA5	9995117,34	507650,57	1+414.51m	2852,03	800	Acero	2,29	-12,61
VA6	9994858,20	507631,39	1+692.30m	2820,44	800	Acero	-10,05	-8,47
VA7	9994485,57	507726,76	2+080.41m	2794,04	800	Acero	-5,23	-5,23
VA8	9994003,96	507793,87	2+585.65m	2773,99	600	Acero	-3,01	-3,01
VA9	9993635,92	507812,25	3+124.87m	2778,62	600	Acero	12,13	4,22
VA10	9993487,00	507851,82	3+278.88m	2780,25	600	Acero	-1,02	-2,33
VA11	9993226,10	507846,26	3+539.02m	2774,72	600	Acero	-2,07	-2,07
VA12	9992737,09	507836,33	4+040.52m	2776,70	600	Acero	7,58	7,58
VA13	9992310,58	507789,01	4+471.21m	2809,60	600	Acero	4,15	-0,30
VA14	9991844,05	507695,34	4+952.10m	2792,80	600	Acero	-1,97	-1,97
VA15	9991395,73	507558,52	5+461.59m	2781,99	600	Acero	-3,21	-14,65
VA16	9991120,15	507420,73	5+896.35m	2756,64	450	Acero	13,63	-6,98
VA17	9990771,00	507363,06	6+259.35m	2726,25	450	Acero	-9,16	-5,66
VA18	9990555,46	506982,31	6+778.16m	2720,94	500	Hierro Dúctil	-2,98	-2,98
VA19	9990334,52	506825,23	7+049.18m	2692,89	500	Hierro Dúctil	-2,98	-2,98
VA20	9989983,23	506580,44	7+477.30m	2677,95	500	Hierro Dúctil	-4,23	-3,64

VA21	9989562,76	506313,38	7+977.32m	2662,74	500	Hierro Dúctil	-2,65	-2,65
VA22	9989076,15	506112,56	8+503.84m	2658,89	500	Hierro Dúctil	-0,91	0,23
VA23	9988830,28	505830,70	8+900.76m	2661,53	500	Hierro Dúctil	1,55	-3,26
VA24	9988715,49	505633,52	9+128.77m	2654,24	500	Hierro Dúctil	-3,31	-3,69
VA25	9988457,39	505204,54	9+629.51m	2648,69	500	Hierro Dúctil	2,85	2,85
VA26	9988263,33	504752,84	10+122.04m	2661,52	500	Hierro Dúctil	2,86	6,35
VA27	9988075,63	504421,86	10+503.13m	2687,04	500	Hierro Dúctil	7,23	8,99
VA28	9987967,59	504061,13	10+893.35m	2723,80	500	Hierro Dúctil	10,74	2,46

Tabla 67: Datos para las válvulas de aire (tramo 1)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

VA_linea_SJCA								
Nº VALVULA	COORDENADAS		ABSCISA (m)	COTA	φ Tubería (mm)	Material Tubería	PEND. ANTERIOR (%)	PEND. POSTERIOR (%)
	NORTE	ESTE						
VA29	9995566,99	508276,26	0+257.56m	2862,71	500	Acero	0,24	-5,83
VA30	9995221,33	508263,14	0+459.71m	2851,19	500	Acero	-5,83	-5,83
VA31	9995233,44	507964,01	0+953.75m	2850,69	500	Acero	3,33	-8,91
VA32	9995124,96	507794,39	1+241.92m	2850,50	500	Acero	5,96	-7,15
VA33	9995117,34	507650,57	1+414.51m	2852,03	500	Acero	2,29	-12,61

Tabla 68: Datos para las válvulas de aire (tramo 2)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

VA_Linea_Der_SMCA_Oy										
Nº VALVULA	Label	COORDENADAS		ABSCISA (m)	COTA	φ Tubería (mm)	Material Tubería	PEND. ANTERIOR (%)	PEND. POSTERIOR (%)	PT (mca)
		NORTE	ESTE							
VA34	Va1_SMCA	507.505,41	9.990.544,79	0+343.19m	2.729,00	150	Acero	0,05	0,02	181,0
VA35	Va2_SMCA	507.520,33	9.990.534,72	0+447.93m	2.728,59	150	Acero	0,03	0,15	181,4
VA36	Va3_SMCA	508.015,34	9.990.142,26	1+006.47m	2.688,74	150	Acero	0,02	0,02	221,3
VA37	Va4_SMCA	508.543,55	9.989.702,81	1+1694.95	2.683,00	150	Acero	0,00	0,02	227,0
VA38	Va5_SMCA	508.839,40	9.989.464,75	2+115.01m	2.681,44	150	Acero	0,01	0,04	228,6
VA39	Va6_SMCA	508.870,15	9.989.439,56	2+260m	2.682,99	150	Acero	0,04	0,00	227,0
VA40	Va7_SMCA	508.982,76	9.989.347,30	2+492.2m	2.682,30	150	Acero	0,00	0,00	227,7
VA41	Va8_SMCA	508.984,08	9.989.148,40	2+669.09m	2.670,38	150	Acero	0,013	0,07	239,6
VA42	AV9_SMCA	509.121,05	9.989.355,52	2+833.60m	2.638,97	150	Acero	0,119	0,17	271,0

VA_SMCM_SMCB										
Nº VALVULA	Label	COORDENADAS		ABSCISA (m)	COTA	φ Tubería (mm)	Material Tubería	PEND. ANTERIOR (%)	PEND. POSTERIOR (%)	PT (mca)
		NORTE	ESTE							
VA43	AV-SMCM1	509.829,77	9.989.607,29	4+140.83m	2.566,59	200	Acero	0,02	0,12	-2566,6
VA44	AV-SMCM2	509.841,75	9.989.599,22	4+192.35m	2.566,28	200	Acero	0,02	0,13	-2566,3

Tabla 69: Datos para las válvulas de aire (tramo 3)

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Valvulas de aire que van en la EDC e Interconexiones				
No. Válvula	Label	Elevation (m)	Pressure Head (m)	Presion Estatica
VA45	AV_OYAC_1	2.406,68	79,44	85,52
VA46	AV_OYAC_2	2.406,68	79,46	85,52
VA47	AV_OYAC_3	2.406,68	79,44	85,52
VA48	AV_OYAC_4	2.406,68	79,46	85,52
VA49	AV_SMCB_1	2.487,20	78,96	89,40
VA50	AV_SMCB_2	2.487,20	78,96	89,40
VA51	AV_SMCB_3	2.487,20	78,96	89,40
VA52	AV_SMCB_4	2.487,20	78,96	89,40
VA53	AV_PVE_1	2.565,23	90,85	94,88
VA54	AV_PVE_2	2.565,23	90,85	94,88
VA55	AV_PVE_3	2.565,23	90,85	94,88
VA56	AV_PVE_4	2.565,23	90,85	94,88
VA57	AV_SMCM_1	2.571,60	35,24	47,61
VA58	AV_SMCM_2	2.571,60	35,24	47,61
VA59	AV_SMCM_3	2.571,60	35,24	47,61
VA60	AV_SMCM_4	2.571,60	35,35	47,61
VA61	AV_LLGB_1	2.602,34	45,23	50,49
VA62	AV_LLGB_2	2.602,34	45,51	50,49
VA63	AV_LLGB_3	2.602,34	45,51	50,49
VA64	AV_LLGB_4	2.602,34	45,51	50,49
VA65	AV_SMCA_1	2.614,21	110,16	300,79
VA66	AV_SMCA_2	2.614,21	110,1	300,79
VA67	AV_SMCA_3	2.614,21	110,1	300,79
VA68	AV_SMCA_4	2.614,21	110,1	300,79
VA69	AV_LLGA_1	2.647,83	34,12	41,94
VA70	AV_LLGA_2	2.647,83	34,12	41,94
VA71	AV_LLGA_3	2.647,83	33,95	41,94
VA72	AV_LLGA_4	2.647,83	34,12	41,94
VA73	AV_BR_1	2.655,12	67,98	73,77
VA74	AV_BR_2	2.655,12	67,98	73,77
VA75	AV_BR_3	2.655,12	67,98	73,77
VA76	AV_BR_4	2.655,12	67,98	73,77
VA77	AV_Der_SL_CE_1	2.660,21	103,54	249,79
VA78	AV_Der_SL_CE_2	2.660,21	103,55	249,79
VA79	AV_Der_SL_CE_3	2.660,24	103,58	249,76
VA80	AV_Cu_E_1	2.684,77	54,02	225,23
VA81	AV_Cu_E_2	2.684,77	54,02	225,23
VA82	AV_Cu_E_3	2.684,77	54,02	225,23
VA83	AV_Cu_E_4	2.684,77	54,02	225,23
VA84	AV_Inx_ElCarmen_1	2.685,40	69,63	224,60
VA85	AV_Inx_ElCarmen_2	2.685,40	69,55	224,60
VA86	AV_SL1_1	2.685,81	69,03	224,19
VA87	AV_SL1_2	2.685,81	69,03	224,19
VA88	AV_SL1_3	2.685,81	69,03	224,19
VA89	AV_SL1_4	2.685,81	69,03	224,19
VA90	AV_AR_1	2.689,22	64,26	220,78
VA91	AV_AR_2	2.689,22	64,26	220,78
VA92	AV_AR_3	2.689,22	64,26	220,78
VA93	AV_AR_4	2.689,22	64,24	220,78
VA94	VA-1_Der_Are	2.696,80	57,92	213,20
VA95	VA-2_Der_Are	2.696,80	57,73	213,20
VA96	VA-3_Der_Are	2.696,80	57,73	213,20
VA97	VA-1_Der_SJM_SMCA	2.723,34	83,15	186,66
VA98	VA-2_Der_SJM_SMCA	2.723,34	83,09	186,66
VA99	VA-3_Der_SJM_SMCA	2.723,34	83,1	186,66
VA100	AV_SJM2_1	2.723,89	81,61	186,11

VA101	AV_SJM2_2	2.723,89	81,61	186,11
VA102	AV_SJM2_3	2.723,89	81,61	186,11
VA103	AV_SJM2_4	2.723,89	81,61	186,11
VA104	AV_CR_1	2.724,87	28,84	185,13
VA105	AV_CR_2	2.724,87	28,84	185,13
VA106	AV_CR_3	2.724,87	28,84	185,13
VA107	AV_CR_4	2.724,87	28,84	185,13
VA108	AV_SJM1_1	2.724,93	80,98	185,07
VA109	AV_SJM1_2	2.724,93	80,98	185,07
VA110	AV_SJM1_3	2.724,93	80,98	185,07
VA111	AV_SJM1_4	2.724,93	80,98	185,07
VA112	VA-1_Fin_Ref	2.725,05	81,6	184,95
VA113	VA-2_Fin_Ref	2.725,05	81,6	184,95
VA114	VA-3_Fin_Ref	2.725,05	81,6	184,95
VA115	VA-4_Fin_Ref	2.725,05	81,6	184,95
VA116	VA-5_Fin_Ref	2.725,05	81,6	184,95
VA117	VA-6_Fin_Ref	2.725,05	81,6	184,95
VA118	AV_Der_Cr_1	2.727,00	27,47	183,00
VA119	AV_Der_Cr_2	2.727,00	27,47	183,00
VA120	AV_Inx_MJ_1	2.761,43	53,84	148,57
VA121	AV_Inx_MJ_2	2.761,43	53,84	148,57
VA122	AV_Inx_MJ_3	2.761,43	53,78	148,57
VA123	AV_Inx_MJ_4	2.761,43	53,77	148,57
VA124	AV_Inx_MJ_5	2.761,43	53,94	148,57
VA125	AV_Inx_MJ_6	2.761,43	53,88	148,57
VA126	AV_Der_MJ2_1	2.761,85	51,81	148,15
VA127	AV_Der_MJ2_1	2.761,85	51,68	148,15
VA128	AV_MJ2_1	2.761,85	51,68	148,15
VA129	AV_MJ2_2	2.761,85	51,68	148,15
VA130	AV_MJ2_3	2.761,85	51,68	148,15
VA131	AV_MJ2_4	2.761,85	51,68	148,15
VA132	AV_MJ1_1	2.763,15	51	146,85
VA133	AV_MJ1_2	2.763,15	51	146,85
VA134	AV_MJ1_3	2.763,15	51	146,85
VA135	AV_MJ1_4	2.763,15	51	146,85
VA136	VA-1_IN_MJ1	2.767,15	49,04	142,85
VA137	VA-2_Der_MJ1	2.767,15	49,11	142,85
VA138	VA-3_Der_MJ1	2.767,15	49,14	142,85
VA139	AV6_CJ_Ini_Ref	2.776,54	78,94	133,46
VA140	AV4_CJ_Ini_Ref	2.776,67	79,02	133,33
VA141	AV5_CJ_Ini_Ref	2.776,67	78,43	133,33
VA142	AV2_CJ_Ini_Ref	2.776,74	79,19	133,26
VA143	AV3_CJ_Ini_Ref	2.776,76	78,9	133,24
VA144	VA-1_Der_SICB	2.809,66	19,83	100,34
VA145	VA-2_Der_SICB	2.809,66	19,82	100,34
VA146	VA-3_Der_SICB	2.809,66	19,82	100,34
VA147	AV_SICB_1	2.809,66	19,77	100,34
VA148	AV_SICB_2	2.809,66	19,77	100,34
VA149	AV_SICB_3	2.809,66	19,77	100,34
VA150	AV_SICB_4	2.809,66	19,77	100,34
VA151	AV_SICA_1	2.847,84	19,77	62,16
VA152	AV_SICA_2	2.847,84	19,77	62,16
VA153	AV_SICA_3	2.847,84	19,77	62,16
VA154	AV_SICA_4	2.847,84	19,77	62,16

Tabla 70: Datos para las válvulas de aire en EDC's e Interconexiones

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Con estos datos y como criterio de diseño, se definen dos grupos de válvulas, con DN100 y DN50 y con valores de pendientes (slope) críticos en cada caso de las válvulas de aire, estos son:

- DN 100 con pendientes (slope) menores o iguales a 0,20.
- DN 50 con pendientes (slope) menores o iguales a 0.14.

8.7.1. NORMAS TÉCNICAS PARA CÁLCULO DE VÁLVULAS DE AIRE

Para el cálculo y dimensionamiento de las válvulas de aire se utilizarán fundamentalmente las siguientes Normas Técnicas:

- Norma de American Water Works Association, AWWA Manual M11: Steel Pipe - A Guide for Design and Installation, Fourth Edition.
- Norma ANSI/AWWA C512.

8.7.2. REQUERIMIENTOS DE EXPULSIÓN DE AIRE Y ALIVIO DE VACÍO

El caudal Q de expulsión y alivio de vacío de las tuberías se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.0007872 * C * \sqrt{S * d^5} \quad (27)$$

Donde:

- Q: Caudal total de expulsión y alivio de vacío en cfs.
 C: Coeficiente de Chezy (para este caso C=130).
 S: Slope (pendiente m/m) de la tubería
 d: Diámetro interno de la tubería en pulgadas.

En las Tablas 74 y 75 se ha procedido a calcular el caudal Q total de expulsión y alivio de vacío de la tubería de conducción y con el criterio de diseño que este caudal total deberá ser desalojado por las válvulas de aire determinadas para la conducción, se ha calculado también el caudal x válvula correspondiente a cada una de las válvulas de aire, para los dos grupos DN 100 y DN50.

CAUDAL POR VÁLVULA DE AIRE DN 100 mm

C	S	d	Q	Q total	Q x válvula
		pulgadas	cfs	m3/s	m3/s
	0,00	32,00	0,00	0,00	0,00
130,00	0,10	32,00	187,46	5,31	0,27
130,00	0,20	32,00	265,11	7,50	0,38
130,00	0,30	32,00	324,69	9,19	0,46
130,00	0,40	32,00	374,92	10,61	0,53
130,00	0,50	32,00	419,17	11,86	0,59
130,00	0,60	32,00	459,18	12,99	0,65
130,00	0,70	32,00	495,97	14,04	0,70
130,00	0,80	32,00	530,21	15,00	0,75
130,00	0,90	32,00	562,37	15,92	0,80
130,00	1,00	32,00	592,79	16,78	0,84
130,00	1,10	32,00	621,73	17,59	0,88
130,00	1,20	32,00	649,37	18,38	0,92

Tabla 71: Caudal de expulsión de aire y alivio de vacío para DN100

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

CAUDAL POR VÁLVULA DE AIRE DN 100 mm

C	S	d	Q	Q total	Q x válvula
		pulgadas	cfs	m3/s	m3/s
130,00	0,00	32,00	0,00	0,00	0,00
130,00	0,10	32,00	187,46	5,31	0,27
130,00	0,20	32,00	265,11	7,50	0,38
130,00	0,30	32,00	324,69	9,19	0,46
130,00	0,40	32,00	374,92	10,61	0,53
130,00	0,50	32,00	419,17	11,86	0,59
130,00	0,60	32,00	459,18	12,99	0,65
130,00	0,70	32,00	495,97	14,04	0,70
130,00	0,80	32,00	530,21	15,00	0,75
130,00	0,90	32,00	562,37	15,92	0,80
130,00	1,00	32,00	592,79	16,78	0,84
130,00	1,10	32,00	621,73	17,59	0,88
130,00	1,20	32,00	649,37	18,38	0,92

Tabla 72: Caudal de expulsión de aire y alivio de vacío para DN50
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

8.7.3. CAPACIDAD DE EXPULSIÓN DE AIRE

De conformidad con las Normas indicadas, el cálculo de la capacidad de expulsión de la válvula de aire se realiza utilizando la ecuación siguiente:

$$q = 678 * Y * d^2 * \sqrt{\frac{\Delta P * P1}{T1 * Sg}} \quad (28)$$

Donde:

- q: Capacidad de expulsión de aire en scfm.
- Y: Factor de expansión (para este caso Y=0.85)
- d: Diámetro de la válvula en pulgadas.
- C: Coeficiente de descarga (para este caso C=0.6).
- ΔP: Gradiente de presión (recomendado mínimo 5 psi).
- P1: Presión de referencia (recomendado 19,7 psia).
- T1: Temperatura de referencia (para este caso 520 °R).
- Sg: Gravedad específica (para el aire Sg= 1).

En las Tablas 76 y 77 se ha procedido a calcular la capacidad de expulsión correspondiente a cada una de las válvulas de aire, para los dos grupos DN 100 y DN50.

CAPACIDAD DE EXPULSIÓN DE LA VALVULA DE AIRE DE DN 100 mm

Y	d	C	ΔP	P1	T1	Sg	q	ΔP	q
	pulgadas		psi	psia	oR		scfm	bar	m3/s
0,85	4,00	0,60	0,00	19,70	520,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,85	4,00	0,60	1,00	19,70	520,00	1,00	1076,84	0,07	0,51
0,85	4,00	0,60	2,00	19,70	520,00	1,00	1522,88	0,14	0,72
0,85	4,00	0,60	3,00	19,70	520,00	1,00	1865,14	0,20	0,88
0,85	4,00	0,60	4,00	19,70	520,00	1,00	2153,68	0,27	1,01
0,85	4,00	0,60	5,00	19,70	520,00	1,00	2407,89	0,34	1,13
0,85	4,00	0,60	6,00	19,70	520,00	1,00	2637,71	0,41	1,24
0,85	4,00	0,60	7,00	19,70	520,00	1,00	2849,05	0,48	1,34
0,85	4,00	0,60	8,00	19,70	520,00	1,00	3045,76	0,54	1,43
0,85	4,00	0,60	9,00	19,70	520,00	1,00	3230,52	0,61	1,52
0,85	4,00	0,60	10,00	19,70	520,00	1,00	3405,27	0,68	1,60
0,85	4,00	0,60	11,00	19,70	520,00	1,00	3571,48	0,75	1,68
0,85	4,00	0,60	12,00	19,70	520,00	1,00	3730,28	0,82	1,75
0,85	4,00	0,60	13,00	19,70	520,00	1,00	3882,60	0,88	1,82
0,85	4,00	0,60	14,00	19,70	520,00	1,00	4029,17	0,95	1,89
0,85	4,00	0,60	15,00	19,70	520,00	1,00	4170,58	1,02	1,96
0,85	4,00	0,60	16,00	19,70	520,00	1,00	4307,36	1,09	2,02
0,85	4,00	0,60	17,00	19,70	520,00	1,00	4439,93	1,16	2,09
0,85	4,00	0,60	18,00	19,70	520,00	1,00	4568,65	1,22	2,15
0,85	4,00	0,60	19,00	19,70	520,00	1,00	4693,84	1,29	2,21
0,85	4,00	0,60	20,00	19,70	520,00	1,00	4815,78	1,36	2,26
0,85	4,00	0,60	21,00	19,70	520,00	1,00	4934,70	1,43	2,32
0,85	4,00	0,60	22,00	19,70	520,00	1,00	5050,83	1,50	2,37
0,85	4,00	0,60	22,50	19,70	520,00	1,00	5107,90	1,53	2,40

SI CUMPLE LA CAPACIDAD CON UNA VÁLVULA DN 100 mm

Factor de seguridad: 3,02

Tabla 73: Capacidad de expulsión de aire para DN100

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

CAPACIDAD DE EXPULSIÓN DE LA VALVULA DE AIRE DE DN 50 mm

Y	d	C	ΔP	P1	T1	Sg	q	ΔP	q
	pulgadas		psi	psia	oR		scfm	bar	m3/s
0,85	2,00	0,60	0,00	19,70	520,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,85	2,00	0,60	1,00	19,70	520,00	1,00	269,21	0,07	0,13
0,85	2,00	0,60	2,00	19,70	520,00	1,00	380,72	0,14	0,18
0,85	2,00	0,60	3,00	19,70	520,00	1,00	466,29	0,20	0,22
0,85	2,00	0,60	4,00	19,70	520,00	1,00	538,42	0,27	0,25
0,85	2,00	0,60	5,00	19,70	520,00	1,00	601,97	0,34	0,28
0,85	2,00	0,60	6,00	19,70	520,00	1,00	659,43	0,41	0,31
0,85	2,00	0,60	7,00	19,70	520,00	1,00	712,26	0,48	0,33
0,85	2,00	0,60	8,00	19,70	520,00	1,00	761,44	0,54	0,36
0,85	2,00	0,60	9,00	19,70	520,00	1,00	807,63	0,61	0,38
0,85	2,00	0,60	10,00	19,70	520,00	1,00	851,32	0,68	0,40
0,85	2,00	0,60	11,00	19,70	520,00	1,00	892,87	0,75	0,42
0,85	2,00	0,60	12,00	19,70	520,00	1,00	932,57	0,82	0,44
0,85	2,00	0,60	13,00	19,70	520,00	1,00	970,65	0,88	0,46
0,85	2,00	0,60	14,00	19,70	520,00	1,00	1007,29	0,95	0,47
0,85	2,00	0,60	15,00	19,70	520,00	1,00	1042,65	1,02	0,49
0,85	2,00	0,60	16,00	19,70	520,00	1,00	1076,84	1,09	0,51
0,85	2,00	0,60	17,00	19,70	520,00	1,00	1109,98	1,16	0,52
0,85	2,00	0,60	18,00	19,70	520,00	1,00	1142,16	1,22	0,54
0,85	2,00	0,60	19,00	19,70	520,00	1,00	1173,46	1,29	0,55
0,85	2,00	0,60	20,00	19,70	520,00	1,00	1203,94	1,36	0,57
0,85	2,00	0,60	21,00	19,70	520,00	1,00	1233,68	1,43	0,58
0,85	2,00	0,60	22,00	19,70	520,00	1,00	1262,71	1,50	0,59
0,85	2,00	0,60	22,50	19,70	520,00	1,00	1276,98	1,53	0,60

SI CUMPLE LA CAPACIDAD CON UNA VÁLVULA DN 50 mm

Factor de seguridad: 2,92

Tabla 74: Capacidad de expulsión de aire para DN50

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

8.7.4. CAPACIDAD DE ALIVIO DEL VACIO

De conformidad con las Normas indicadas, el cálculo de la capacidad de alivio de vacío de la válvula de aire se realiza utilizando la misma ecuación anterior, pero con valores diferentes de los coeficientes, es decir:

$$q = 678 * Y * d^2 * \sqrt{\frac{\Delta P * P1}{T1 * Sg}} \quad (29)$$

Donde:

- q: Capacidad de aliviar el vacío de aire en scfm.
- Y: Factor de expansión (para este caso Y=0.79)
- d: Diámetro de la válvula en pulgadas.
- C: Coeficiente de descarga (para este caso C=0.6).
- ΔP : Gradiente de presión de vacío (recomendado mínimo 5 psi).
- P1: Presión de referencia (recomendado 14,7 psia).
- T1: Temperatura de referencia (para este caso 520 °R).
- Sg: Gravedad específica (para el aire Sg= 1).

En las Tablas 78 y 79 se ha procedido a calcular la capacidad de alivio de vacío correspondiente a cada una de las válvulas de aire, para los dos grupos DN 100 y DN50.

CAPACIDAD DE ALIVIO DE VACIO DE LA VALVULA DE AIRE DE 100 mm

Y	d	C	ΔP	P1	T1	Sg	q	ΔP	q
	pulgadas		psi	psia	oR		scfm	bar abs	m3/s
0,79	4,00	0,60	0,00	14,70	520,00	1,00	0,00	1,00	0,00
0,79	4,00	0,60	0,60	14,70	520,00	1,00	669,67	0,96	0,31
0,79	4,00	0,60	1,20	14,70	520,00	1,00	947,06	0,92	0,45
0,79	4,00	0,60	1,80	14,70	520,00	1,00	1159,90	0,88	0,55
0,79	4,00	0,60	2,40	14,70	520,00	1,00	1339,34	0,84	0,63
0,79	4,00	0,60	3,00	14,70	520,00	1,00	1497,43	0,80	0,70
0,79	4,00	0,60	3,60	14,70	520,00	1,00	1640,35	0,76	0,77
0,79	4,00	0,60	4,20	14,70	520,00	1,00	1771,78	0,71	0,83
0,79	4,00	0,60	4,80	14,70	520,00	1,00	1894,11	0,67	0,89
0,79	4,00	0,60	5,40	14,70	520,00	1,00	2009,01	0,63	0,94
0,79	4,00	0,60	6,00	14,70	520,00	1,00	2117,68	0,59	1,00
0,79	4,00	0,60	6,60	14,70	520,00	1,00	2221,04	0,55	1,04
0,79	4,00	0,60	7,20	14,70	520,00	1,00	2319,80	0,51	1,09
0,79	4,00	0,60	7,80	14,70	520,00	1,00	2414,53	0,47	1,13
0,79	4,00	0,60	8,40	14,70	520,00	1,00	2505,67	0,43	1,18
0,79	4,00	0,60	9,00	14,70	520,00	1,00	2593,62	0,39	1,22
0,79	4,00	0,60	9,60	14,70	520,00	1,00	2678,68	0,35	1,26
0,79	4,00	0,60	10,20	14,70	520,00	1,00	2761,12	0,31	1,30
0,79	4,00	0,60	10,80	14,70	520,00	1,00	2841,17	0,27	1,34
0,79	4,00	0,60	11,40	14,70	520,00	1,00	2919,02	0,22	1,37
0,79	4,00	0,60	12,00	14,70	520,00	1,00	2994,85	0,18	1,41
0,79	4,00	0,60	12,60	14,70	520,00	1,00	3068,81	0,14	1,44
0,79	4,00	0,60	13,20	14,70	520,00	1,00	3141,03	0,10	1,48
0,79	4,00	0,60	13,80	14,70	520,00	1,00	3211,62	0,06	1,51

SI CUMPLE LA CAPACIDAD CON UNA VÁLVULA DN 100 mm
Factor de seguridad: 2,37

Tabla 75: Capacidad de alivio de vacío para DN100

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

CAPACIDAD DE ALIVIO DE VACIO DE LA VALVULA DN 50 mm

Y	d	C	ΔP	P1	T1	Sg	q	ΔP	q
	pulgadas		psi	psia	oR		scfm	bar abs	m3/s
0,79	2,00	0,60	0,00	14,70	520,00	1,00	0,00	1,00	0,00
0,79	2,00	0,60	0,60	14,70	520,00	1,00	167,42	0,96	0,08
0,79	2,00	0,60	1,20	14,70	520,00	1,00	236,76	0,92	0,11
0,79	2,00	0,60	1,80	14,70	520,00	1,00	289,98	0,88	0,14
0,79	2,00	0,60	2,40	14,70	520,00	1,00	334,83	0,84	0,16
0,79	2,00	0,60	3,00	14,70	520,00	1,00	374,36	0,80	0,18
0,79	2,00	0,60	3,60	14,70	520,00	1,00	410,09	0,76	0,19
0,79	2,00	0,60	4,20	14,70	520,00	1,00	442,94	0,71	0,21
0,79	2,00	0,60	4,80	14,70	520,00	1,00	473,53	0,67	0,22
0,79	2,00	0,60	5,40	14,70	520,00	1,00	502,25	0,63	0,24
0,79	2,00	0,60	6,00	14,70	520,00	1,00	529,42	0,59	0,25
0,79	2,00	0,60	6,60	14,70	520,00	1,00	555,26	0,55	0,26
0,79	2,00	0,60	7,20	14,70	520,00	1,00	579,95	0,51	0,27
0,79	2,00	0,60	7,80	14,70	520,00	1,00	603,63	0,47	0,28
0,79	2,00	0,60	8,40	14,70	520,00	1,00	626,42	0,43	0,29
0,79	2,00	0,60	9,00	14,70	520,00	1,00	648,40	0,39	0,30
0,79	2,00	0,60	9,60	14,70	520,00	1,00	669,67	0,35	0,31
0,79	2,00	0,60	10,20	14,70	520,00	1,00	690,28	0,31	0,32
0,79	2,00	0,60	10,80	14,70	520,00	1,00	710,29	0,27	0,33
0,79	2,00	0,60	11,40	14,70	520,00	1,00	729,76	0,22	0,34
0,79	2,00	0,60	12,00	14,70	520,00	1,00	748,71	0,18	0,35
0,79	2,00	0,60	12,60	14,70	520,00	1,00	767,20	0,14	0,36
0,79	2,00	0,60	13,20	14,70	520,00	1,00	785,26	0,10	0,37
0,79	2,00	0,60	13,80	14,70	520,00	1,00	802,91	0,06	0,38

SI CUMPLE LA CAPACIDAD CON UNA VÁLVULA DN 50 mm
Factor de seguridad: 2,30

Tabla 76: Capacidad de alivio de vacío para DN50

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

8.7.5. CAPACIDAD DE EXPULSIÓN DE AIRE ATRAPADO EN LA TUBERÍA

Como se había indicado anteriormente, la tercera función de la válvula de aire es la de desalojar las microburbujas o pequeños volúmenes de aire que quedan atrapados en la tubería; de conformidad con las Normas indicadas, el caudal de aire atrapado dependerá de la presión a la que se encuentre el fluido en la tubería de conducción; este caudal puede ser calculado con la ecuación siguiente:

$$q = 0.02 * Q \quad (30)$$

Donde:

q: Caudal de aire atrapado en la tubería scfm.

Q: Caudal de agua en la tubería GPM.

Como se puede observar en la Tabla 80 se ha determinado el caudal crítico de aire atrapado en la tubería crítico con el caudal de agua, para los dos grupos DN 100 y DN50.

Q	Q	q	q	PRESION MAXIMA
m3/s	GPM	scfm	m3/h	(m.c.a.)
1,20	19020,44	380,41	646,31	1000

Tabla 77: Capacidad de alivio de vacío para DN100

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

La capacidad de cada válvula de aire para evacuar el aire atrapado en la tubería de conducción se calcula con la siguiente ecuación:

$$q = 14.5 * d^2 * C * (P + 14.7) \quad (31)$$

Donde:

- q: Caudal de aire atrapado en la tubería scfm.
- d: Diámetro del orificio de expulsión de aire atrapado. (para este caso se ha seleccionado el diámetro comercial 9/16 pulgada).
- C: Coeficiente de descarga (para este caso 0.65).
- P: Presión del fluido en el interior de la tubería en psig.

En la Tabla 81 se calcula la capacidad de expulsión del aire atrapado en la tubería, para los dos grupos DN 100 y DN50, en scfm y m3/h, con un diámetro de orificio auxiliar de 1/2 pulgada.

**CAPACIDAD DE EVACUAR EL AIRE ATRAPADO EN TUBERÍA
VALVULAS DE AIRE DN100 y DN50 CON ORIFICIO DE 1/2 PULGADAS**

P	d	C	q	P	q
psi	pulgadas		scfm	m.c.a.	m3/h
0,00	0,500	0,65	34,64	0,00	58,848
70,00	0,500	0,65	199,57	49,19	339,077
140,00	0,500	0,65	364,51	98,38	619,306
210,00	0,500	0,65	529,45	147,57	899,534
280,00	0,500	0,65	694,39	196,76	1179,763
350,00	0,500	0,65	859,32	245,95	1459,992
420,00	0,500	0,65	1024,26	295,14	1740,221
490,00	0,500	0,65	1189,20	344,33	2020,450
560,00	0,500	0,65	1354,14	393,52	2300,679
650,00	0,500	0,65	1566,20	456,77	2660,973
720,00	0,500	0,65	1731,14	505,96	2941,202
790,00	0,500	0,65	1896,07	555,15	3221,430
860,00	0,500	0,65	2061,01	604,34	3501,659
930,00	0,500	0,65	2225,95	653,53	3781,888
1000,00	0,500	0,65	2390,89	702,72	4062,117
1070,00	0,500	0,65	2555,82	751,91	4342,346
1140,00	0,500	0,65	2720,76	801,10	4622,574
1210,00	0,500	0,65	2885,70	850,29	4902,803
1280,00	0,500	0,65	3050,64	899,48	5183,032
1350,00	0,500	0,65	3215,57	948,67	5463,261
1420,00	0,500	0,65	3380,51	997,86	5743,490
1490,00	0,500	0,65	3545,45	1047,05	6023,718
1560,00	0,500	0,65	3710,39	1096,24	6303,947
1630,00	0,500	0,65	3875,32	1145,44	6584,176

SI CUMPLE LA CAPACIDAD TODOS LOS GRUPOS DE PENDIENTES

Factor de seguridad: 5,42

Tabla 78: Capacidad de expulsión del aire atrapado en la tubería

Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

Las características técnicas de las válvulas de aire de triple función paso completo de DN100 y DN50 para la Línea de Transmisión y Redes de Calderón, se incluyen en la Tabla 82, basándose en las Normas ANSI/ASME B16.34 (American National Standard/American Society of Mechanical Engineers).

Es importante indicar que todas las válvulas de aire seleccionadas son de paso completo (tamaño de la válvula igual para la salida y entrada del aire).

Las válvulas de aire tienen un funcionamiento automático por diferencia de presiones es decir hidromecánico.

VA_linea_PTAP_Carretas					
Nº Válvula	PT (mca)	Cantidad	DN Válvula aire	PN	Accionamiento
VA1	47,29	2	100,00	20	Automático hidromecánico
VA2	58,81	2	100,00	20	
VA3	59,31	2	100,00	20	
VA4	59,50	2	100,00	20	
VA5	57,97	2	100,00	20	
VA6	89,56	2	100,00	20	
VA7	115,96	2	100,00	20	
VA8	136,01	2	100,00	20	
VA9	131,38	2	100,00	20	
VA10	129,75	2	100,00	20	
VA11	135,28	2	100,00	20	
VA12	133,30	2	100,00	20	
VA13	100,40	2	100,00	20	
VA14	117,20	2	100,00	20	
VA15	128,01	2	100,00	20	
VA16	153,36	2	100,00	20	
VA17	183,75	2	100,00	20	
VA18	189,06	2	100,00	20	
VA19	217,11	2	100,00	40	
VA20	232,05	2	100,00	40	
VA21	247,26	2	100,00	40	
VA22	251,11	2	100,00	40	
VA23	248,47	2	100,00	40	
VA24	255,76	2	100,00	40	
VA25	261,31	2	100,00	40	
VA26	248,48	2	100,00	40	
VA27	222,96	2	100,00	40	
VA28	186,20	2	100,00	20	
Total:		56,00			

VA_linea_SJCA				
Nº Válvula	PT (mca)	Cantidad	DN Válvula aire	PN
VA29	47,29	2	100,00	20
VA30	58,81	2	100,00	20
VA31	59,31	2	100,00	20
VA32	59,50	2	100,00	20
VA33	57,97	2	100,00	20
Total:		10		

VA_Linea_Der_SMCA_Oy				
Nº Válvula	PT (mca)	Cantidad	DN Válvula aire	PN
VA34	181,0	2	50,00	20
VA35	181,4	2	50,00	20
VA36	221,3	2	50,00	40
VA37	227,0	2	50,00	40
VA38	228,6	2	50,00	40
VA39	227,0	2	50,00	40
VA40	227,7	2	50,00	40
VA41	239,6	2	50,00	40
VA42	271,0	2	50,00	40
Total:		18		

VA_SMCM_SMCB				
Nº Válvula	PT (mca)	Cantidad	DN Válvula aire	PN
VA43	8,4	2	50,00	20
VA44	8,7	2	50,00	20
Total:		4		

Valvulas de aire que van en la EDC e Interconexiones					
No. Válvula	PT (mca)	Cantidad	DN Válvula aire	PN	Accionamiento
VA45	85,52	1	50,00	20	Automático hidromecánico
VA46	85,52	1	50,00	20	
VA47	85,52	1	50,00	20	
VA48	85,52	1	50,00	20	
VA49	89,40	1	50,00	20	
VA50	89,40	1	50,00	20	
VA51	89,40	1	50,00	20	
VA52	89,40	1	50,00	20	
VA53	94,88	1	50,00	20	
VA54	94,88	1	50,00	20	
VA55	94,88	1	50,00	20	
VA56	94,88	1	50,00	20	
VA57	47,61	1	50,00	20	
VA58	47,61	1	50,00	20	
VA59	47,61	1	50,00	20	
VA60	47,61	1	50,00	20	
VA61	50,49	1	50,00	20	
VA62	50,49	1	50,00	20	
VA63	50,49	1	50,00	20	
VA64	50,49	1	50,00	20	
VA65	300,79	1	50,00	20	
VA66	300,79	1	50,00	20	
VA67	300,79	1	50,00	20	
VA68	300,79	1	50,00	20	
VA69	41,94	1	50,00	20	
VA70	41,94	1	50,00	20	
VA71	41,94	1	50,00	20	
VA72	41,94	1	50,00	20	
VA73	73,77	1	50,00	20	
VA74	73,77	1	50,00	20	
VA75	73,77	1	50,00	20	
VA76	73,77	1	50,00	20	
VA77	249,79	1	50,00	20	
VA78	249,79	1	50,00	20	
VA79	249,76	1	50,00	20	
VA80	225,23	1	50,00	20	
VA81	225,23	1	50,00	20	
VA82	225,23	1	50,00	20	
VA83	225,23	1	50,00	20	
VA84	224,60	1	50,00	20	
VA85	224,60	1	50,00	20	
VA86	224,19	1	50,00	20	
VA87	224,19	1	50,00	20	
VA88	224,19	1	50,00	20	
VA89	224,19	1	50,00	20	
VA90	220,78	1	50,00	20	
VA91	220,78	1	50,00	20	
VA92	220,78	1	50,00	20	
VA93	220,78	1	50,00	20	
VA94	213,20	1	50,00	20	
VA95	213,20	1	50,00	20	
VA96	213,20	1	50,00	20	
VA97	186,66	1	50,00	20	
VA98	186,66	1	50,00	20	
VA99	186,66	1	50,00	20	
VA100	186,11	1	50,00	20	
VA101	186,11	1	50,00	20	
VA102	186,11	1	50,00	20	
VA103	186,11	1	50,00	20	
VA104	185,13	1	50,00	20	
VA105	185,13	1	50,00	20	
VA106	185,13	1	50,00	20	
VA107	185,13	1	50,00	20	
VA108	185,07	1	50,00	20	
VA109	185,07	1	50,00	20	
VA110	185,07	1	50,00	20	
VA111	185,07	1	50,00	20	
VA112	184,95	1	50,00	20	
VA113	184,95	1	50,00	20	
VA114	184,95	1	50,00	20	
VA115	184,95	1	50,00	20	
VA116	184,95	1	50,00	20	
VA117	184,95	1	50,00	20	
VA118	183,00	1	50,00	20	
VA119	183,00	1	50,00	20	
VA120	148,57	1	50,00	20	

VA121	148,57	1	50,00	20
VA122	148,57	1	50,00	20
VA123	148,57	1	50,00	20
VA124	148,57	1	50,00	20
VA125	148,57	1	50,00	20
VA126	148,15	1	50,00	20
VA127	148,15	1	50,00	20
VA128	148,15	1	50,00	20
VA129	148,15	1	50,00	20
VA130	148,15	1	50,00	20
VA131	148,15	1	50,00	20
VA132	146,85	1	50,00	20
VA133	146,85	1	50,00	20
VA134	146,85	1	50,00	20
VA135	146,85	1	50,00	20
VA136	142,85	1	50,00	20
VA137	142,85	1	50,00	20
VA138	142,85	1	50,00	20
VA139	133,46	1	50,00	20
VA140	133,33	1	50,00	20
VA141	133,33	1	50,00	20
VA142	133,26	1	50,00	20
VA143	133,24	1	50,00	20
VA144	100,34	1	50,00	20
VA145	100,34	1	50,00	20
VA146	100,34	1	50,00	20
VA147	100,34	1	50,00	20
VA148	100,34	1	50,00	20
VA149	100,34	1	50,00	20
VA150	100,34	1	50,00	20
VA151	62,16	1	50,00	20
VA152	62,16	1	50,00	20
VA153	62,16	1	50,00	20
VA154	62,16	1	50,00	20
Total:		110		

Automático hidromecánico

Tabla 79: Características técnicas de las válvulas de aire
Fuente: Elaboración INGECONSULT, 2020.

ANEXO A:

CÁLCULOS Y CURVAS DE VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO DE PASO ANULAR

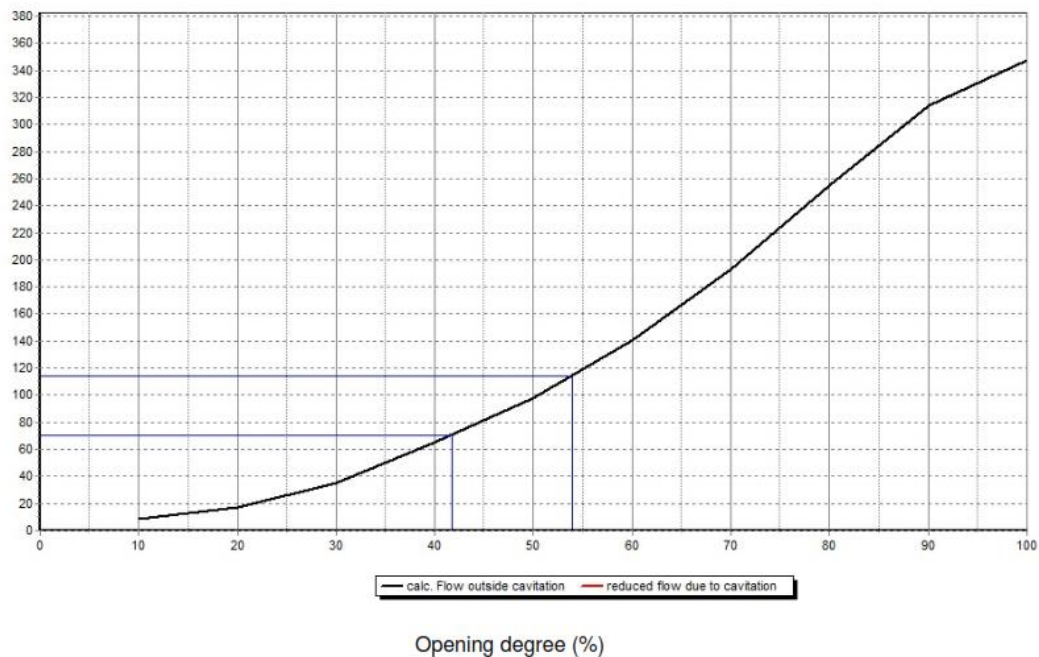
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF1 Y VCF2:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	133,64 mWC
Static downstream pressure:	3,12 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	70,77 l/s - 42%
Flow Qmax:	114,35 l/s - 54%
Altitude:	2689
Qmax Pipe system:	347,83 l/s

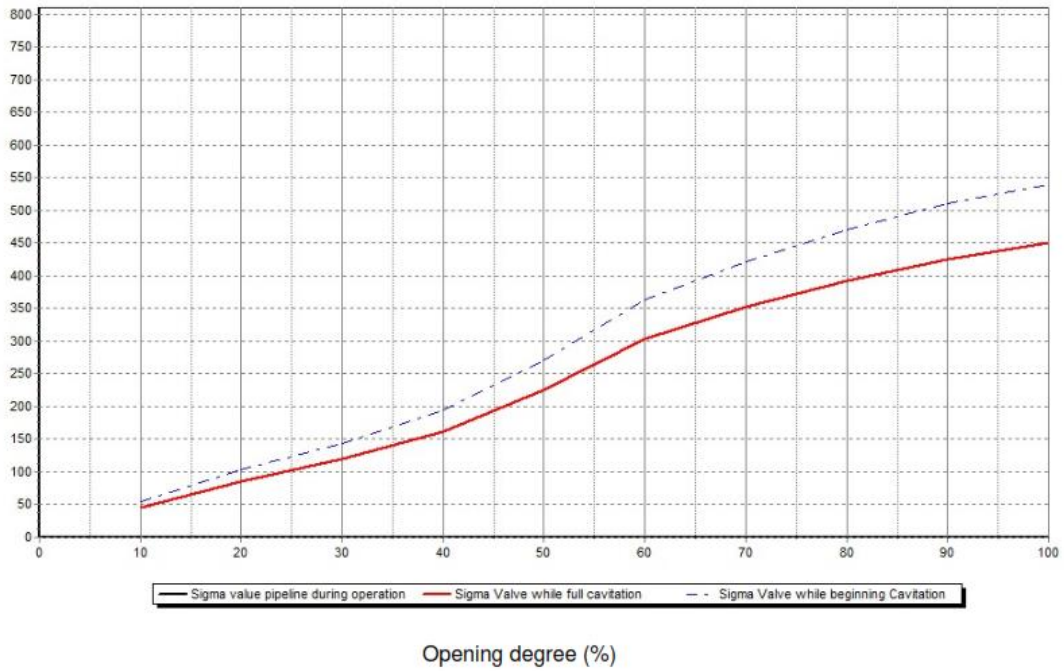
Type of regulation



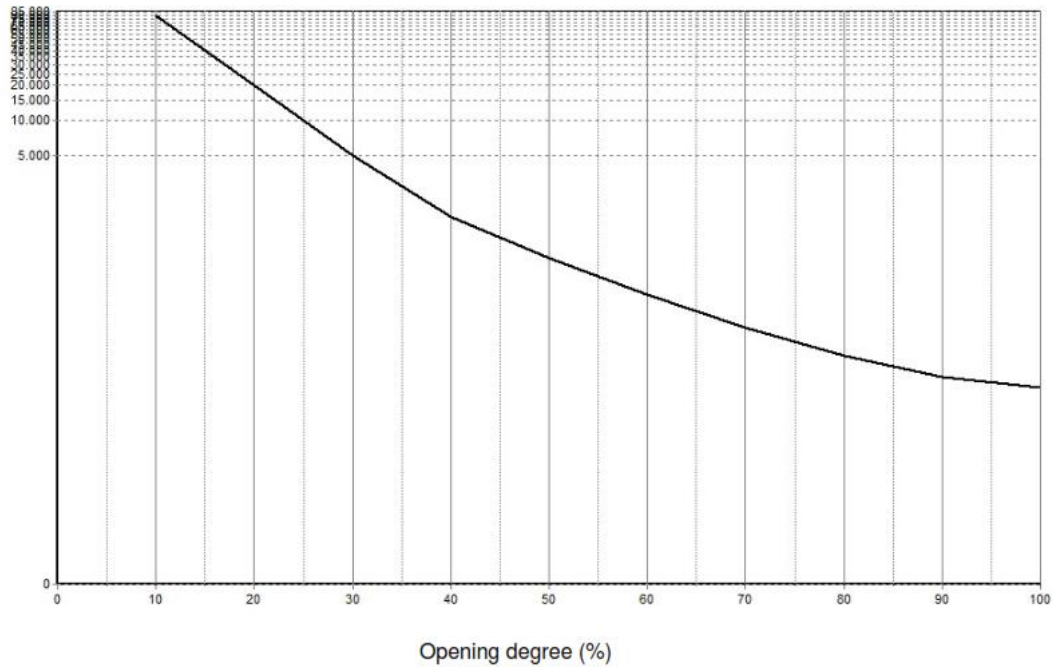
Capacity in l/s



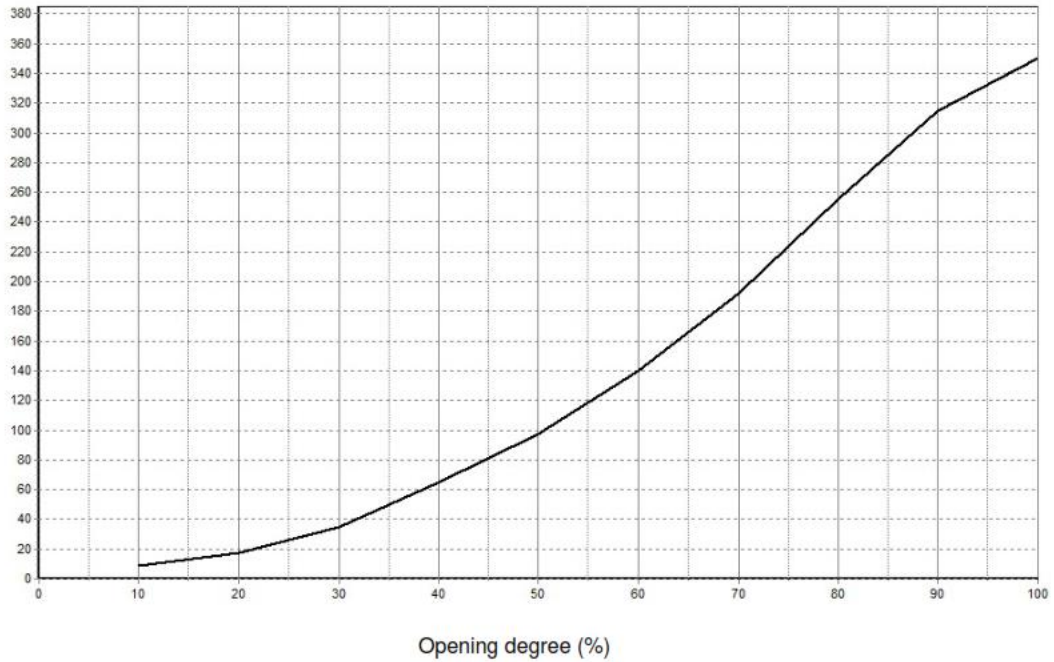
Cavitation diagram



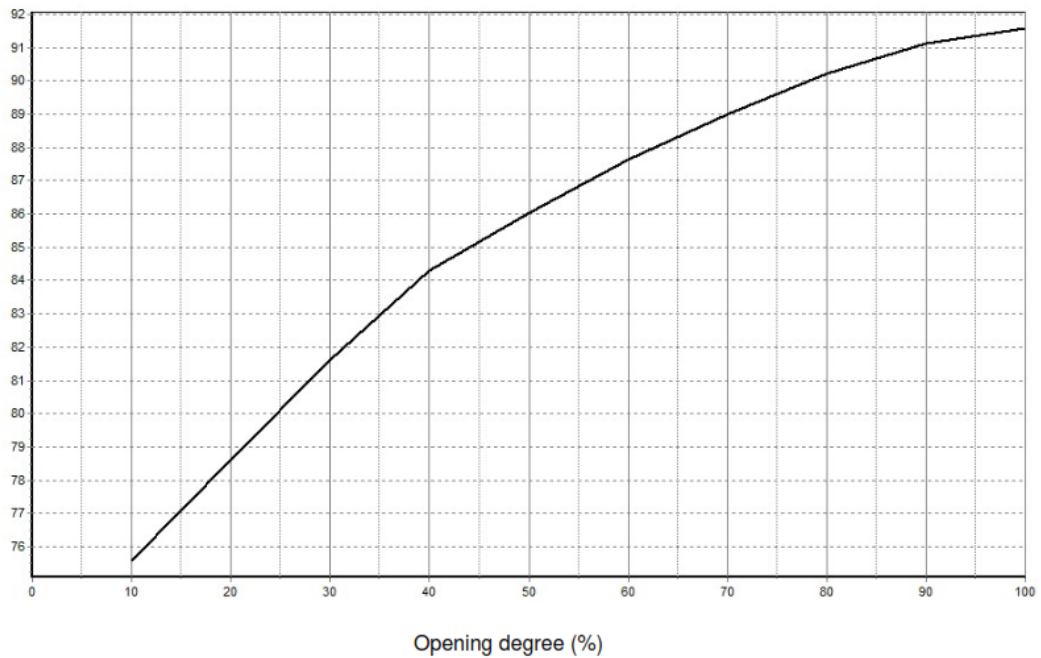
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



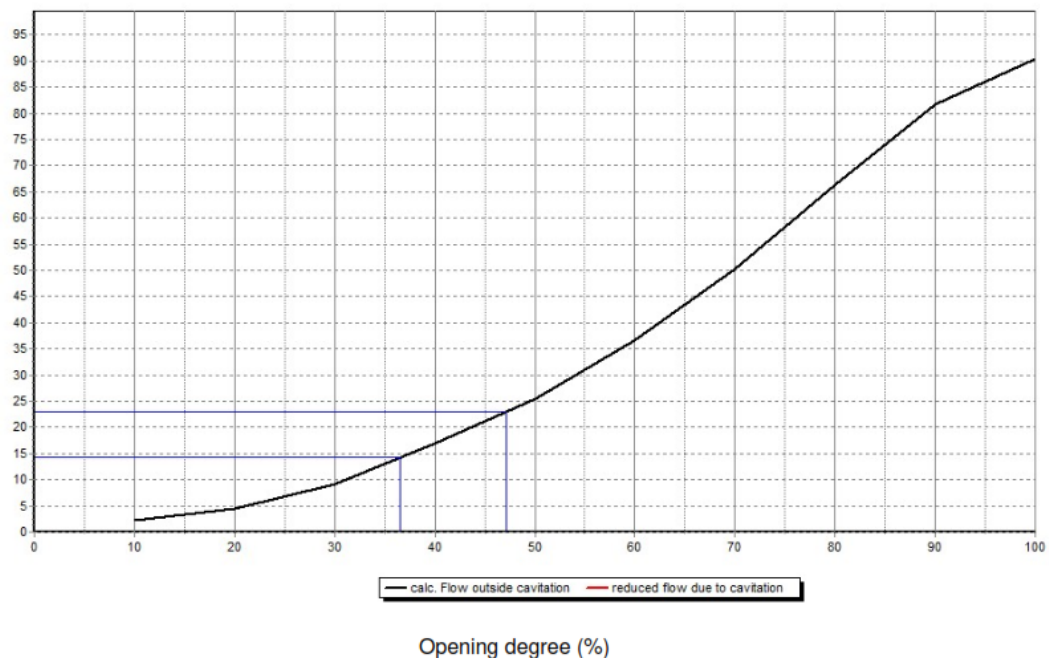
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF3 Y VCF4:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	70,31 mWC
Static downstream pressure:	2,15 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	14,20 l/s - 37%
Flow Qmax:	22,94 l/s - 47%
Altitude:	2655
Qmax Pipe system:	90,49 l/s

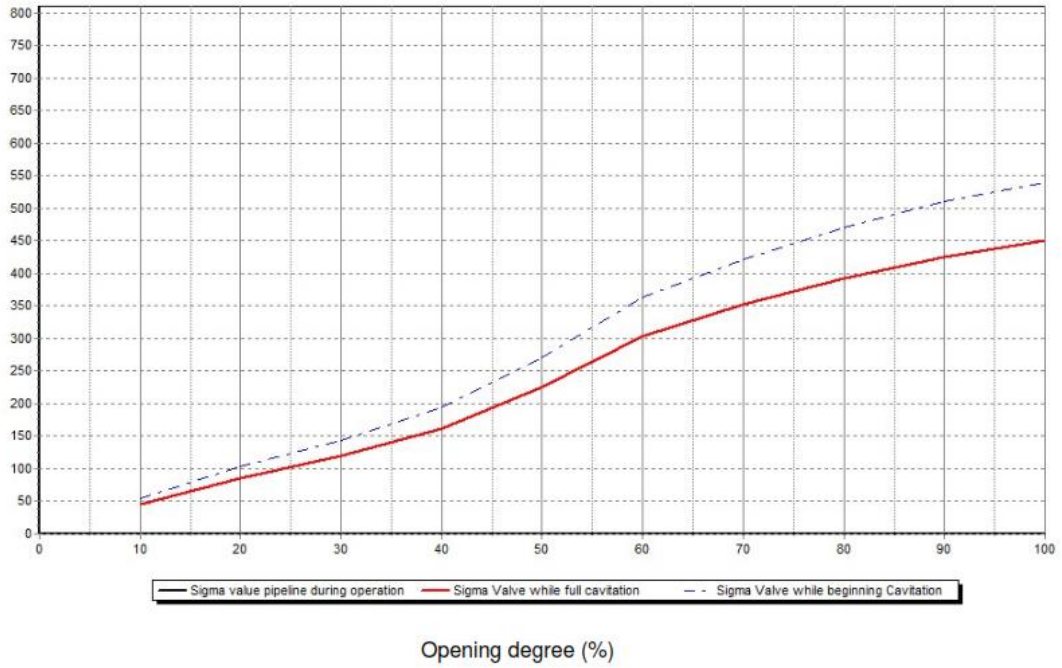
Type of regulation



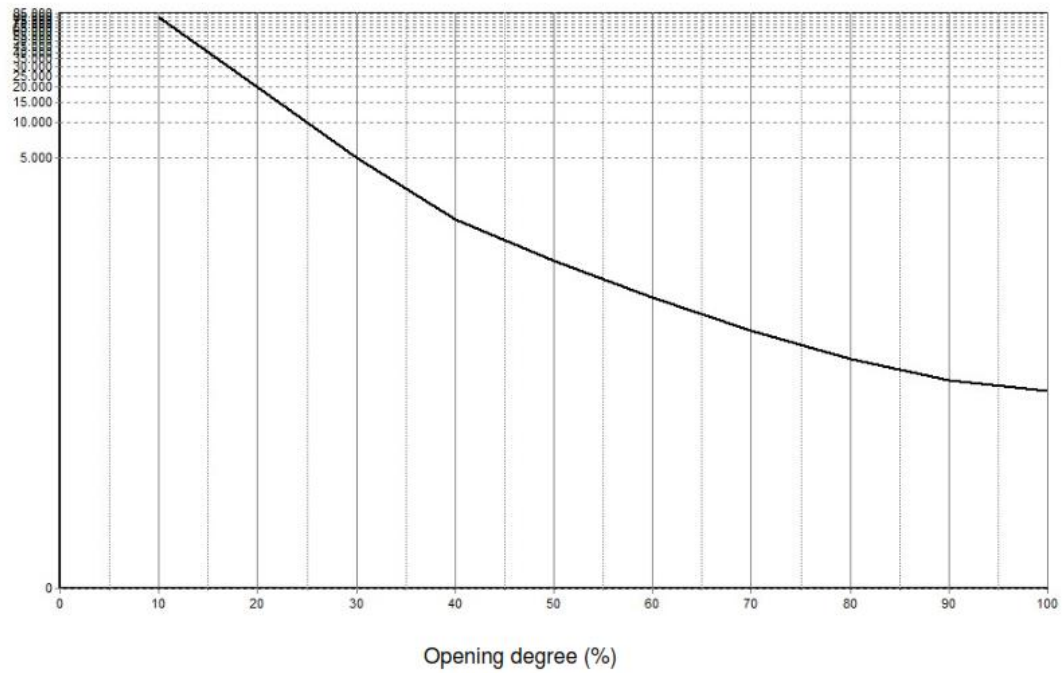
Capacity in l/s



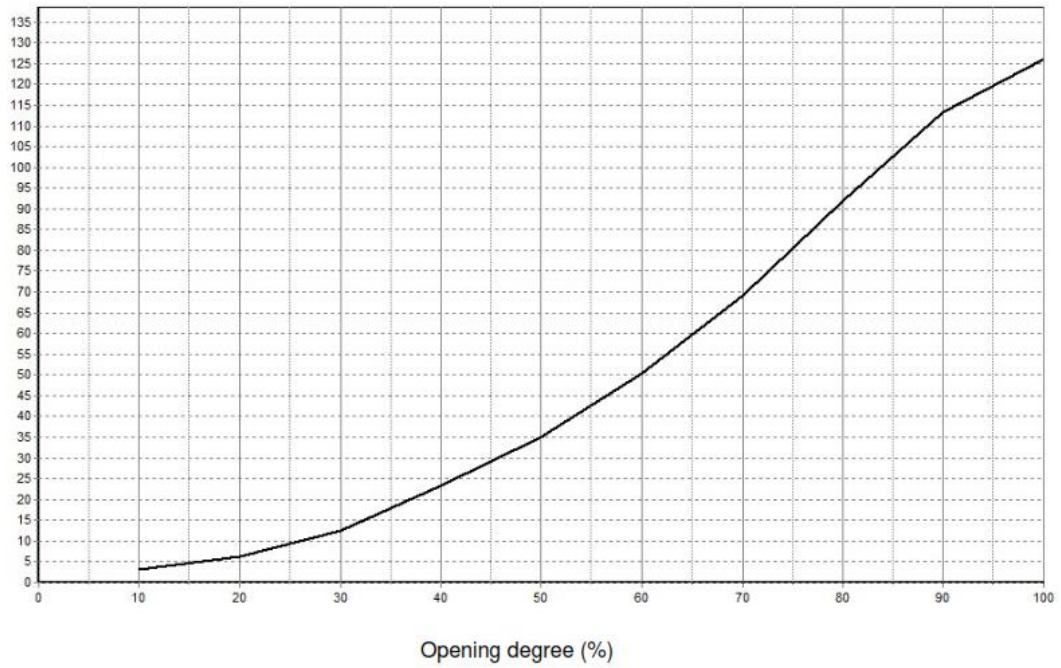
Cavitation diagram



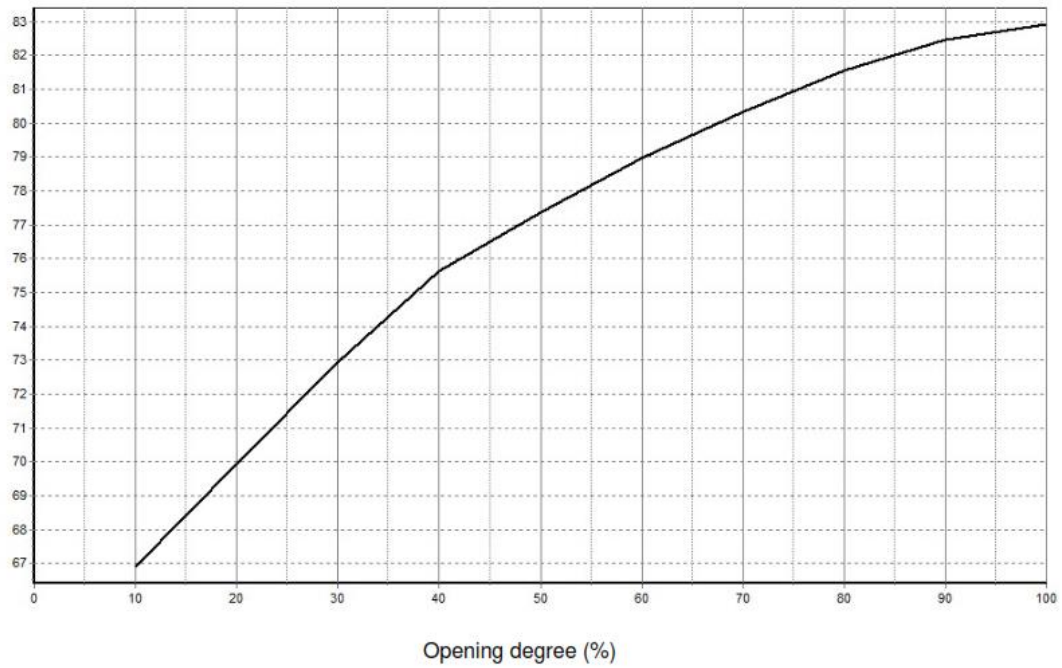
Zeta Value



Kv [m³/h]



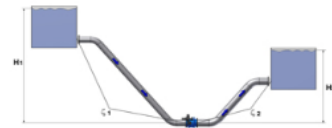
Noise level (dB A)



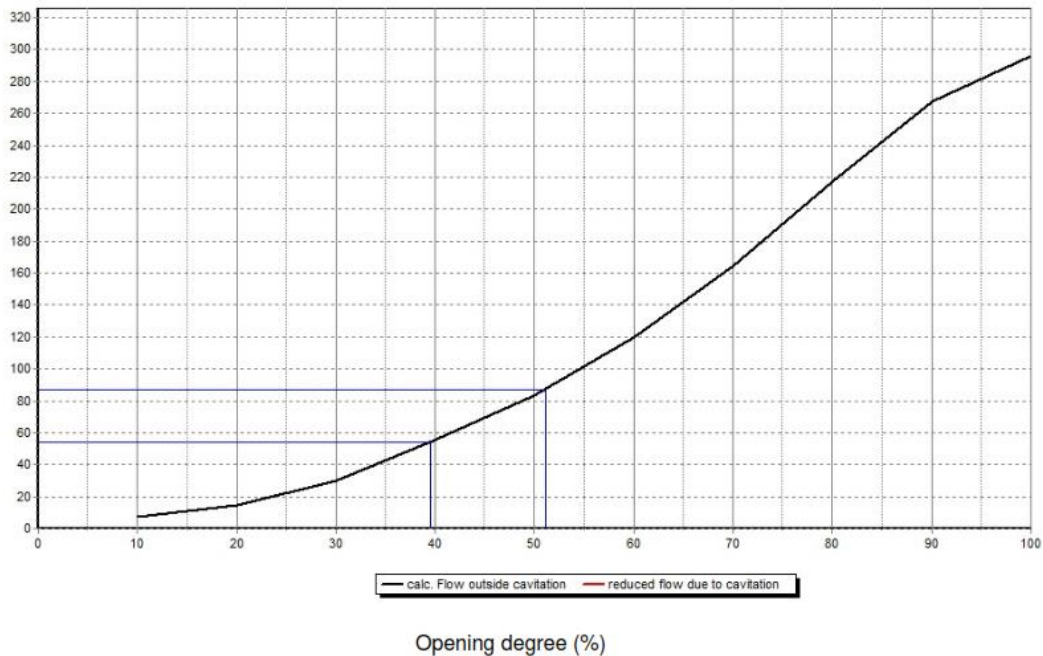
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF5 Y VCF6:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	98,08 mWC
Static downstream pressure:	3,38 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	53,97 l/s - 39%
Flow Qmax:	87,21 l/s - 51%
Altitude:	2724
Qmax Pipe system:	296,28 l/s

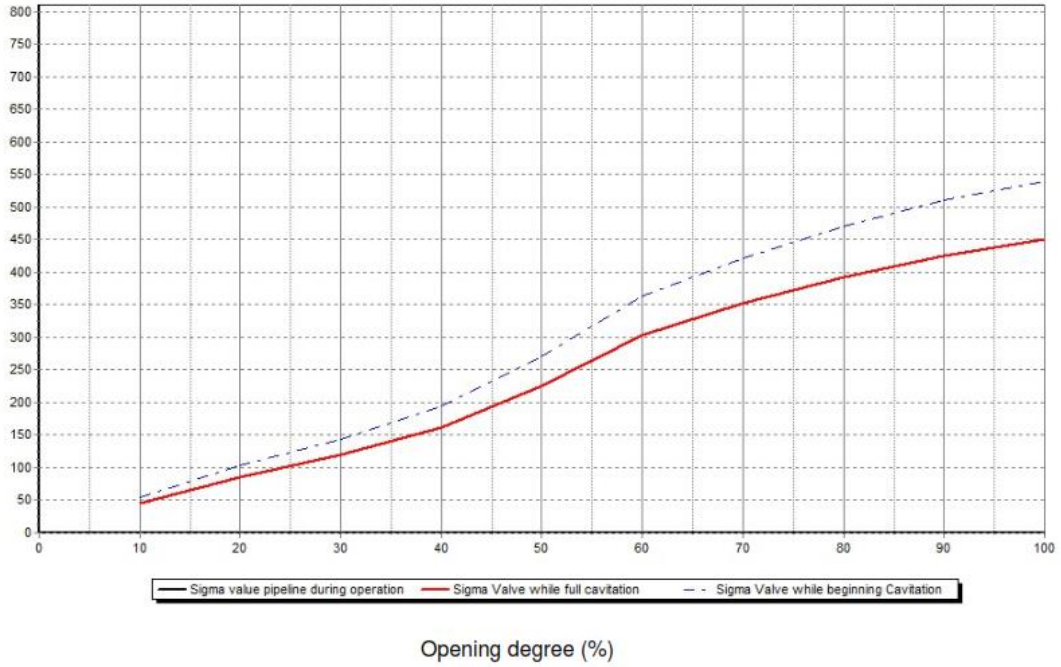
Type of regulation



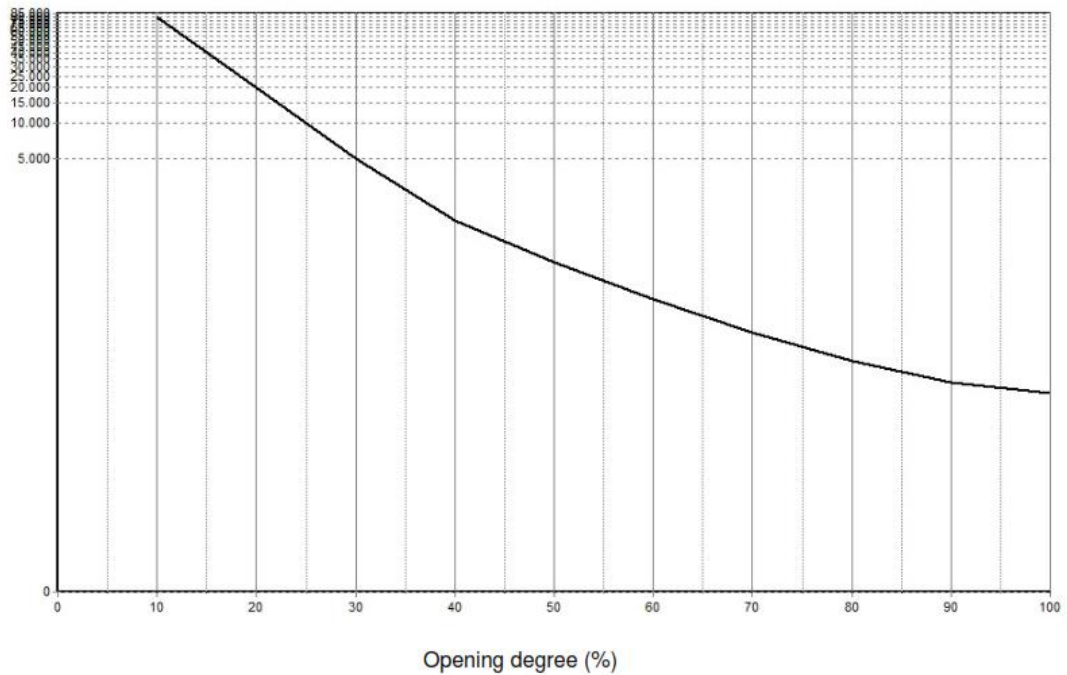
Capacity in l/s



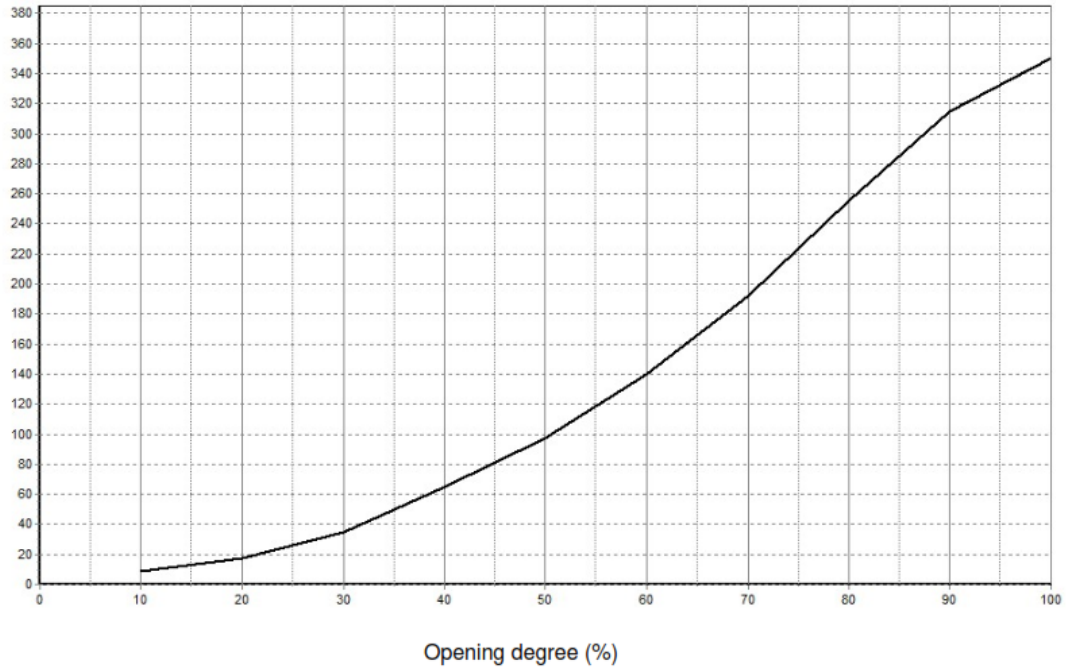
Cavitation diagram



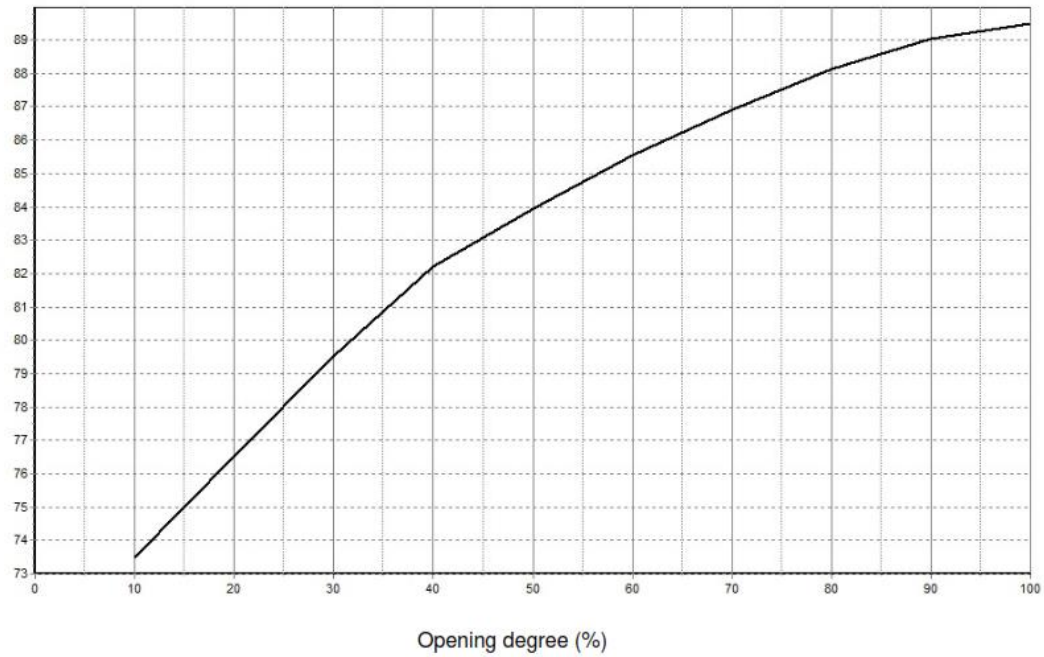
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



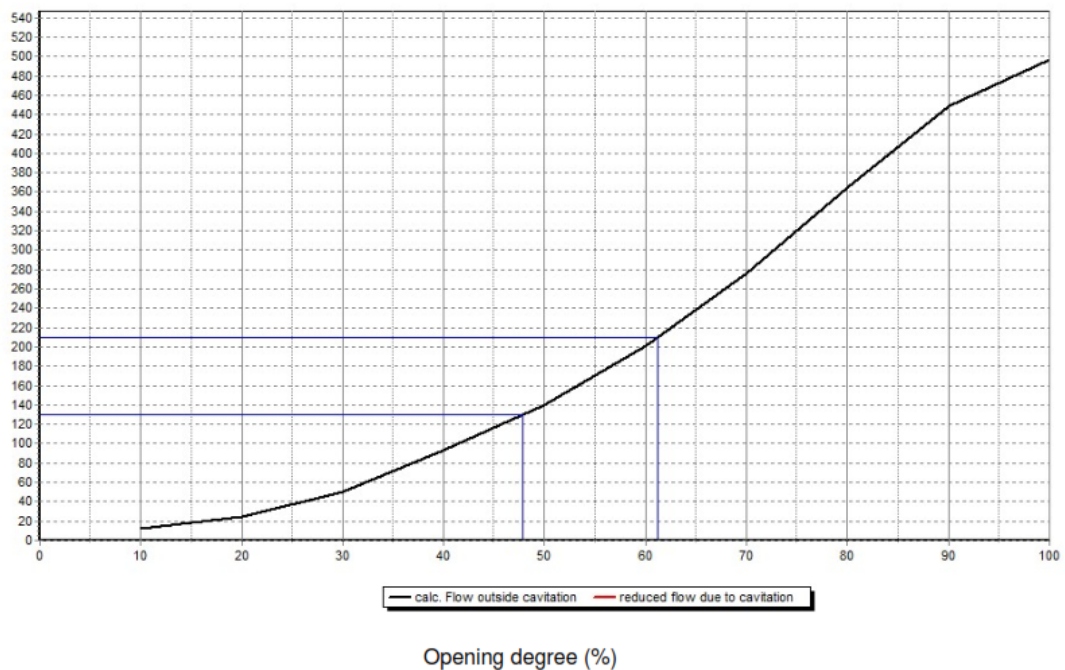
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF7 Y VCF8:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	300
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	132,33 mWC
Static downstream pressure:	3,69 mWC
Pipe diameter upstream side:	300 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	300 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	129,53 l/s - 48%
Flow Qmax:	209,30 l/s - 61%
Altitude:	2684
Qmax Pipe system:	497,26 l/s

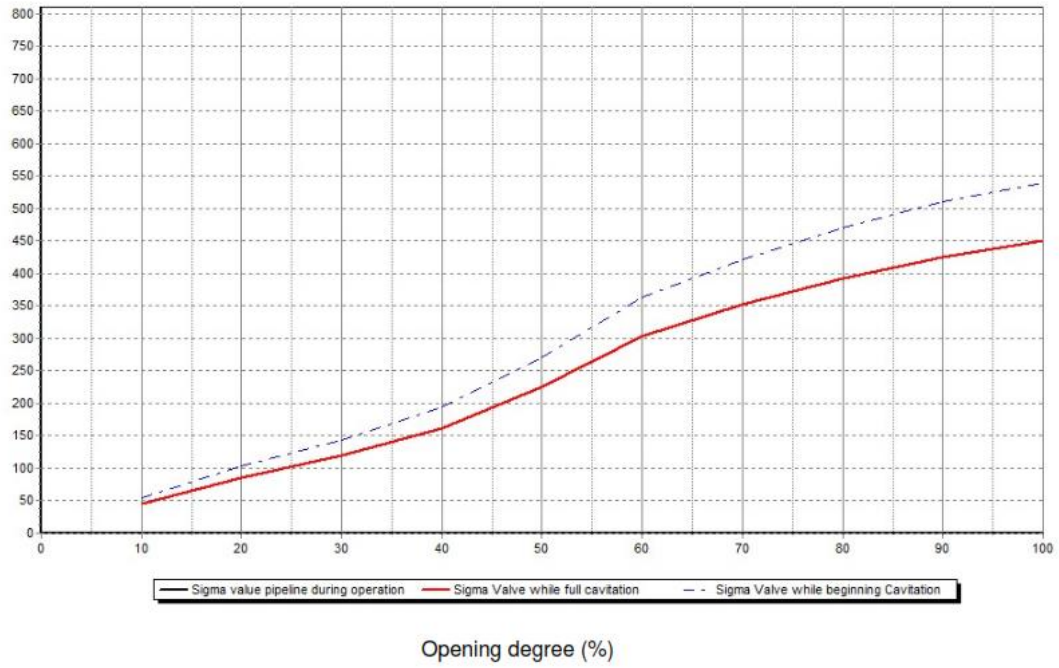
Type of regulation



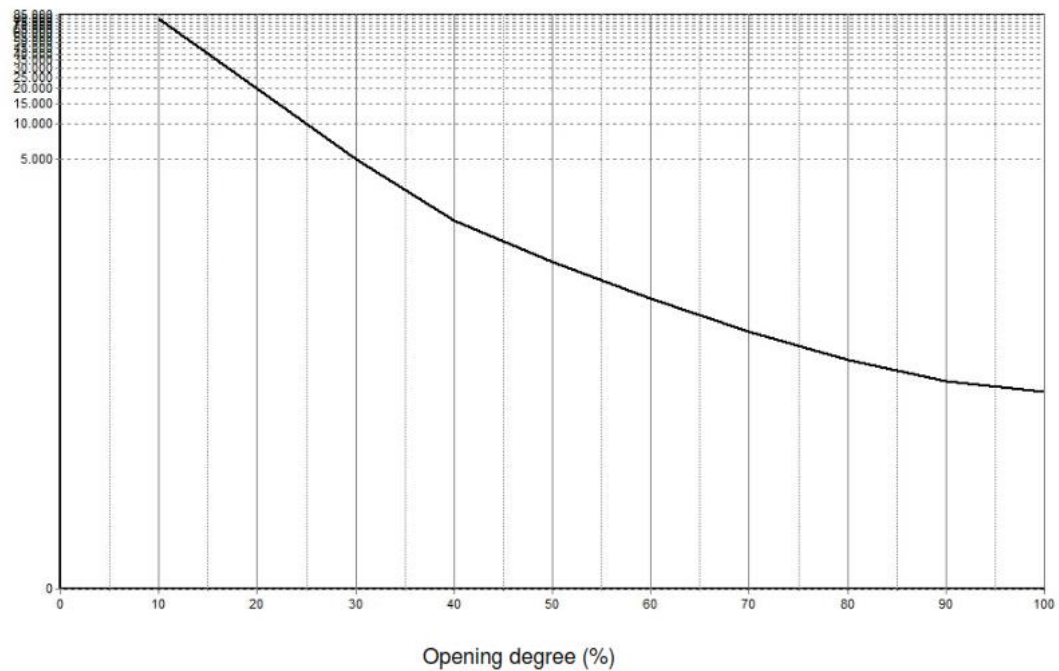
Capacity in l/s



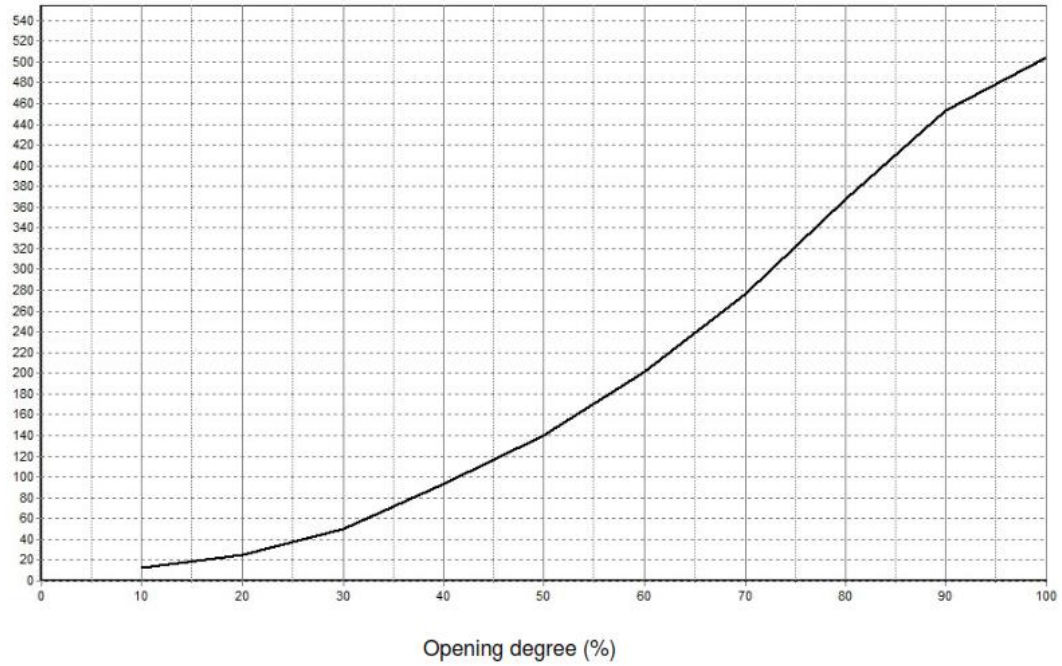
Cavitation diagram



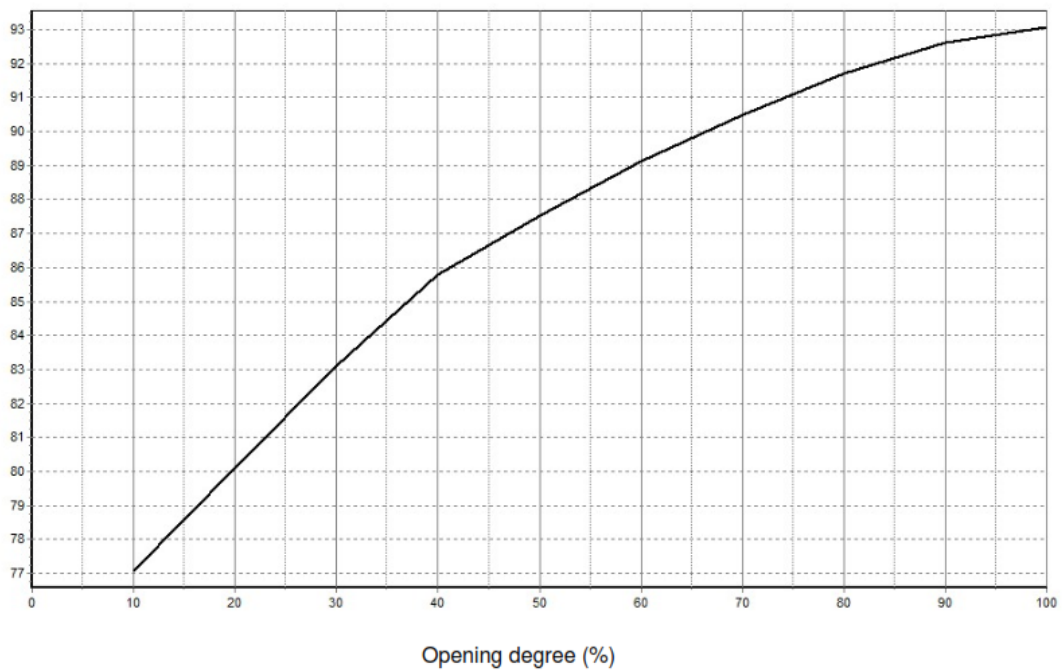
Zeta Value



Kv [m³/h]



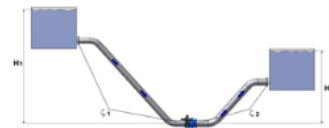
Noise level (dB A)



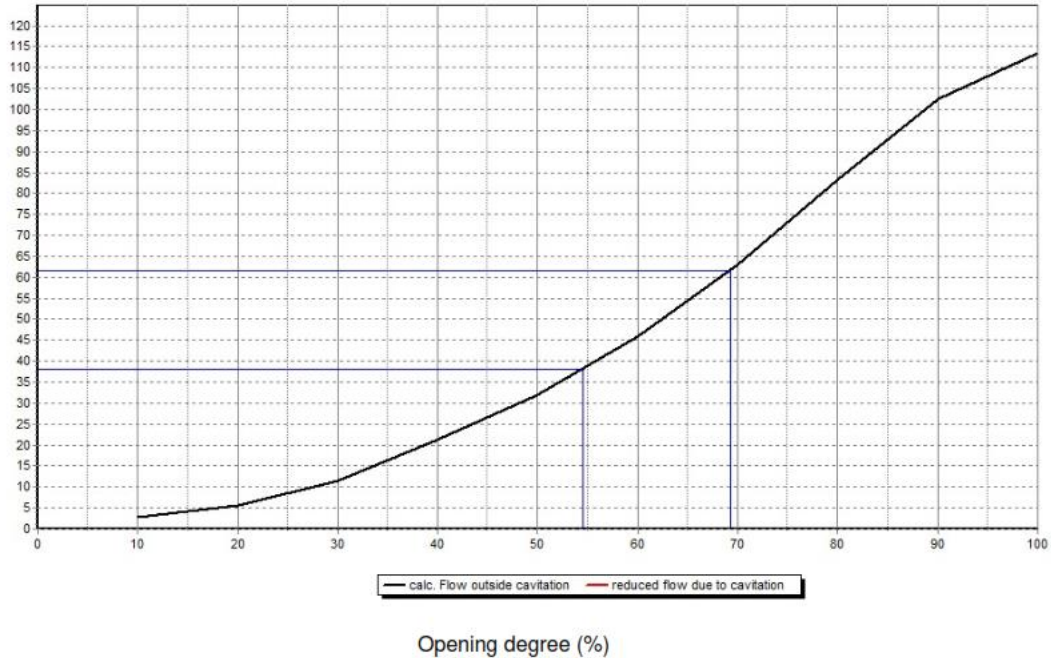
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF9 Y VCF10:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	200
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	37,63 mWC
Static downstream pressure:	3,66 mWC
Pipe diameter upstream side:	200 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	200 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	38,17 l/s - 55%
Flow Qmax:	61,68 l/s - 69%
Altitude:	2647
Qmax Pipe system:	113,57 l/s

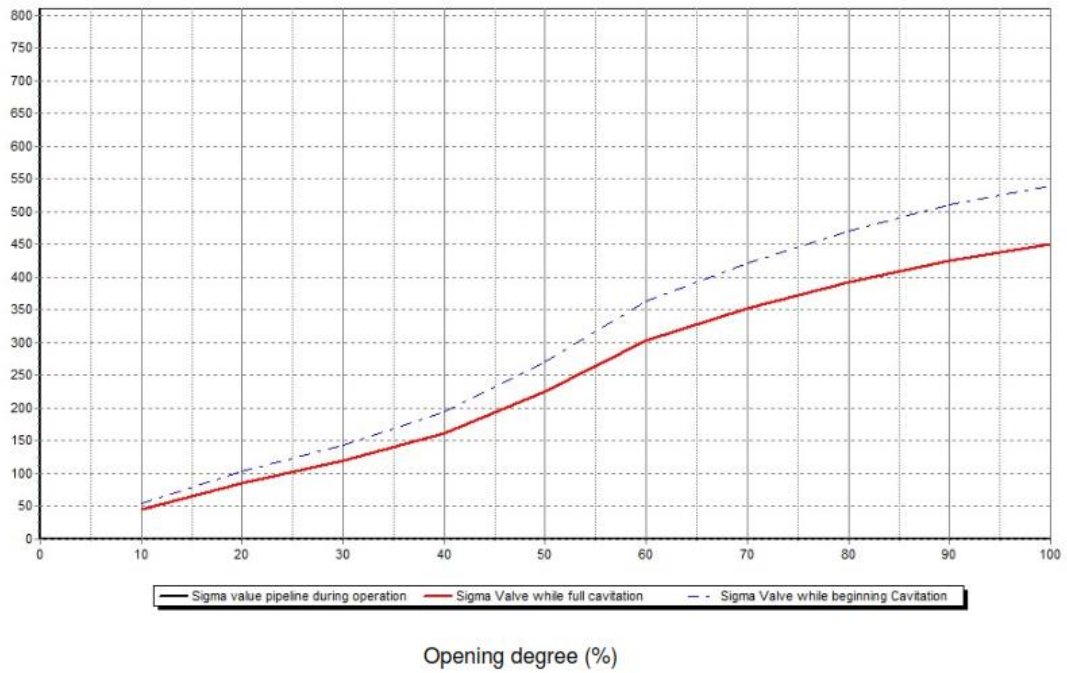
Type of regulation



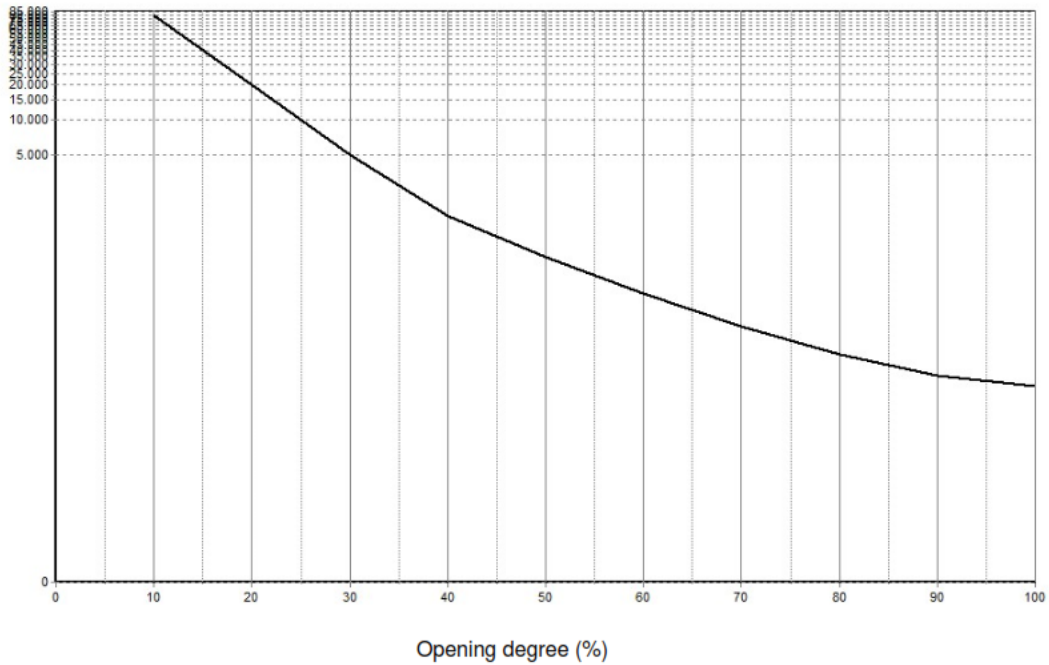
Capacity in l/s



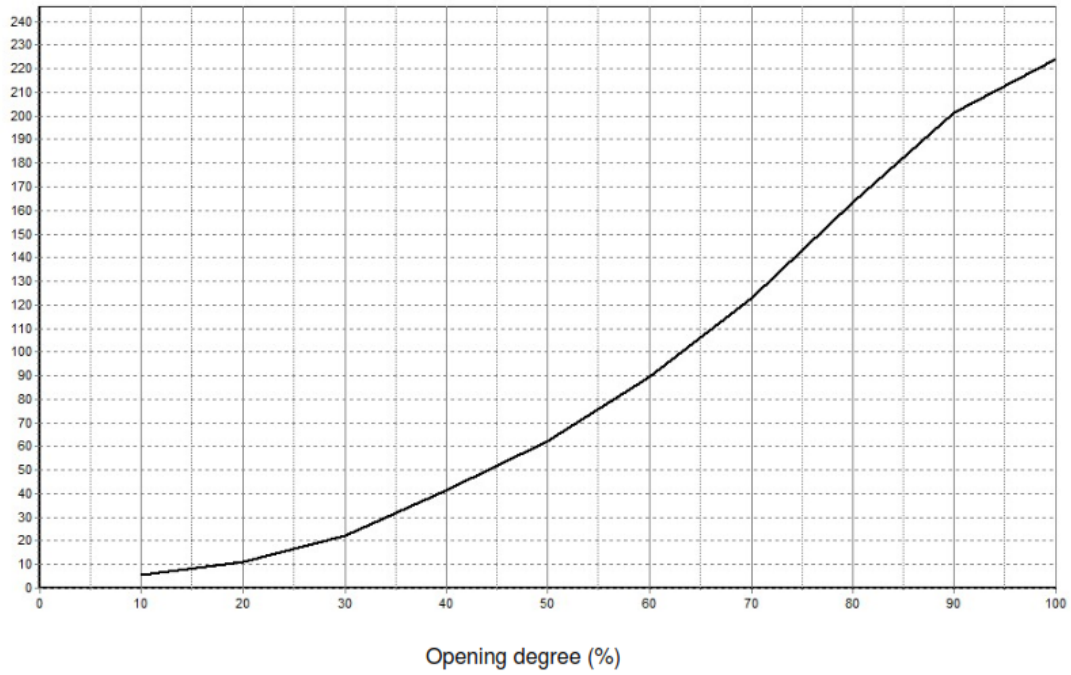
Cavitation diagram



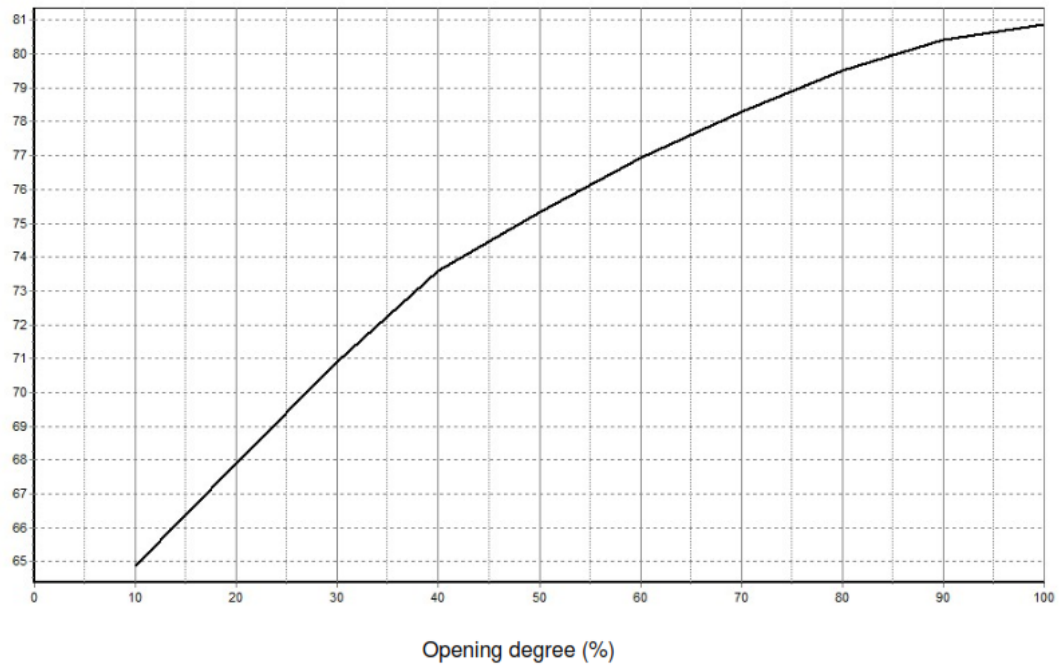
Zeta Value



Kv [m³/h]



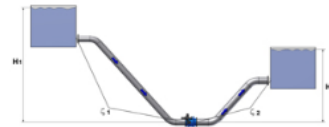
Noise level (dB A)



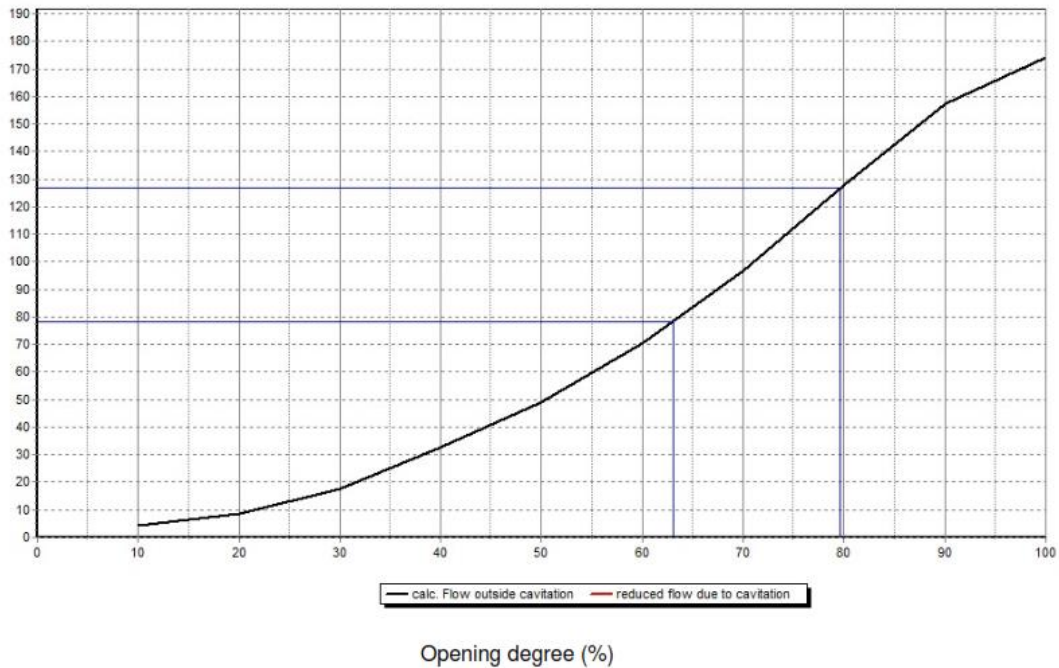
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF11 Y VCF12:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	200
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	83,32 mWC
Static downstream pressure:	3,25 mWC
Pipe diameter upstream side:	200 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	200 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	78,46 l/s - 63%
Flow Qmax:	126,78 l/s - 80%
Altitude:	2763
Qmax Pipe system:	174,36 l/s

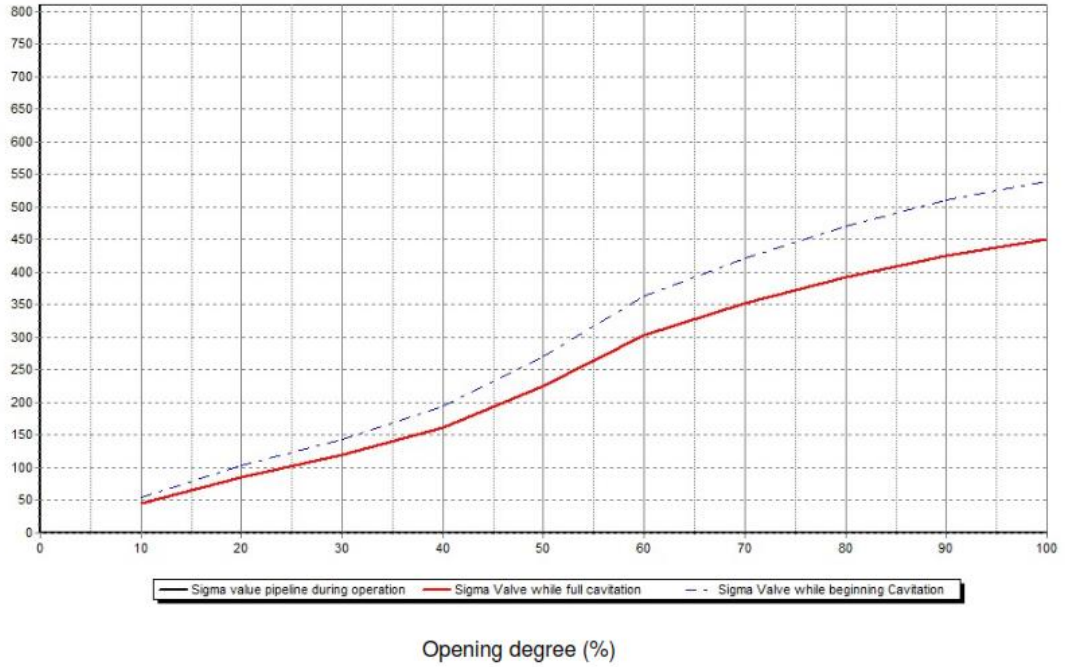
Type of regulation



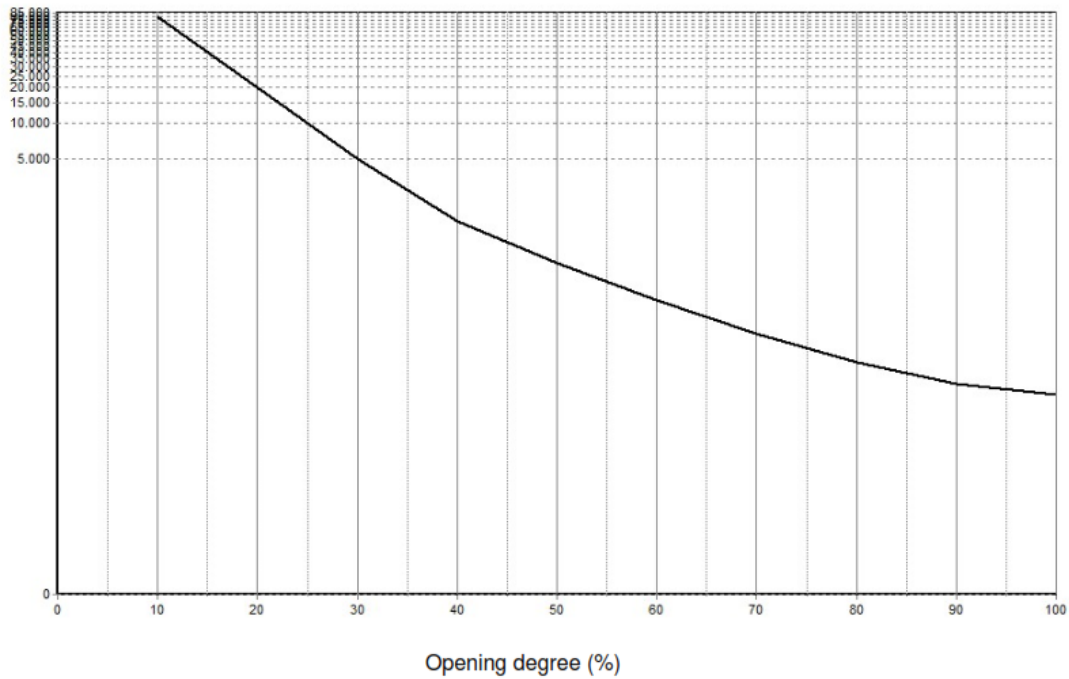
Capacity in l/s



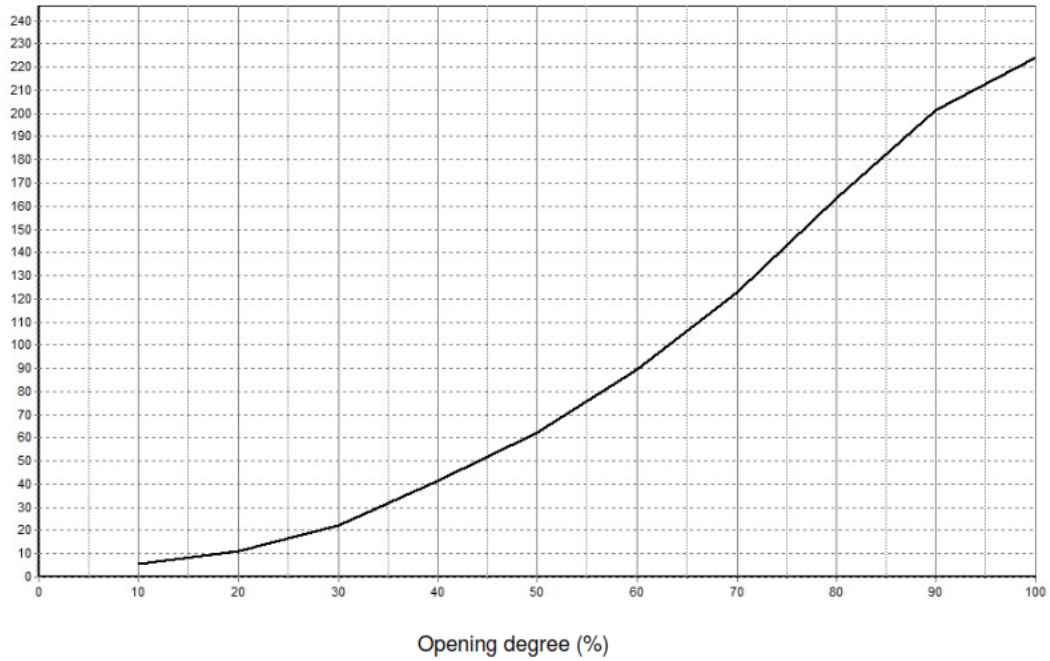
Cavitation diagram



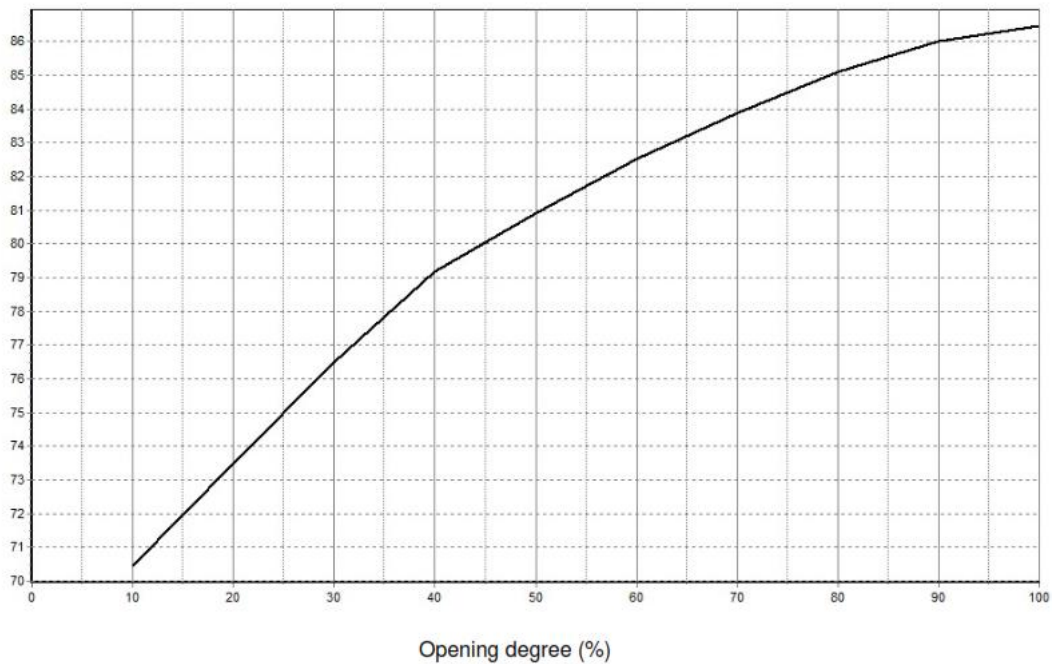
Zeta Value



Kv [m³/h]



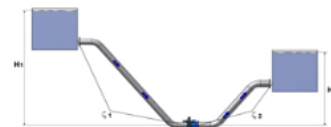
Noise level (dB A)



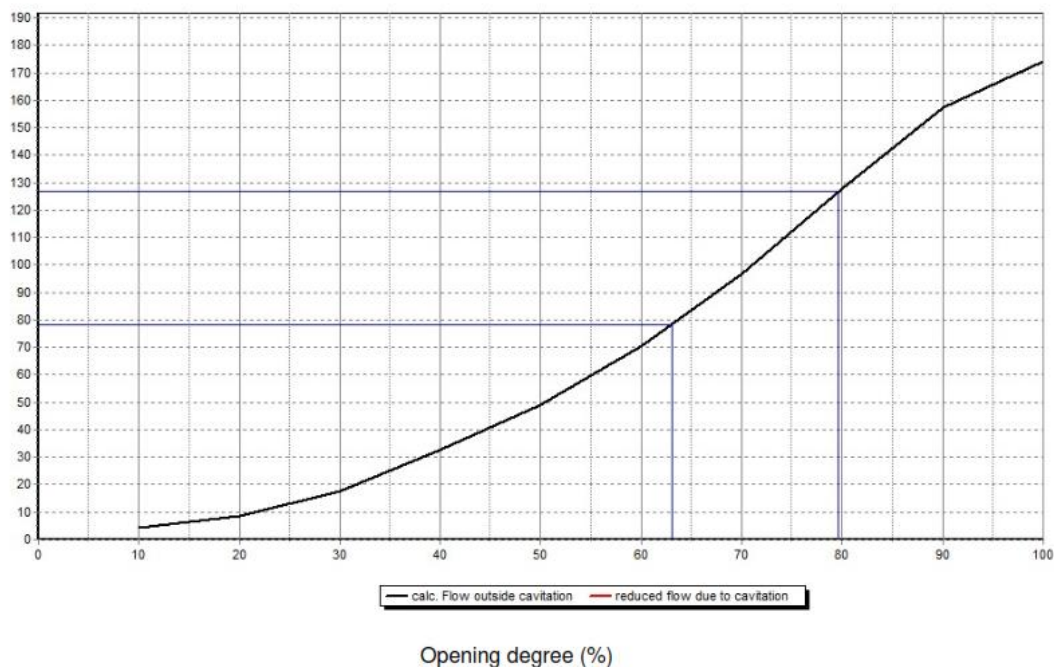
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF13 Y VCF14:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	200
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	83,32 mWC
Static downstream pressure:	3,25 mWC
Pipe diameter upstream side:	200 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	200 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	78,46 l/s - 63%
Flow Qmax:	126,78 l/s - 80%
Altitude:	2763
Qmax Pipe system:	174,36 l/s

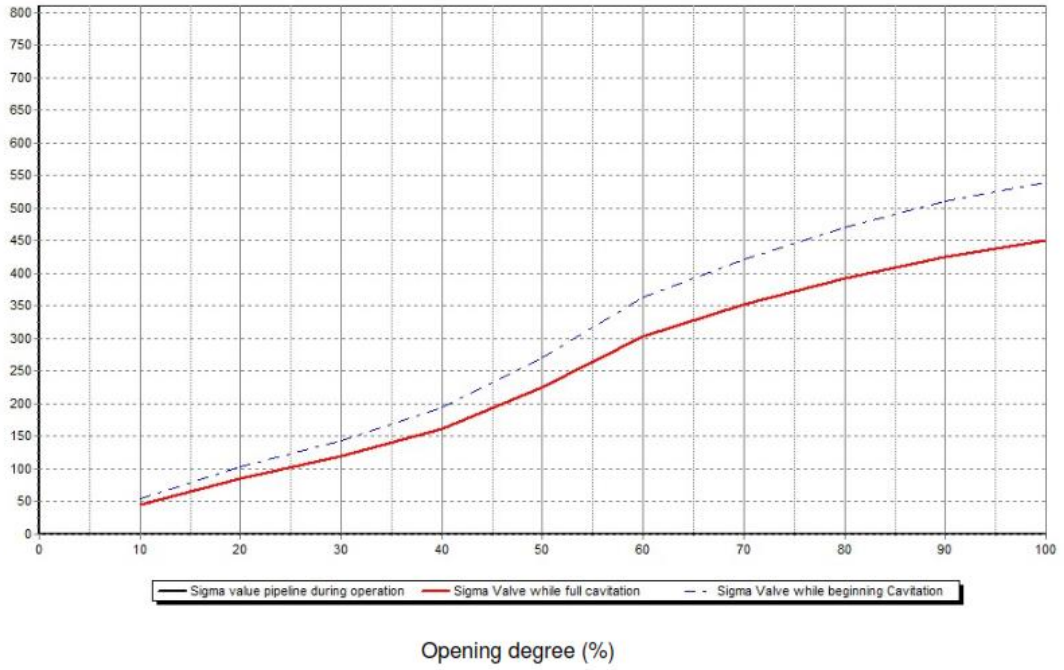
Type of regulation



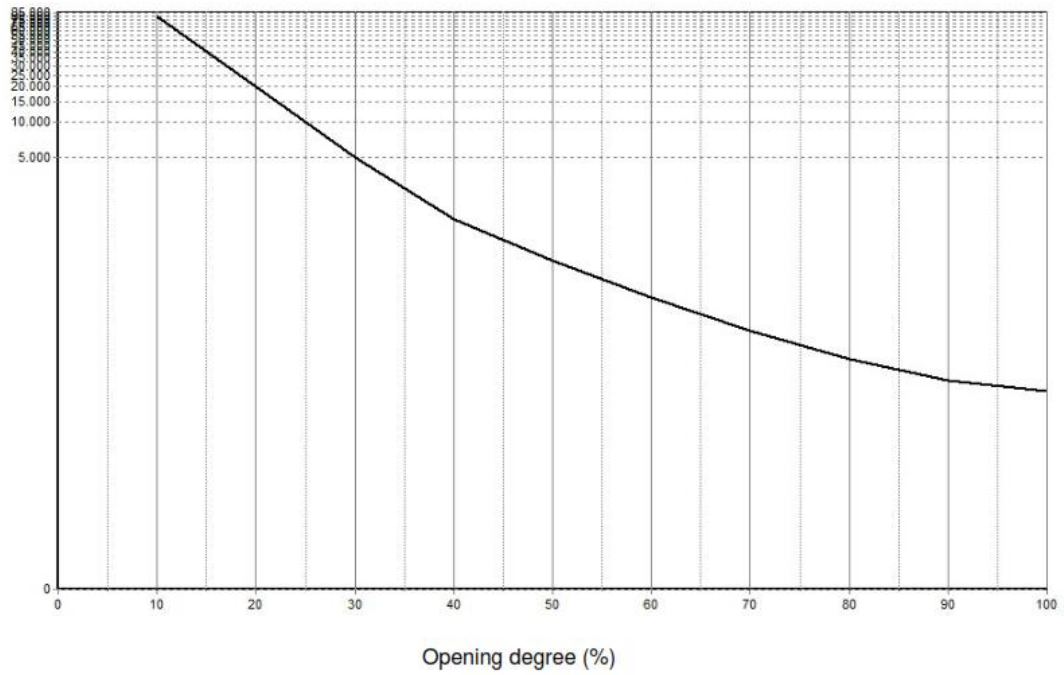
Capacity in l/s



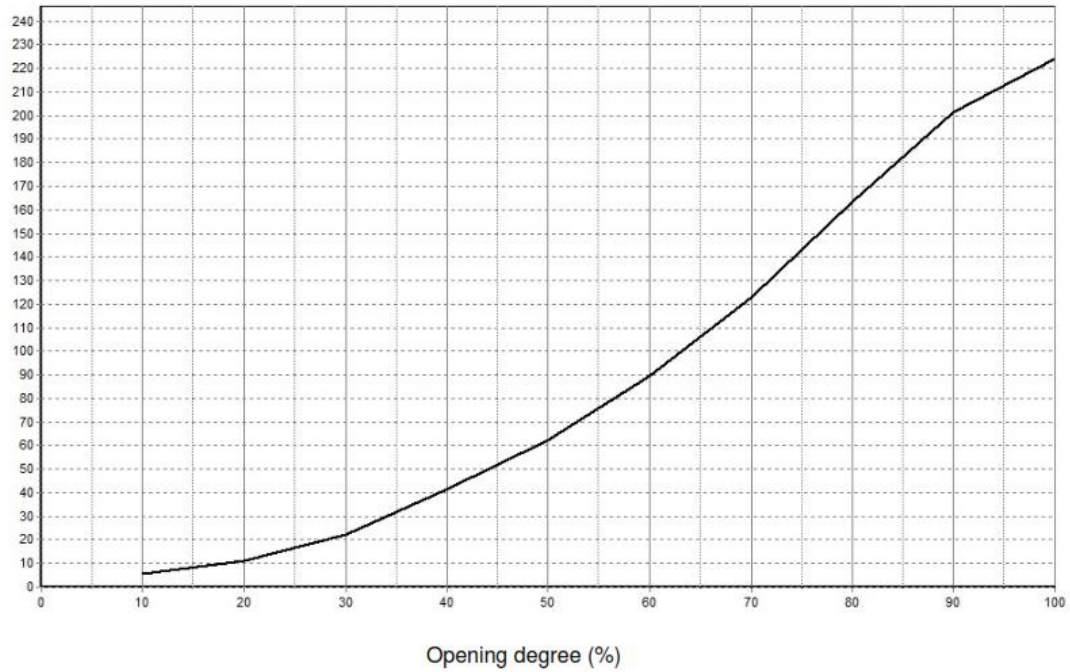
Cavitation diagram



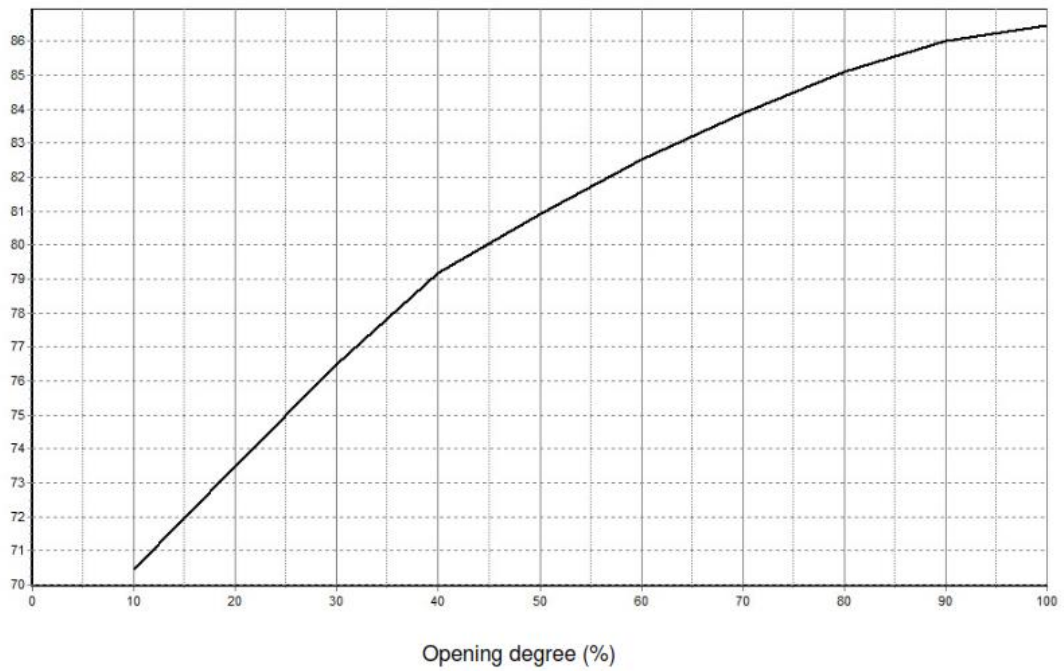
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



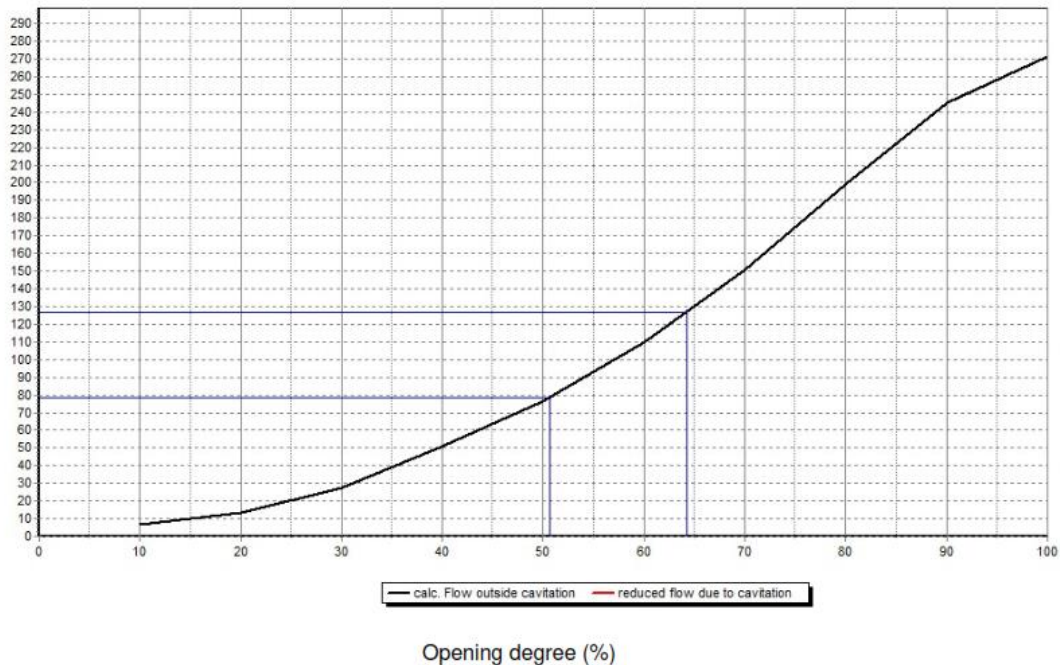
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF15 Y VCF16:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	83,95 mWC
Static downstream pressure:	4,34 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	78,46 l/s - 51%
Flow Qmax:	126,78 l/s - 64%
Altitude:	2761
Qmax Pipe system:	271,66 l/s

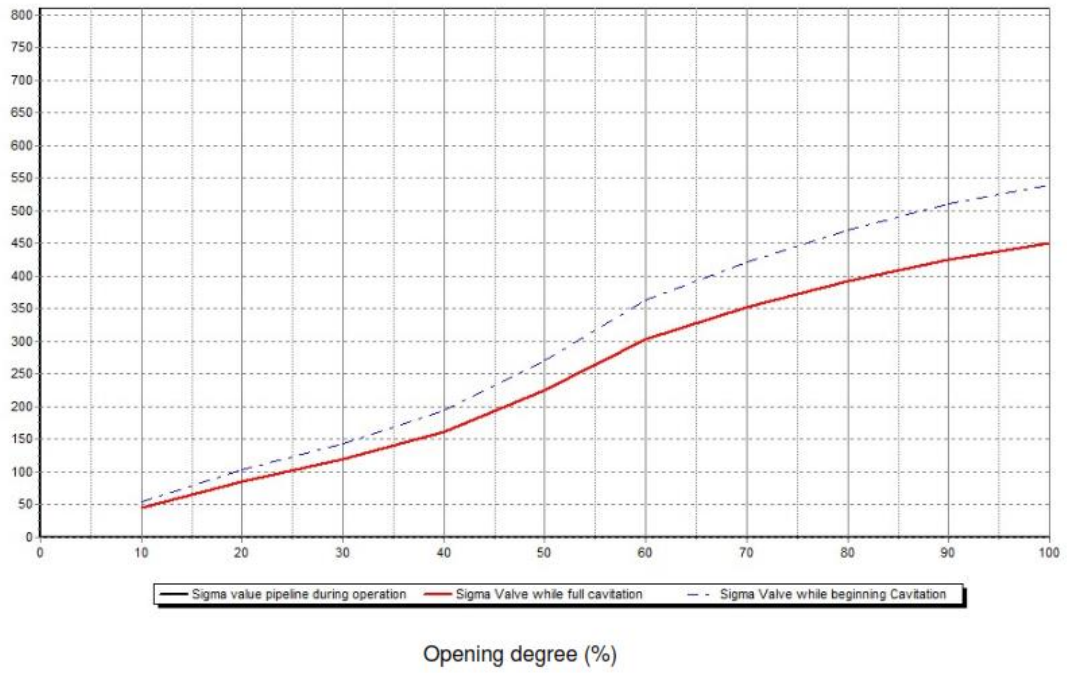
Type of regulation



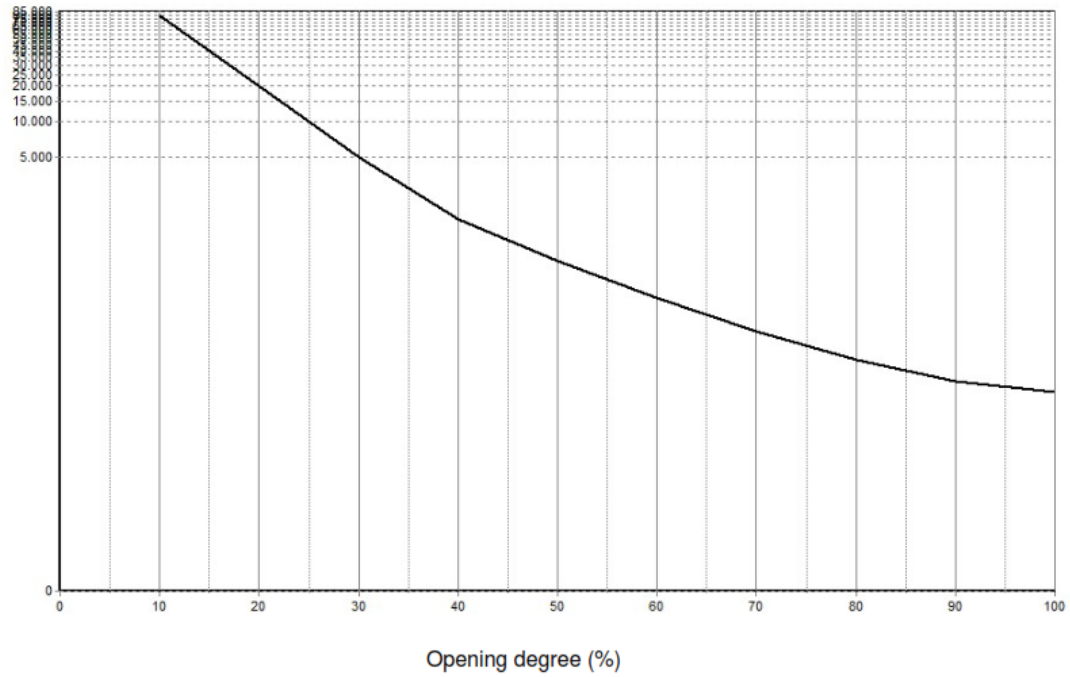
Capacity in l/s



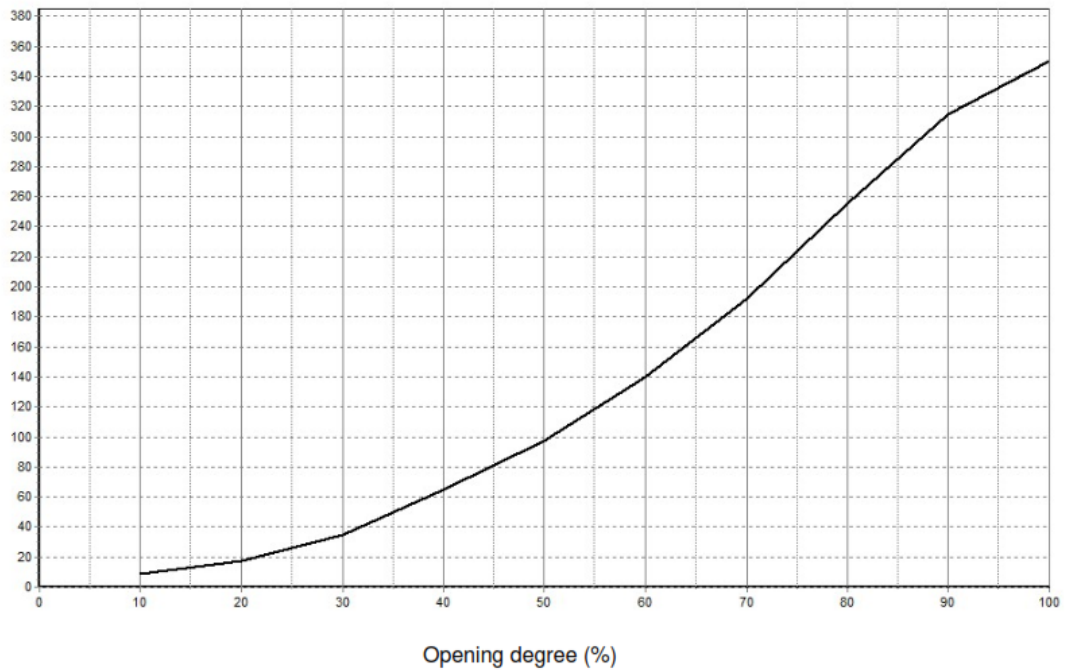
Cavitation diagram



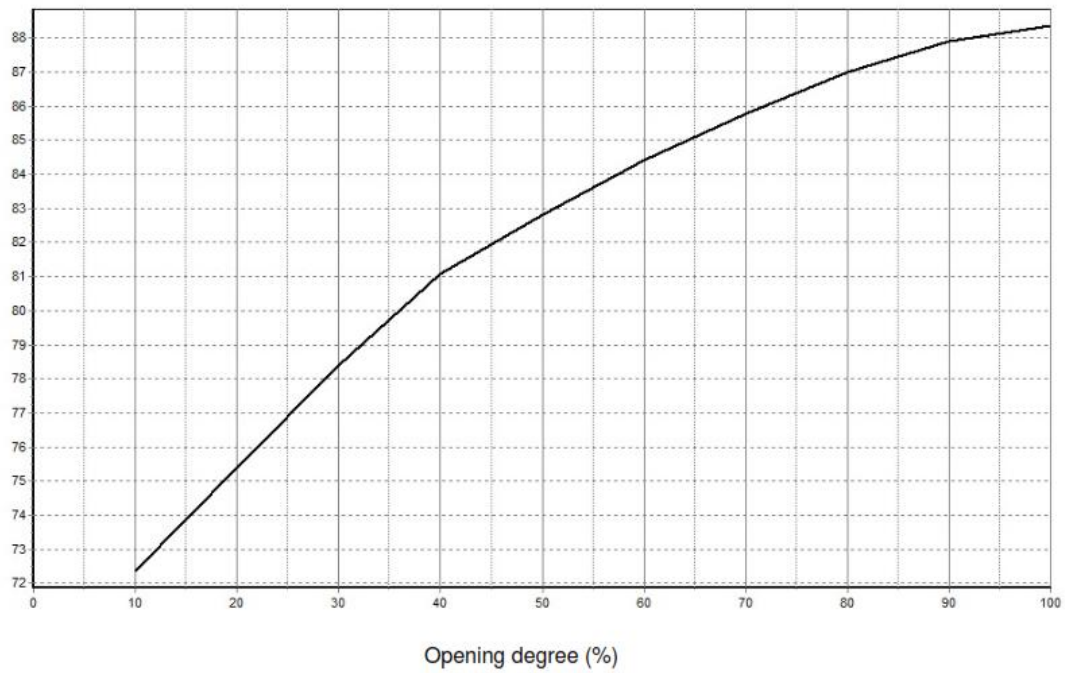
Zeta Value



Kv [m³/h]



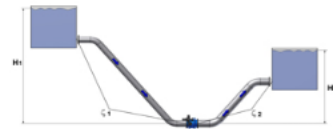
Noise level (dB A)



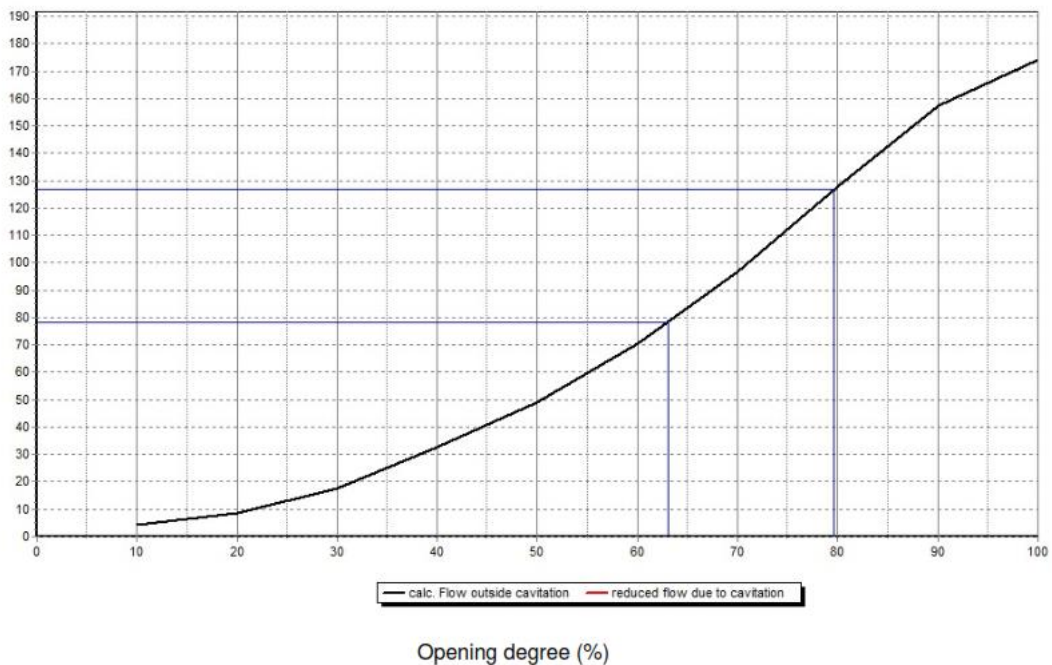
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VCF17 Y VCF36:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	200
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	83,32 mWC
Static downstream pressure:	3,25 mWC
Pipe diameter upstream side:	200 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	200 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	78,46 l/s - 63%
Flow Qmax:	126,78 l/s - 80%
Altitude:	2763
Qmax Pipe system:	174,36 l/s

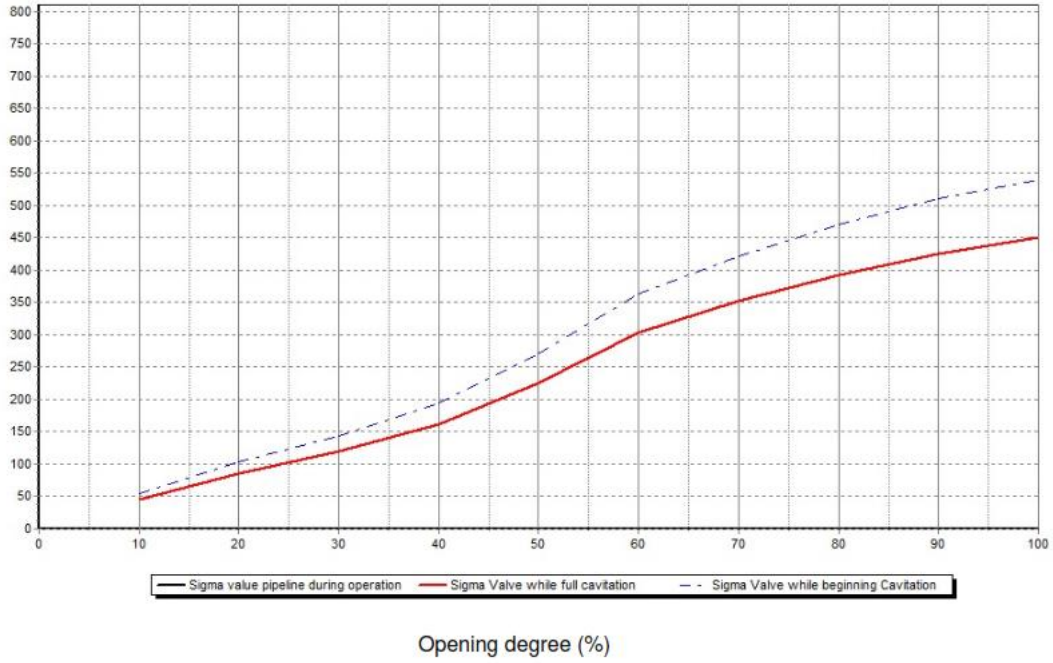
Type of regulation



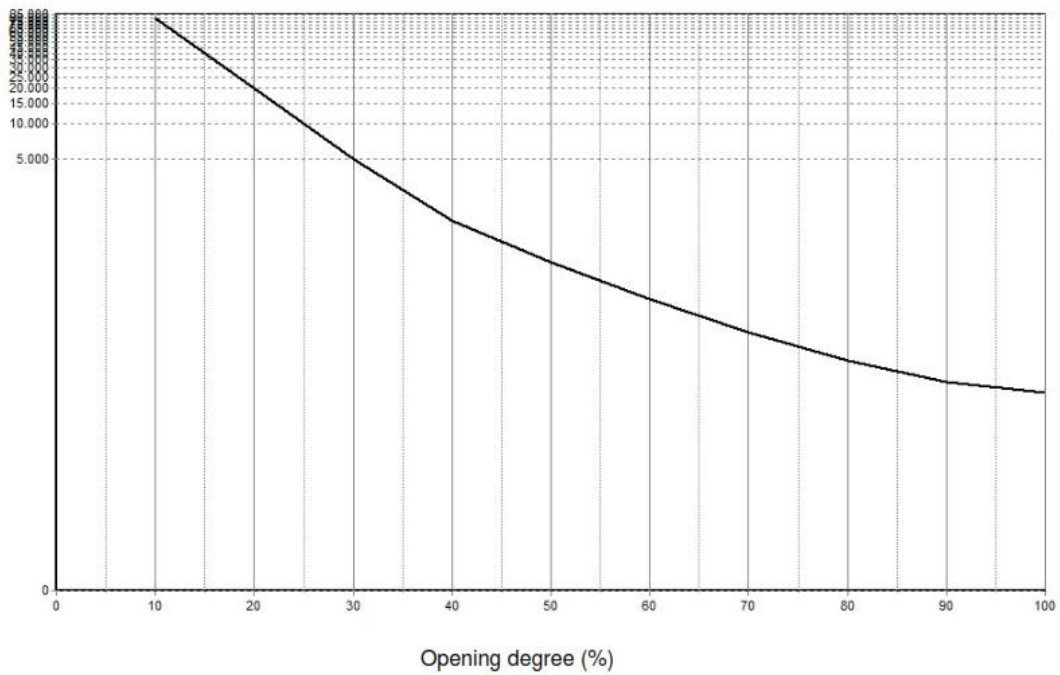
Capacity in l/s



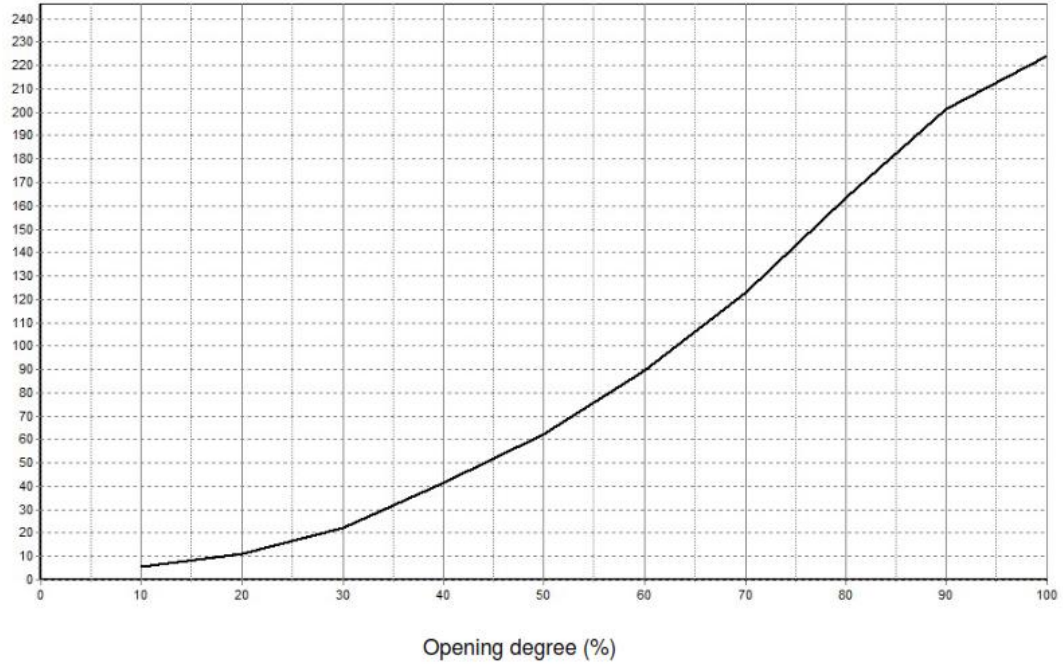
Cavitation diagram



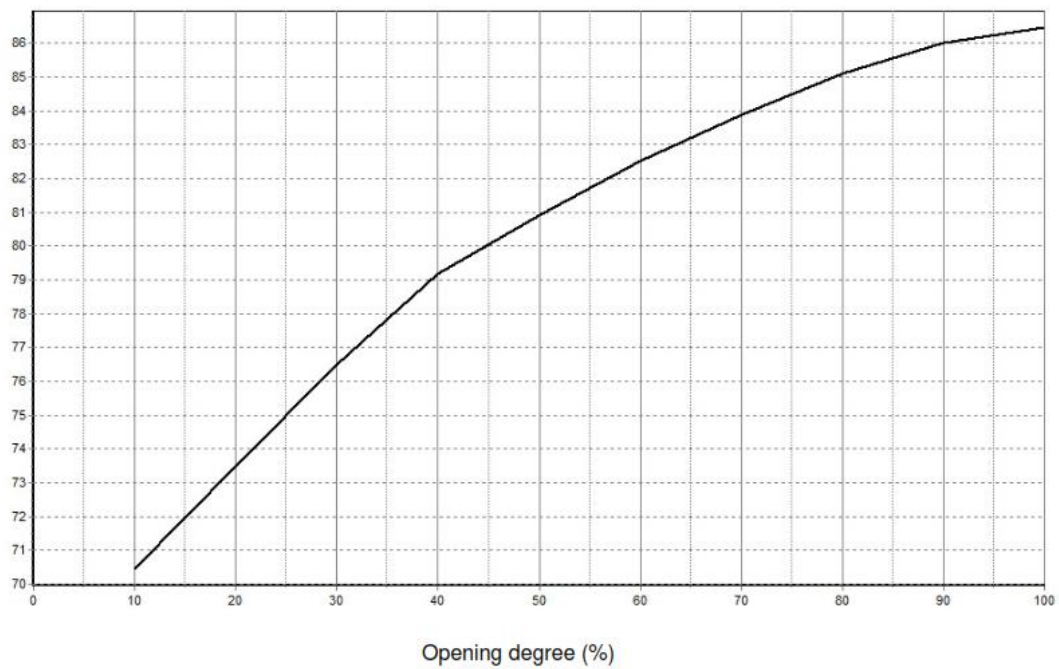
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



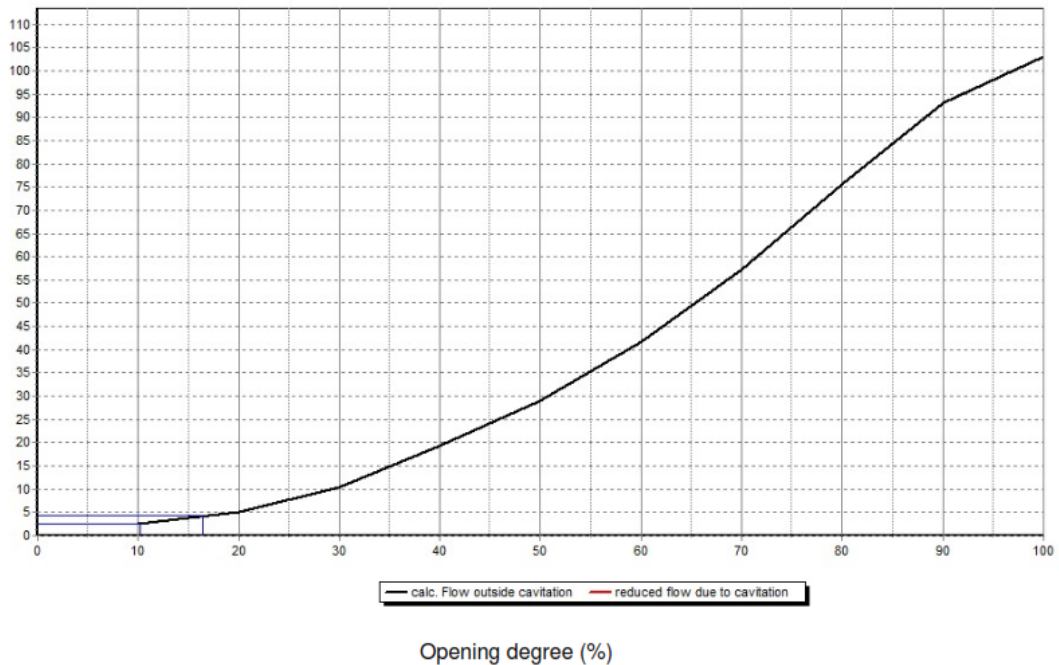
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VCF18 Y VCF35:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	91,06 mWC
Static downstream pressure:	2,48 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	2,65 l/s - 10%
Flow Qmax:	4,28 l/s - 16%
Altitude:	2565
Qmax Pipe system:	103,16 l/s

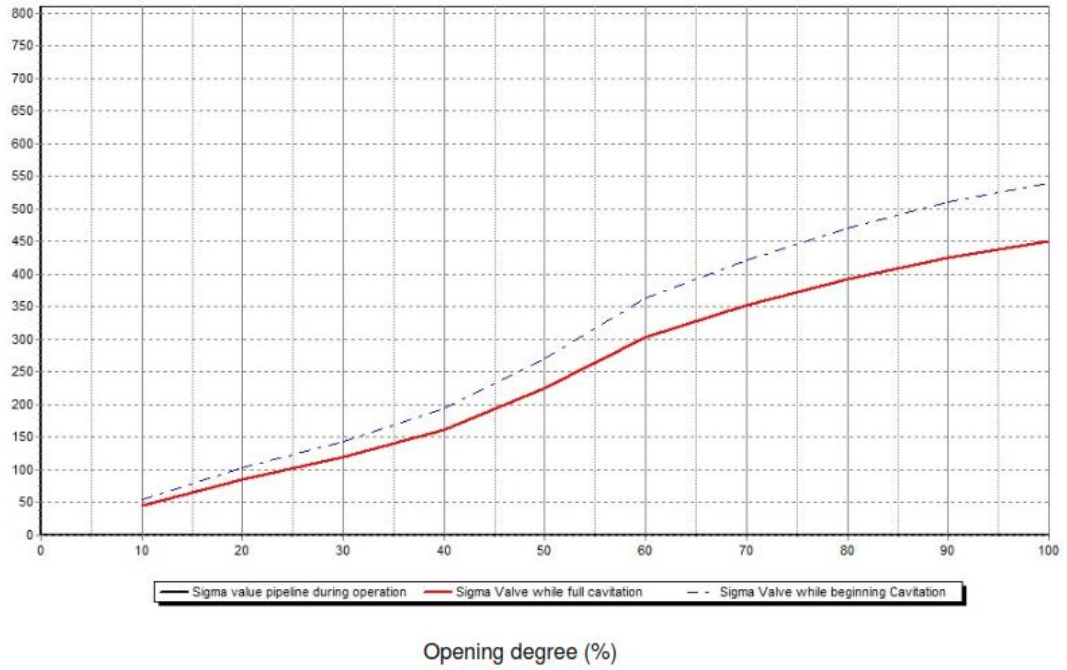
Type of regulation



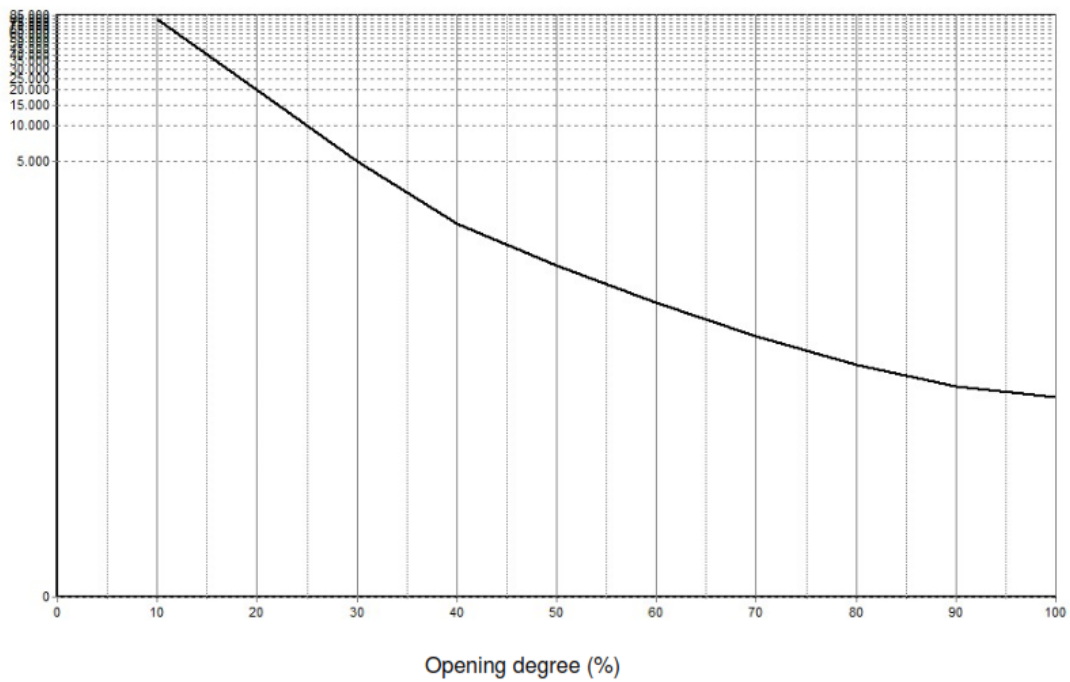
Capacity in l/s



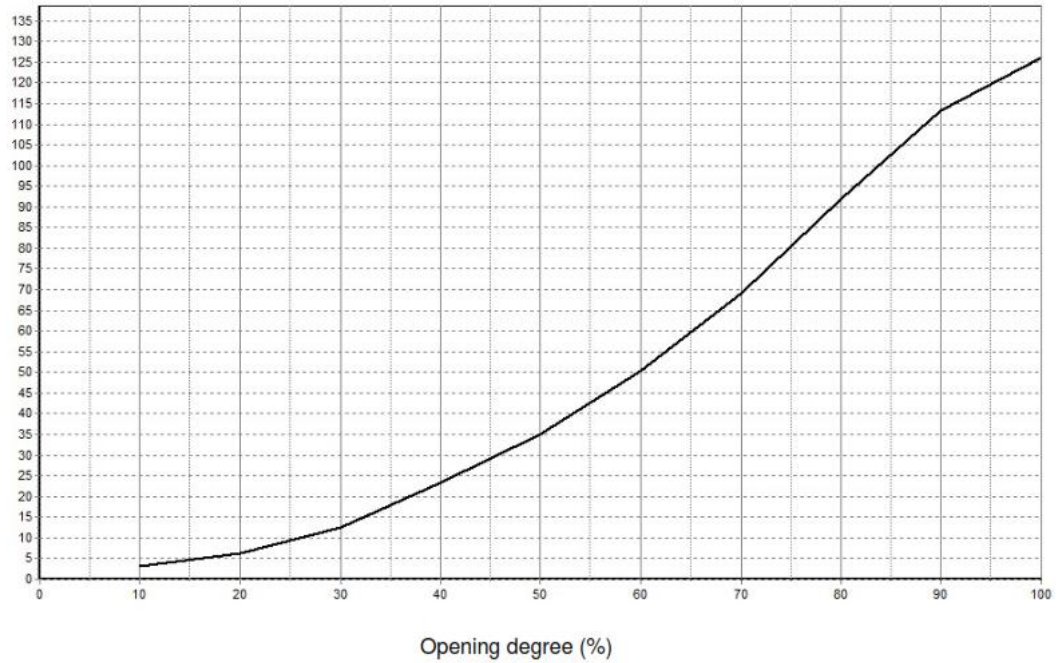
Cavitation diagram



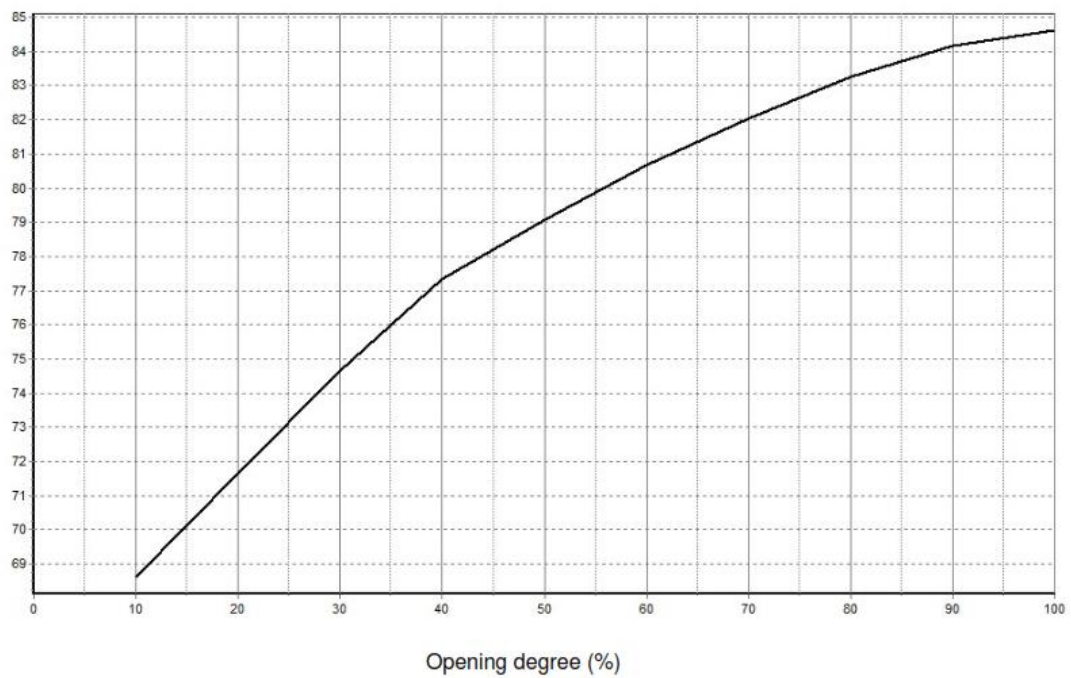
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



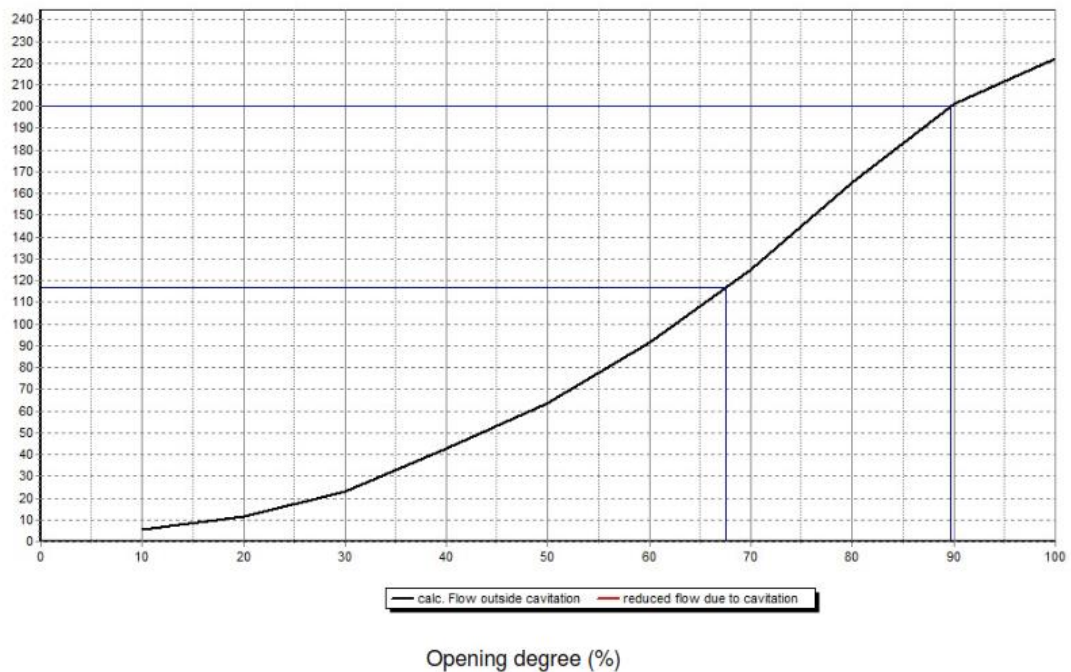
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF19 Y VCF20:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 40
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	18,88 mWC
Static downstream pressure:	3,20 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	116,95 l/s - 68%
Flow Qmax:	200,30 l/s - 90%
Altitude:	2847
Qmax Pipe system:	222,30 l/s

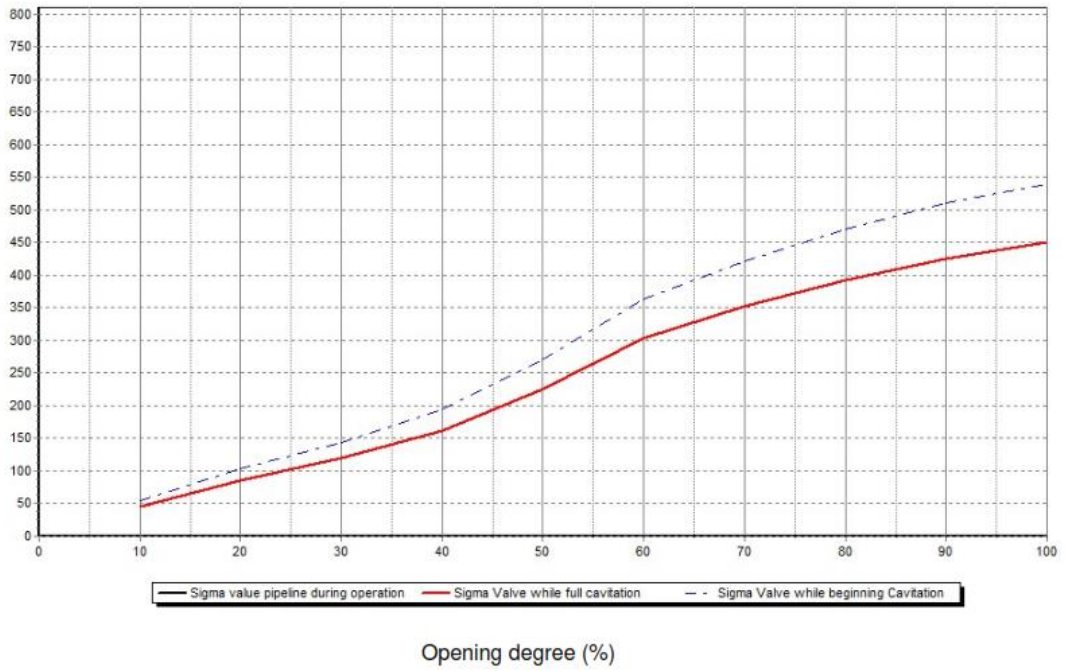
Type of regulation



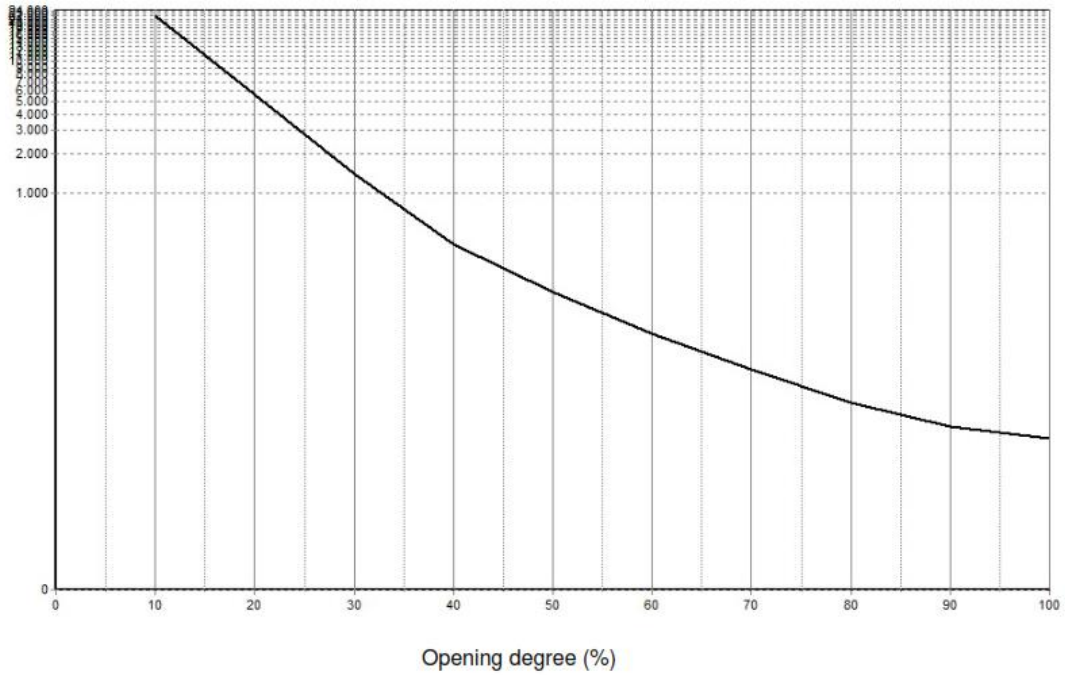
Capacity in l/s



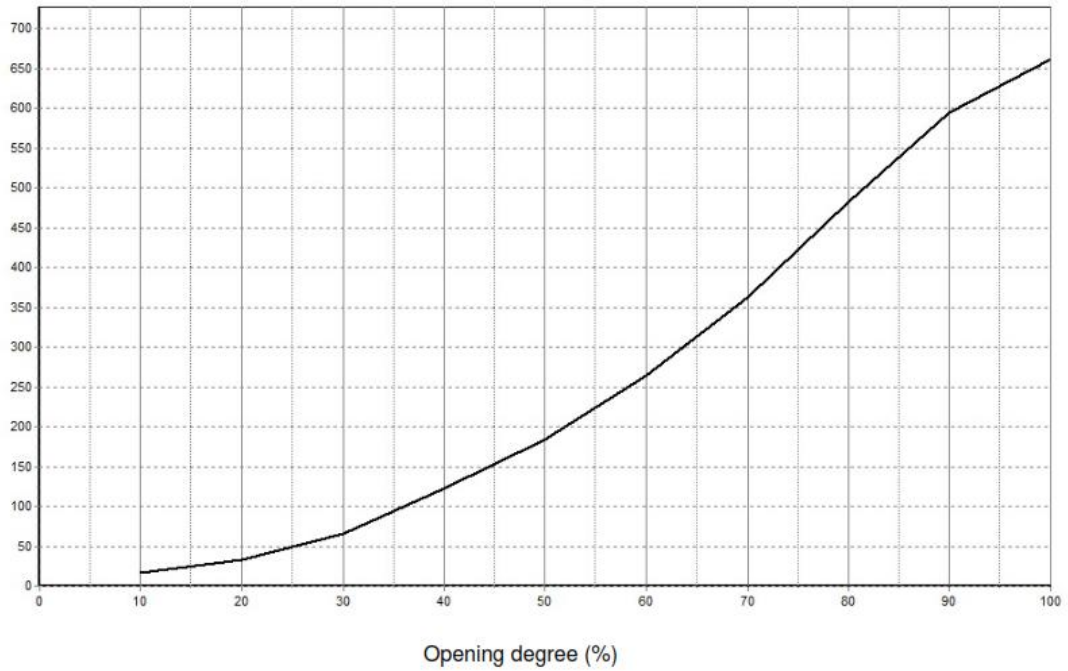
Cavitation diagram



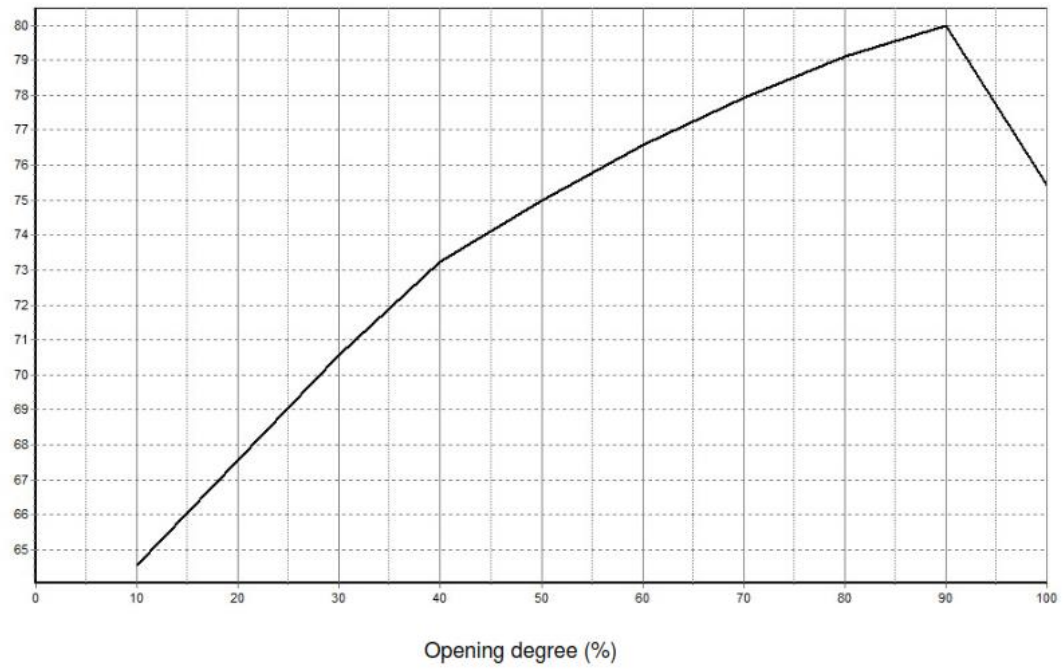
Zeta Value



Kv [m³/h]



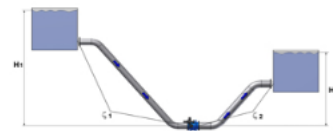
Noise level (dB A)



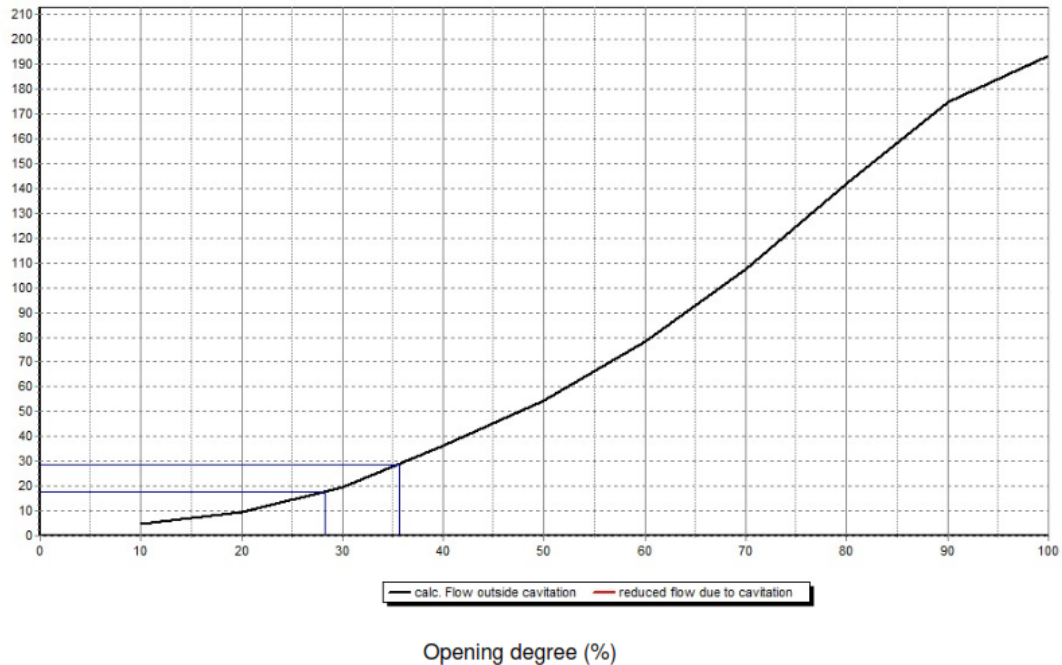
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF21 Y VCF22:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	43,04 mWC
Static downstream pressure:	2,57 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	17,87 l/s - 28%
Flow Qmax:	28,87 l/s - 36%
Altitude:	2809
Qmax Pipe system:	193,69 l/s

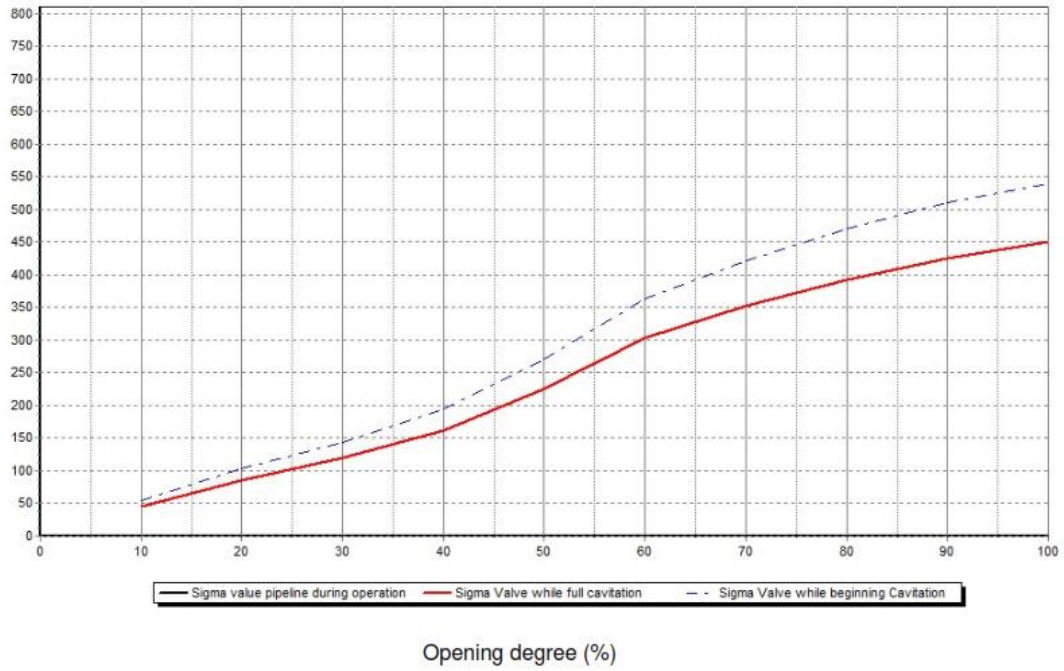
Type of regulation



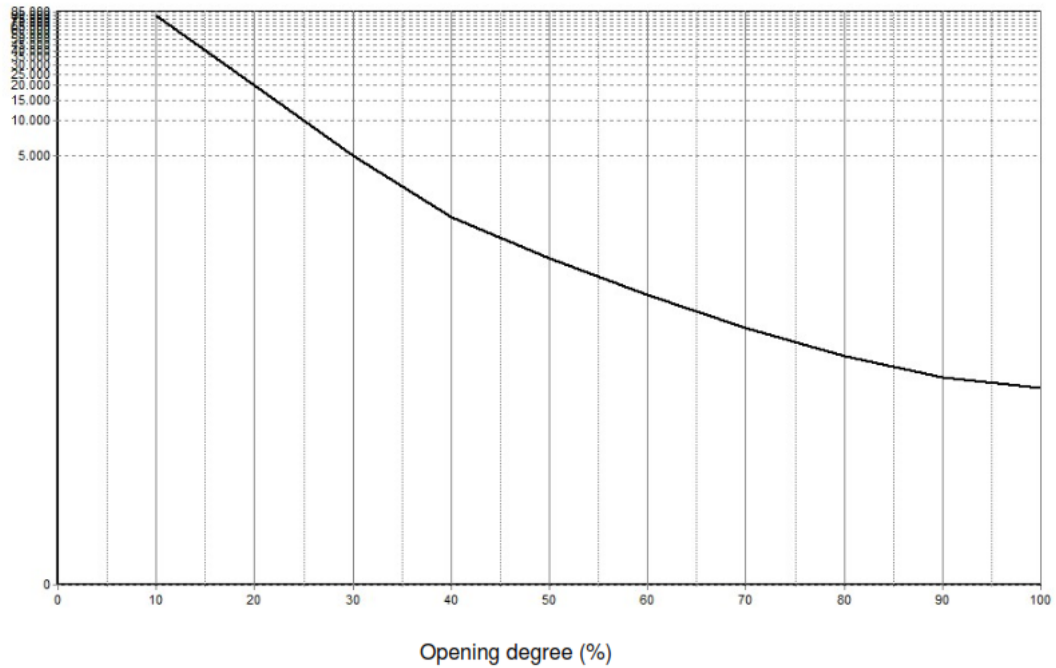
Capacity in l/s



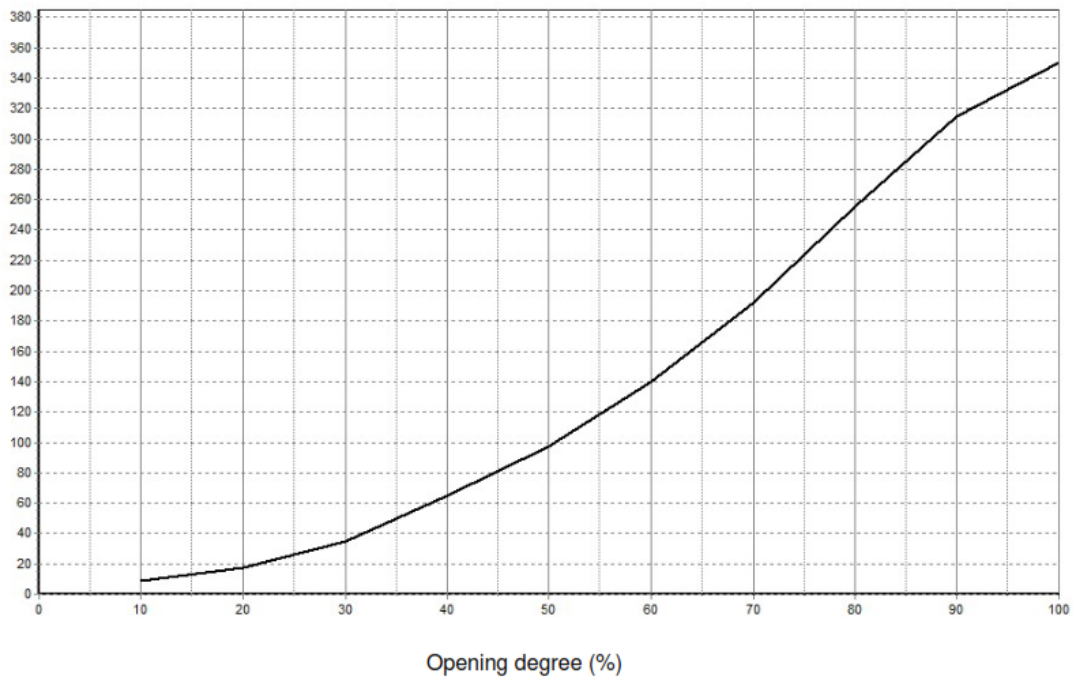
Cavitation diagram



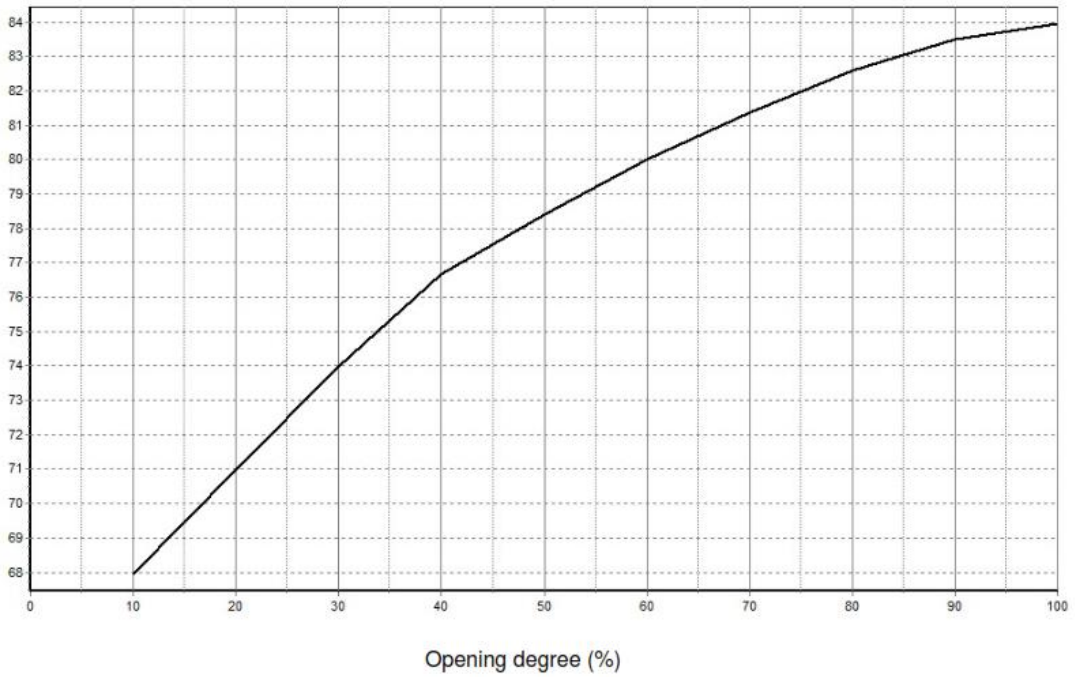
Zeta Value



Kv [m³/h]



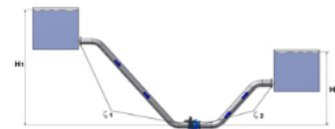
Noise level (dB A)



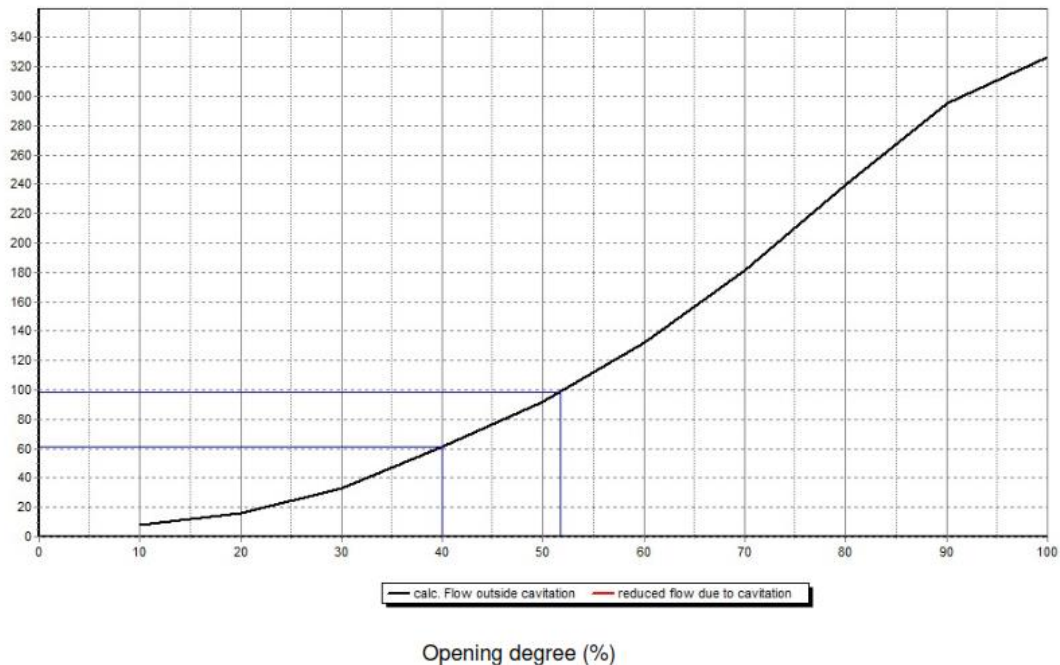
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF23 Y VCF24:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	118,32 mWC
Static downstream pressure:	2,95 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	60,97 l/s - 40%
Flow Qmax:	98,51 l/s - 52%
Altitude:	2724
Qmax Pipe system:	327,02 l/s

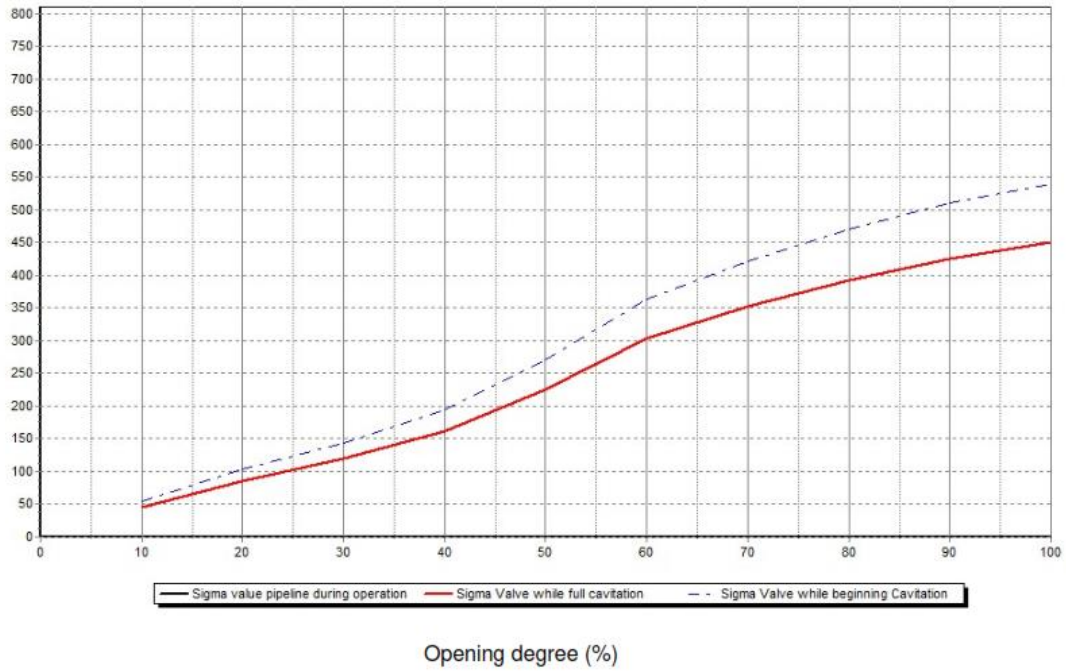
Type of regulation



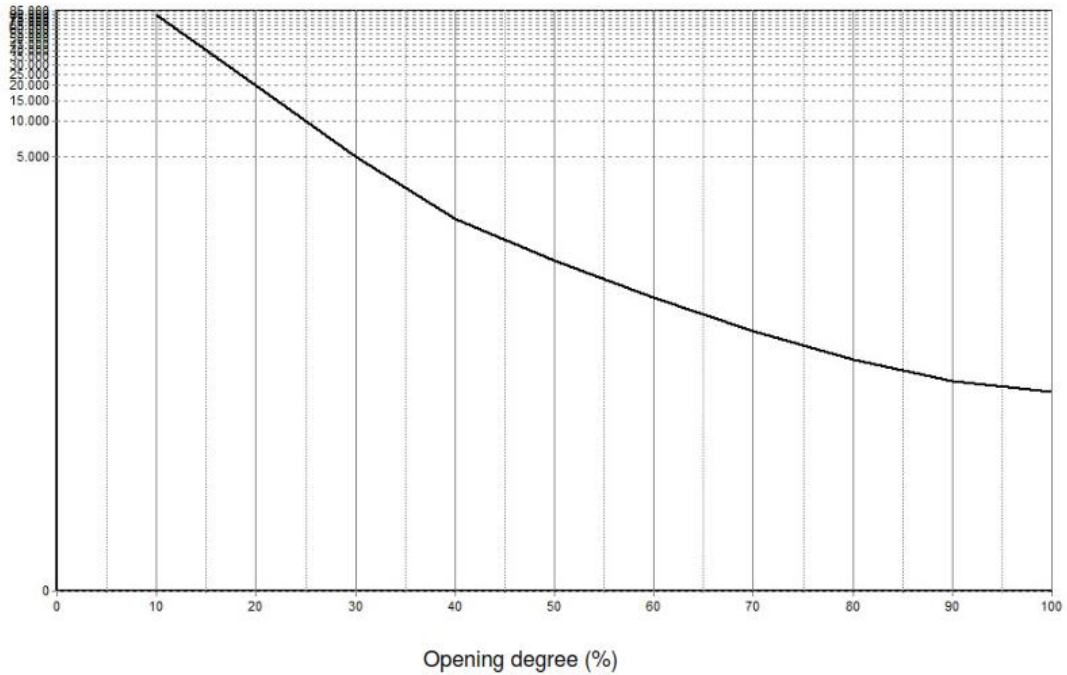
Capacity in l/s



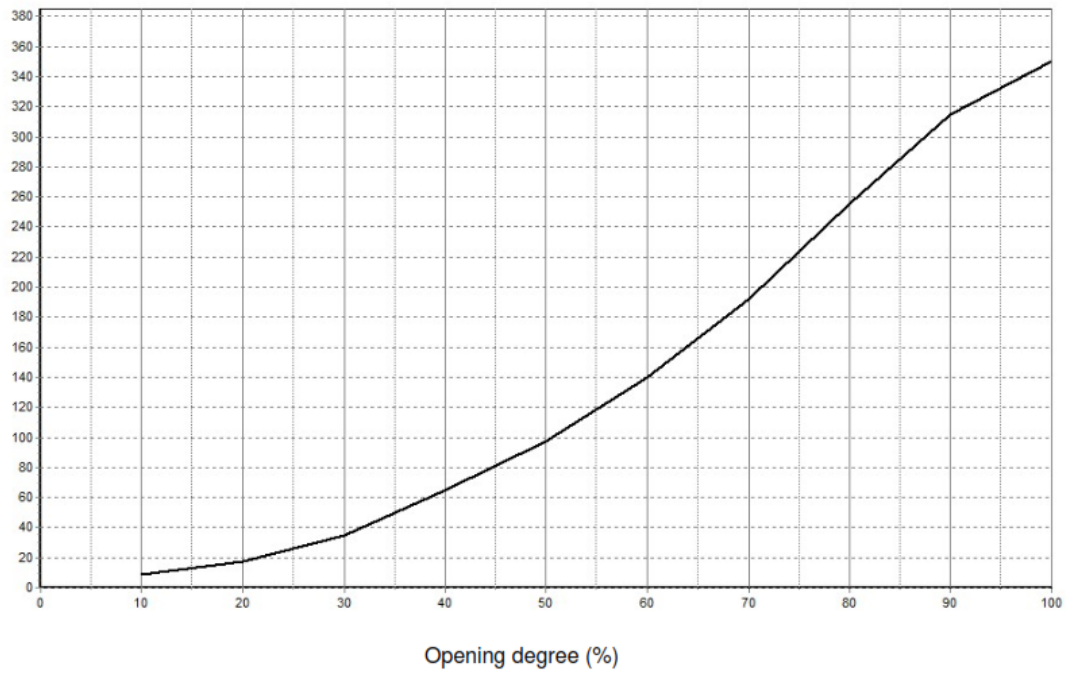
Cavitation diagram



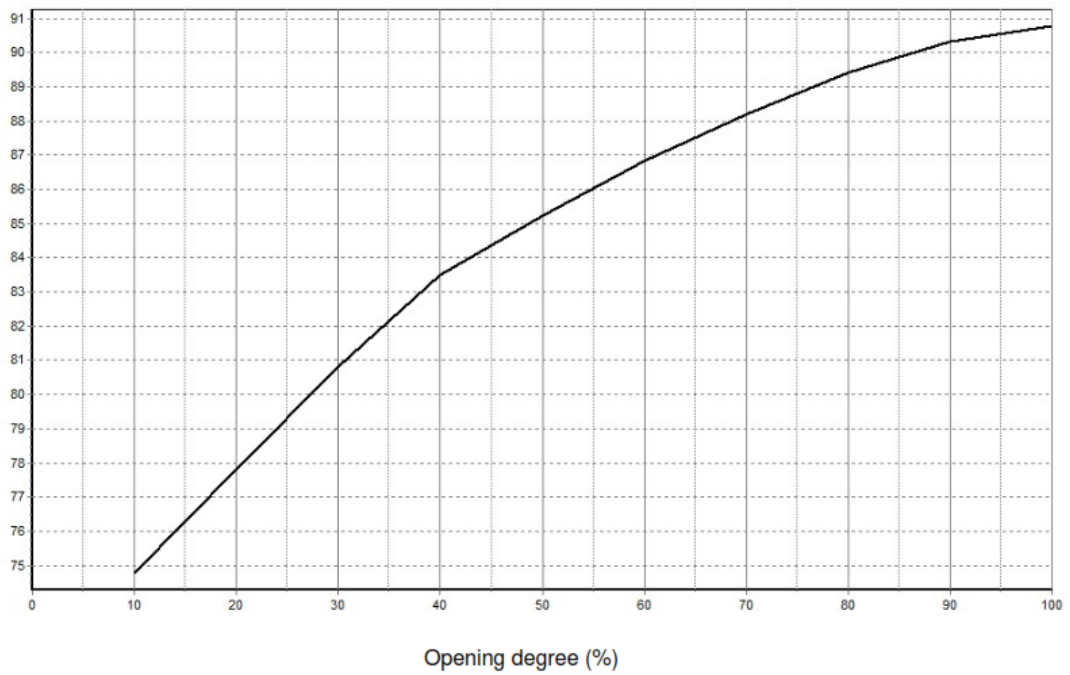
Zeta Value



Kv [m³/h]



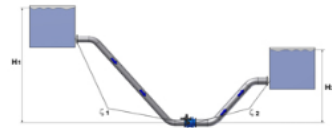
Noise level (dB A)



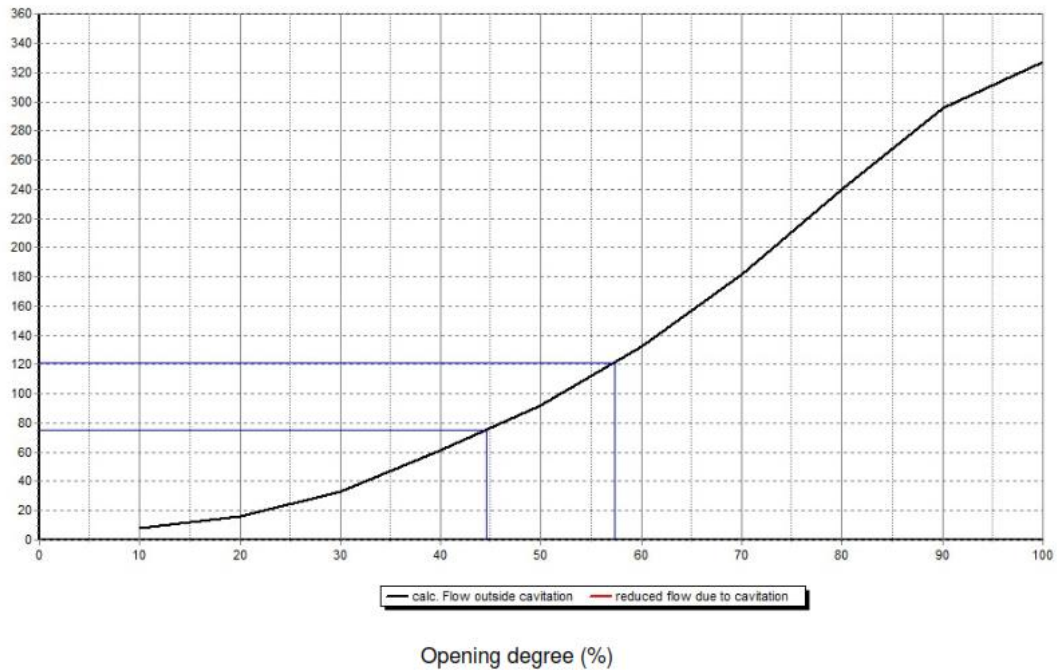
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF25 Y VCF26:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	250
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	119,22 mWC
Static downstream pressure:	3,51 mWC
Pipe diameter upstream side:	250 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	250 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	75,17 l/s - 45%
Flow Qmax:	121,45 l/s - 57%
Altitude:	2723
Qmax Pipe system:	327,51 l/s

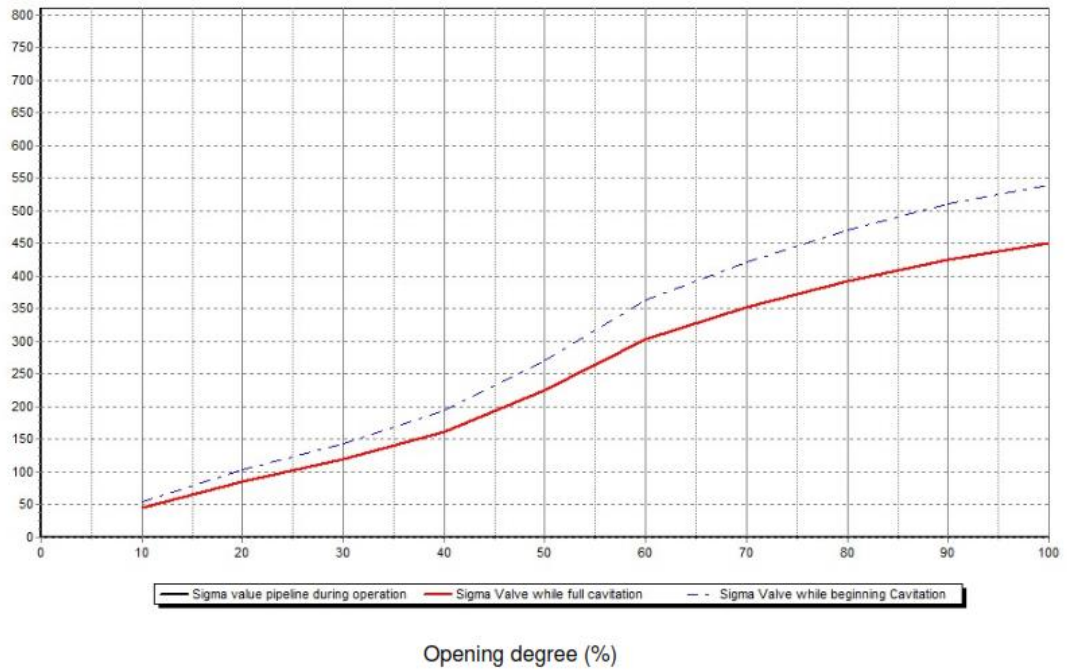
Type of regulation



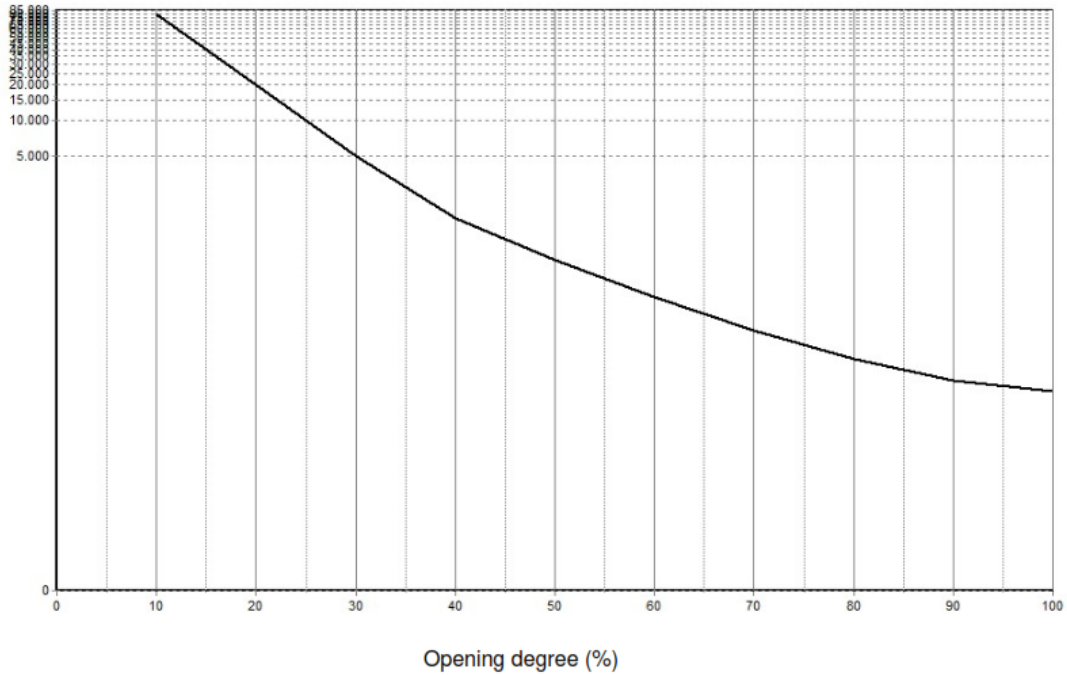
Capacity in l/s



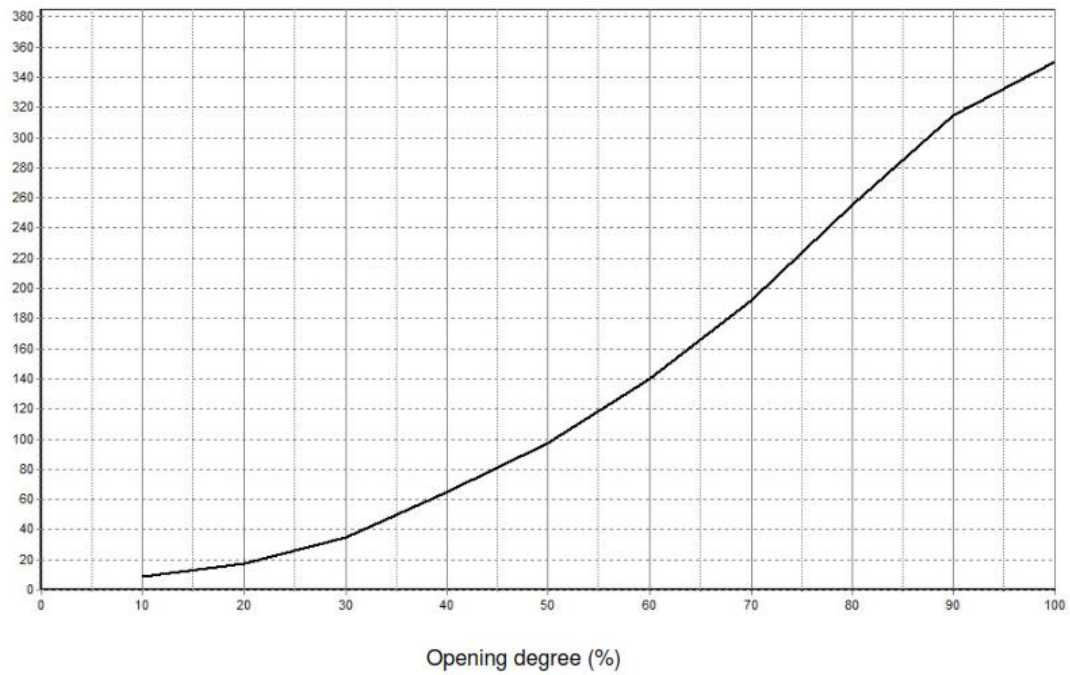
Cavitation diagram



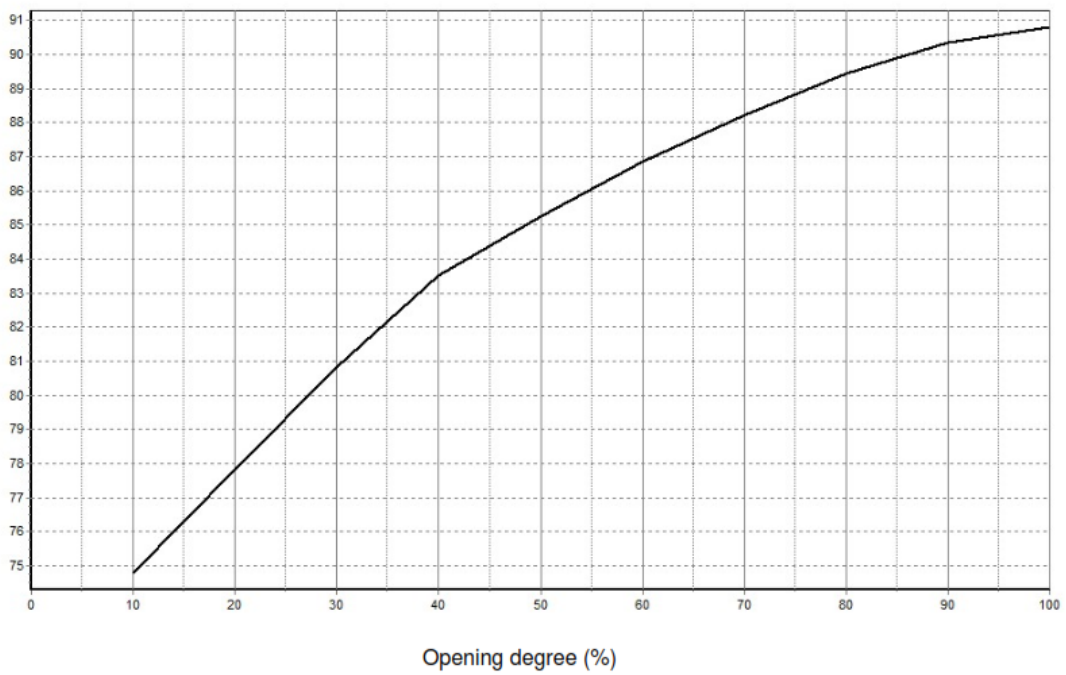
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



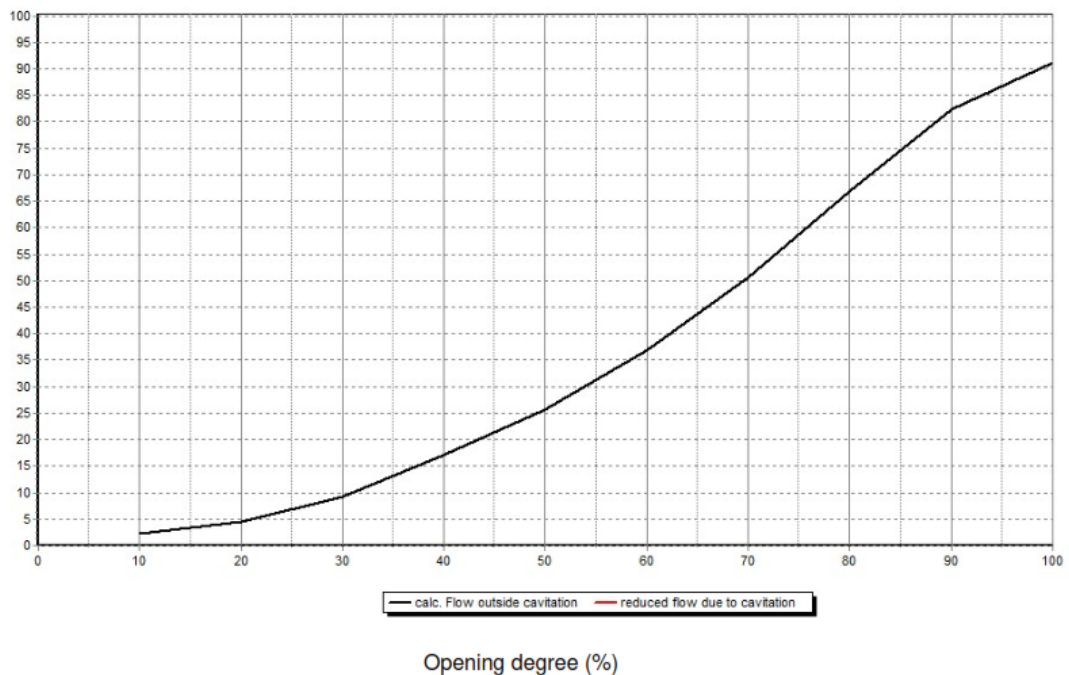
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF27 Y VCF28:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	300
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	102,49 mWC
Static downstream pressure:	98,16 mWC
Pipe diameter upstream side:	300 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	300 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	91,37 l/s - 0%
Flow Qmax:	147,62 l/s - 0%
Altitude:	2685
Qmax Pipe system:	91,23 l/s

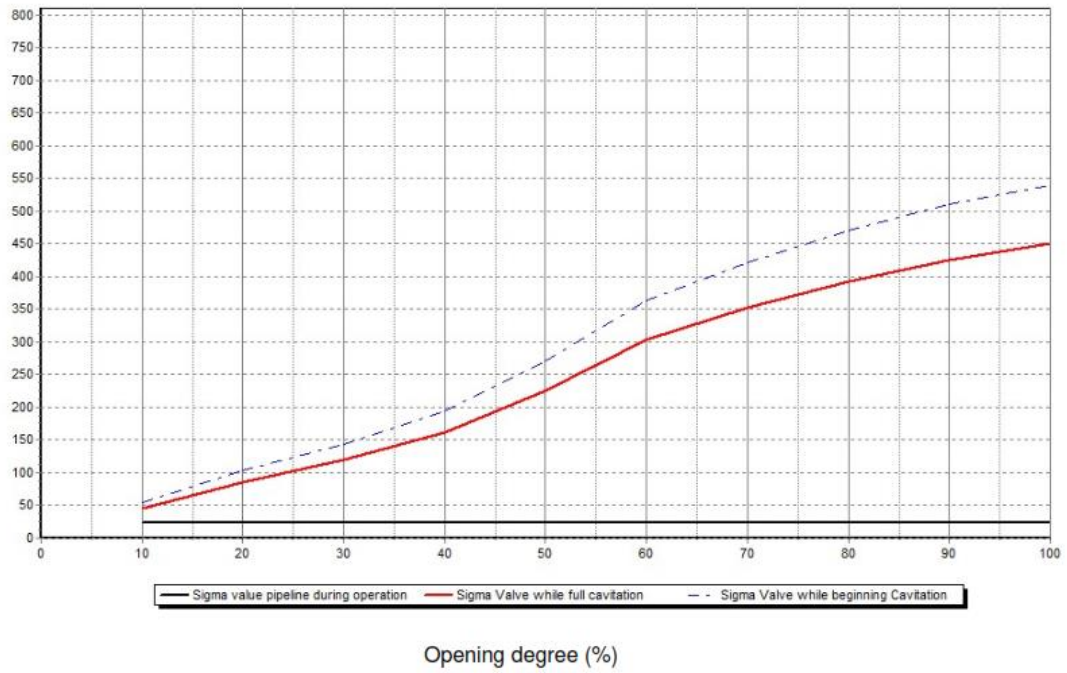
Type of regulation



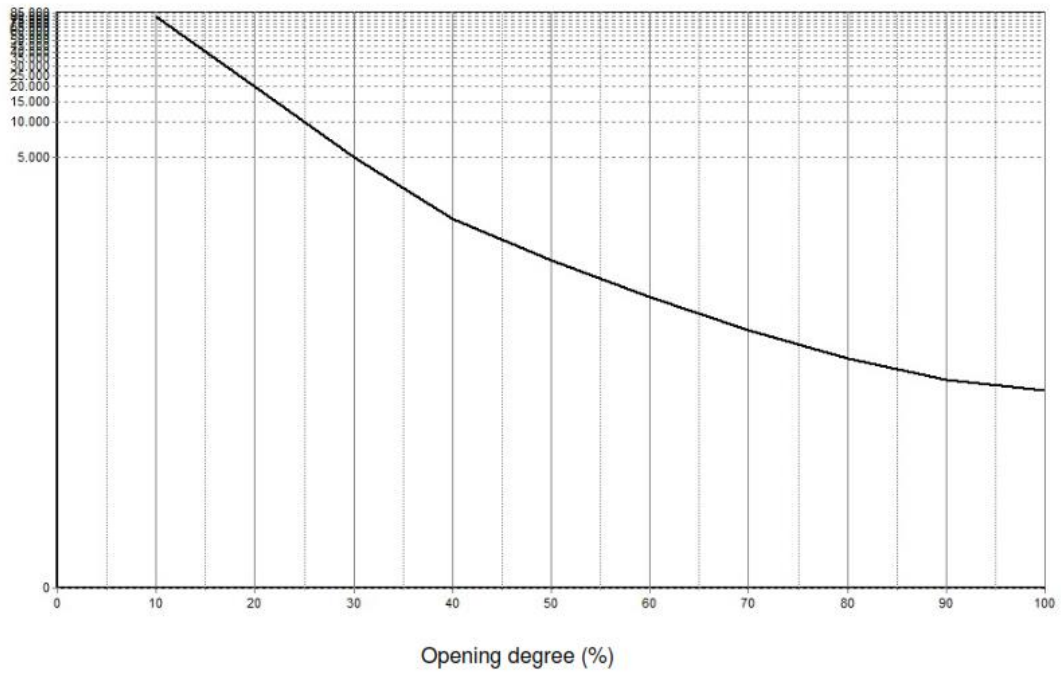
Capacity in l/s



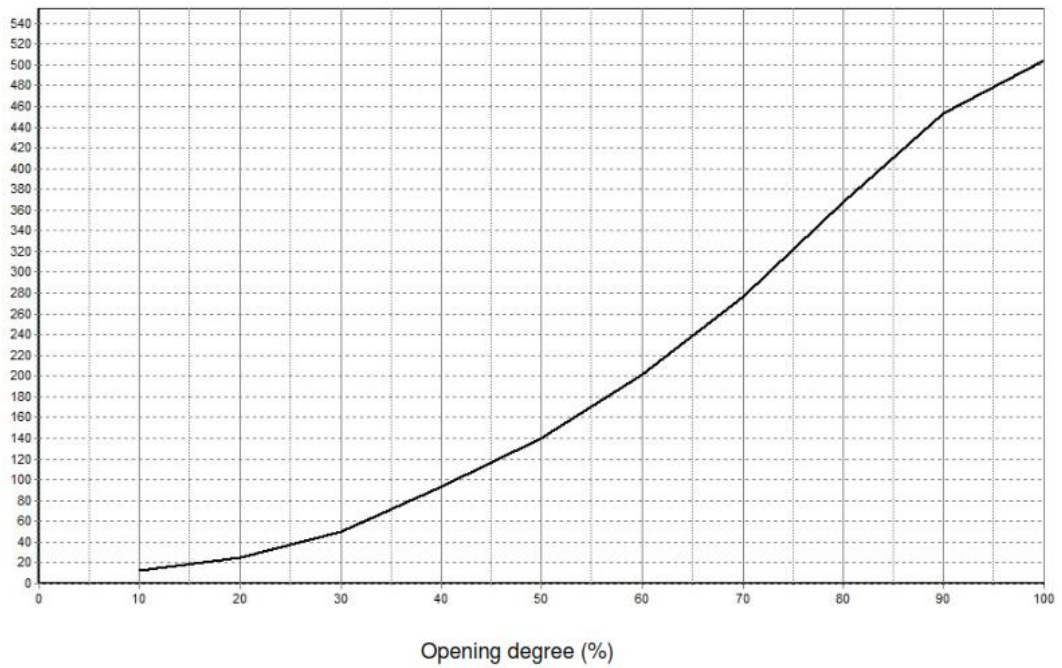
Cavitation diagram



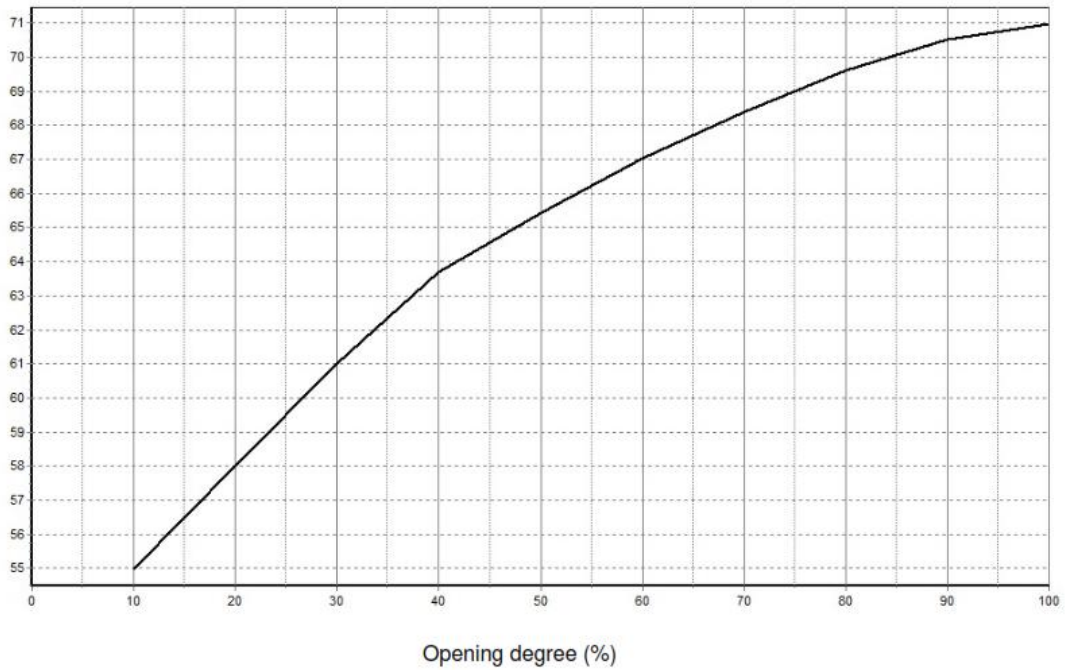
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



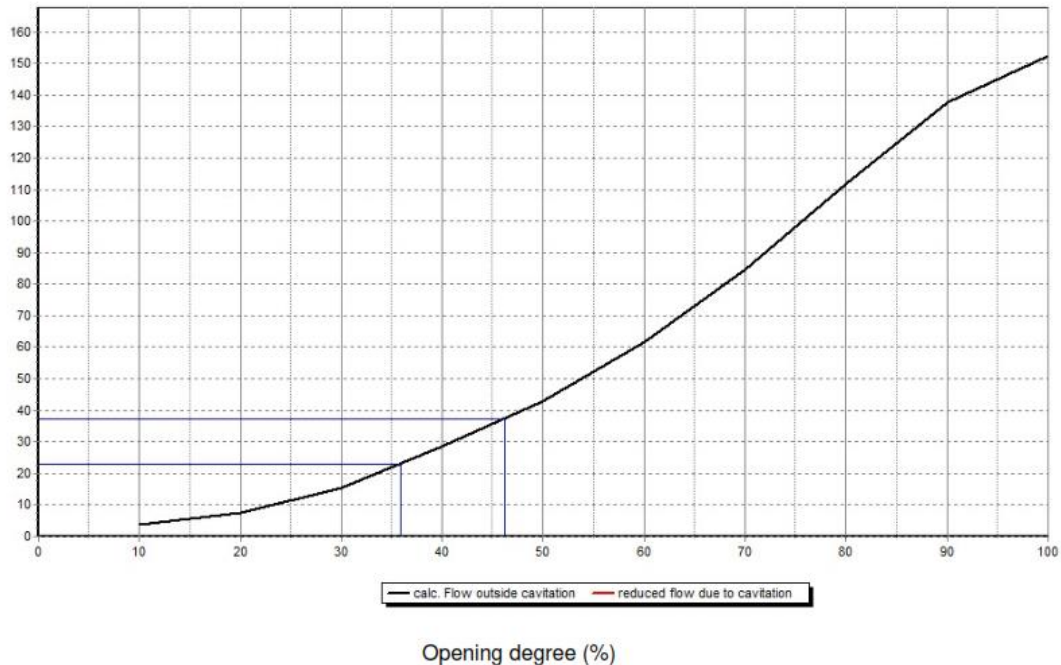
CÁLCULOS Y CURVAS DE LAS VÁLVULAS VCF29 Y VCF30:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	196,28 mWC
Static downstream pressure:	2,75 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	23,09 l/s - 36%
Flow Qmax:	37,30 l/s - 46%
Altitude:	2614
Qmax Pipe system:	152,48 l/s

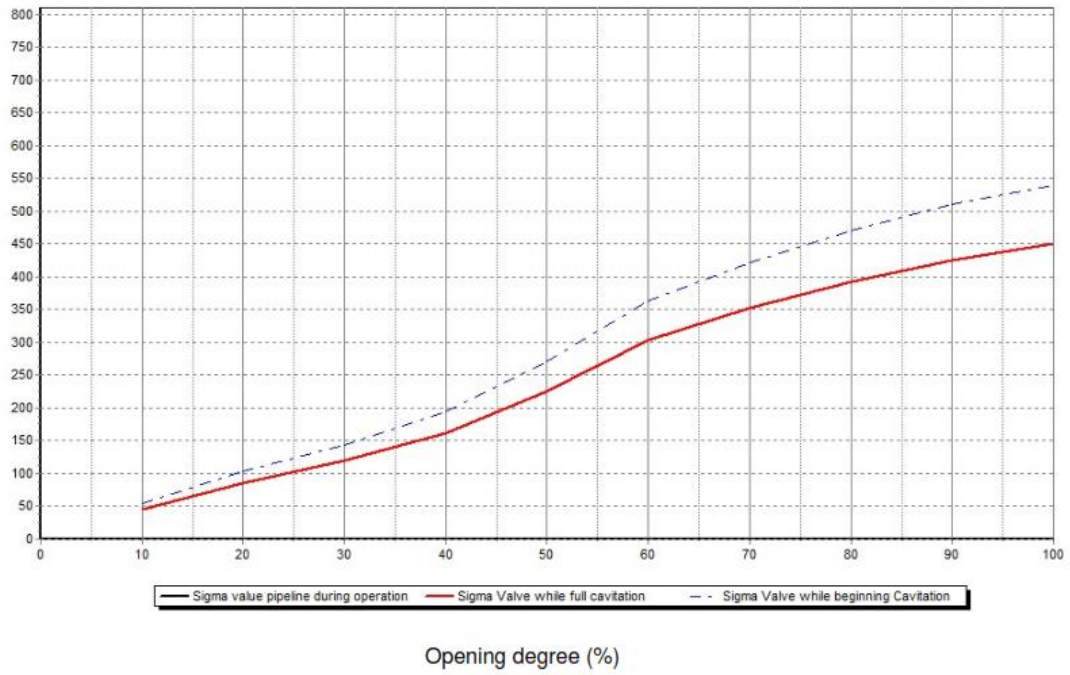
Type of regulation



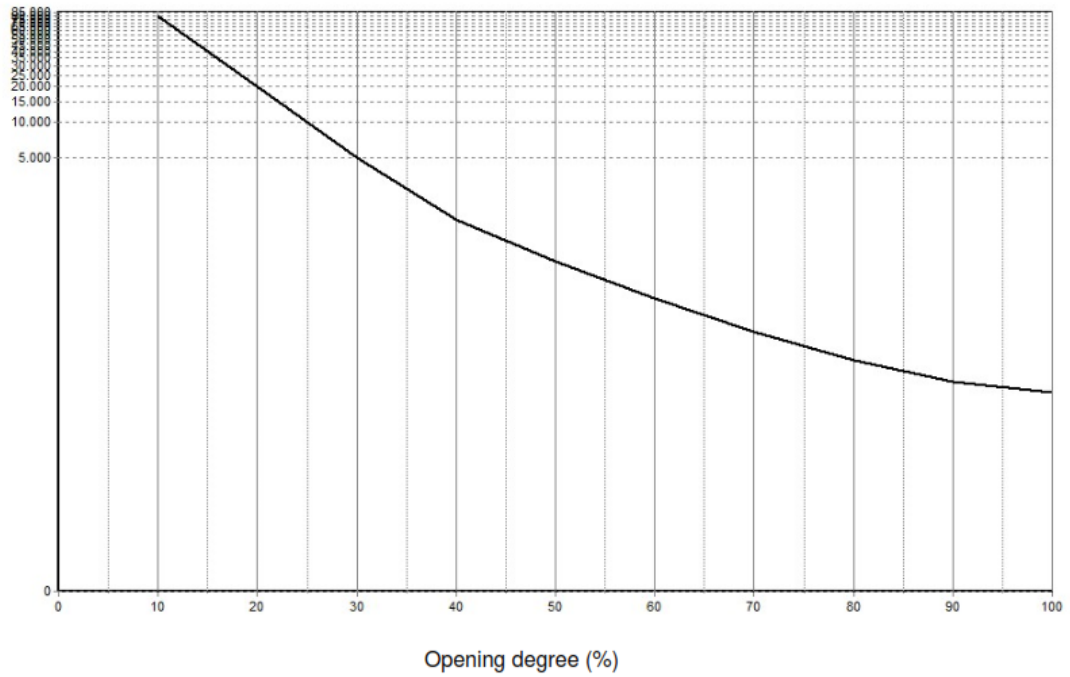
Capacity in l/s



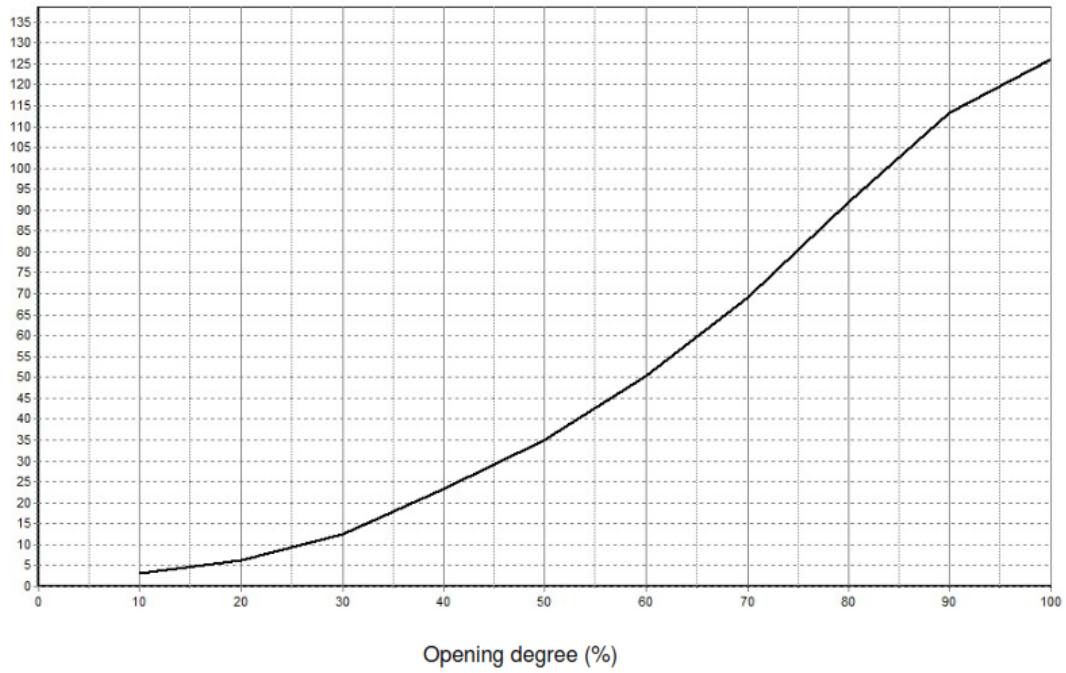
Cavitation diagram



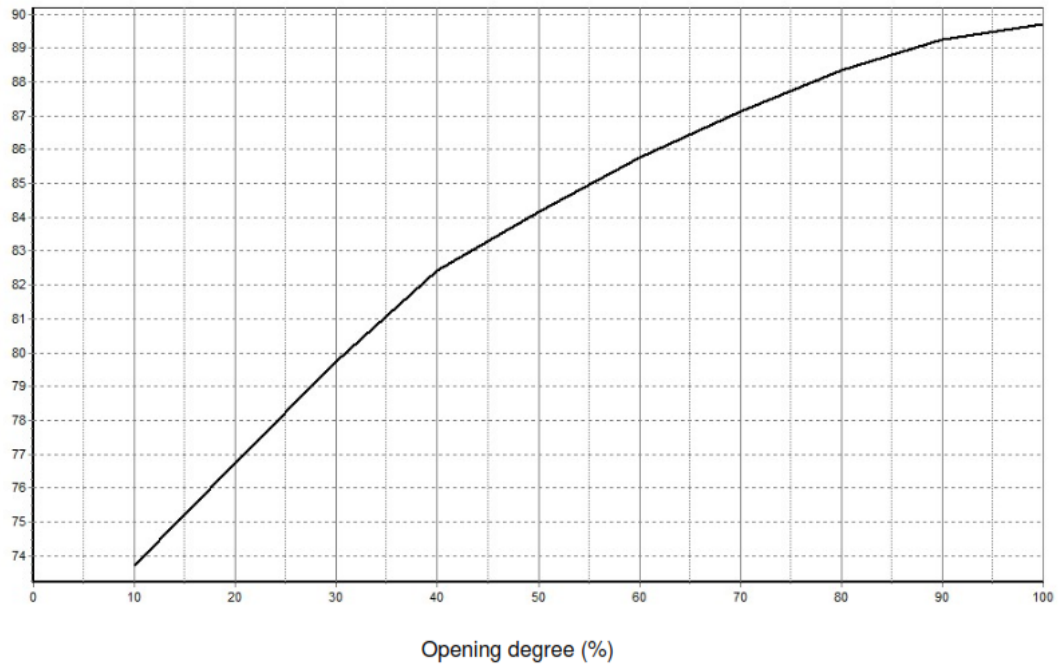
Zeta Value



Kv [m³/h]



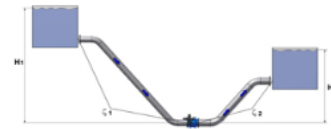
Noise level (dB A)



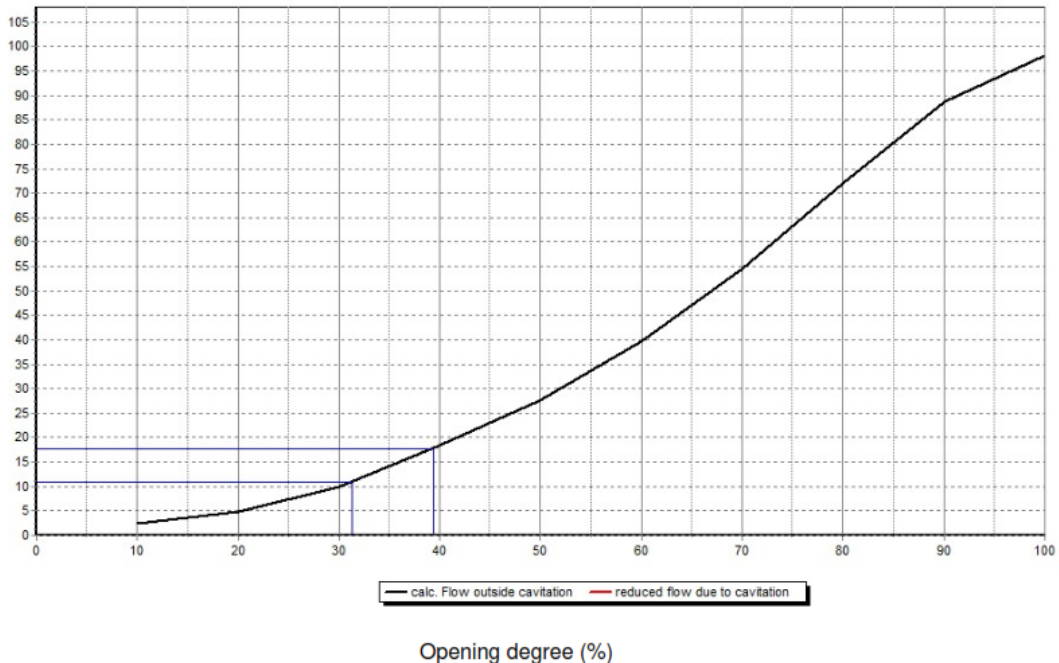
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VCF31 Y VCF34:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	82,95 mWC
Static downstream pressure:	2,58 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	11,02 l/s - 31%
Flow Qmax:	17,80 l/s - 39%
Altitude:	2487
Qmax Pipe system:	98,26 l/s

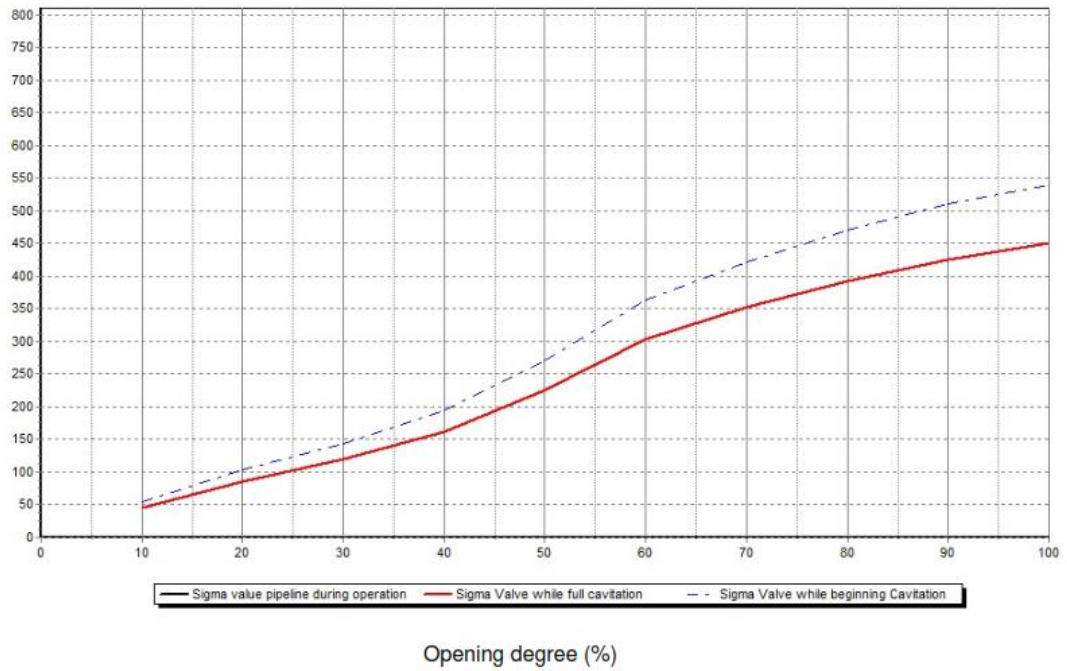
Type of regulation



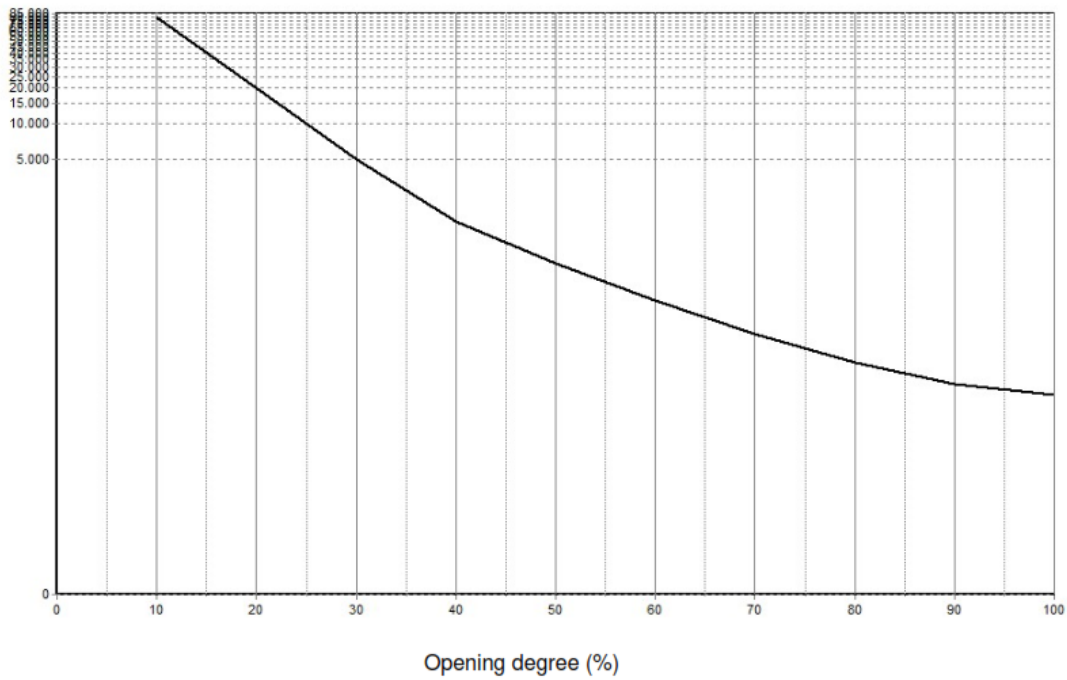
Capacity in l/s



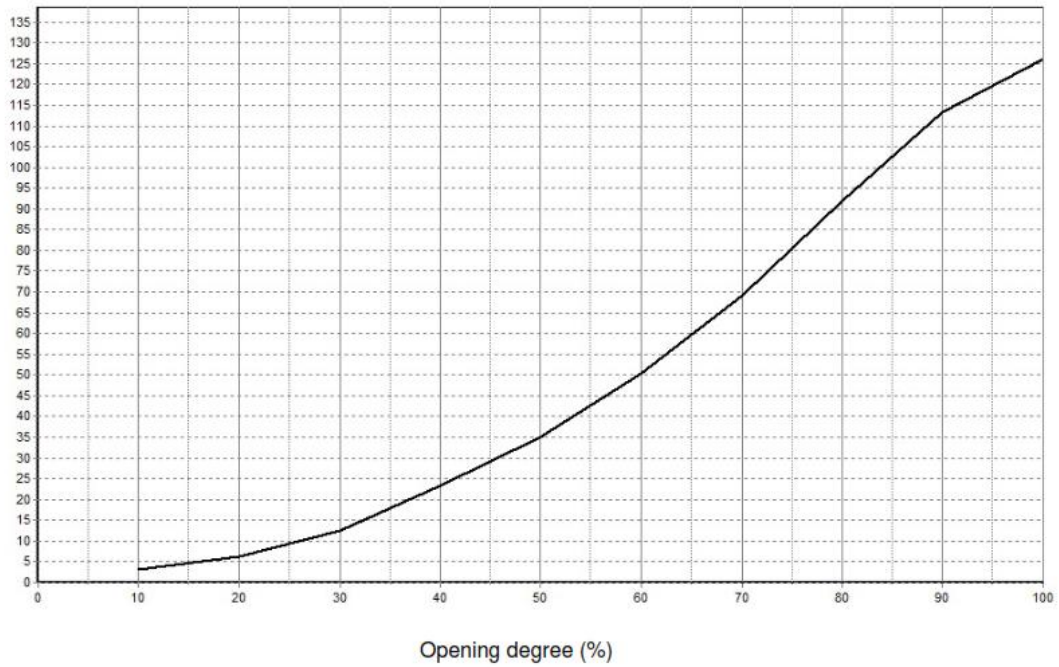
Cavitation diagram



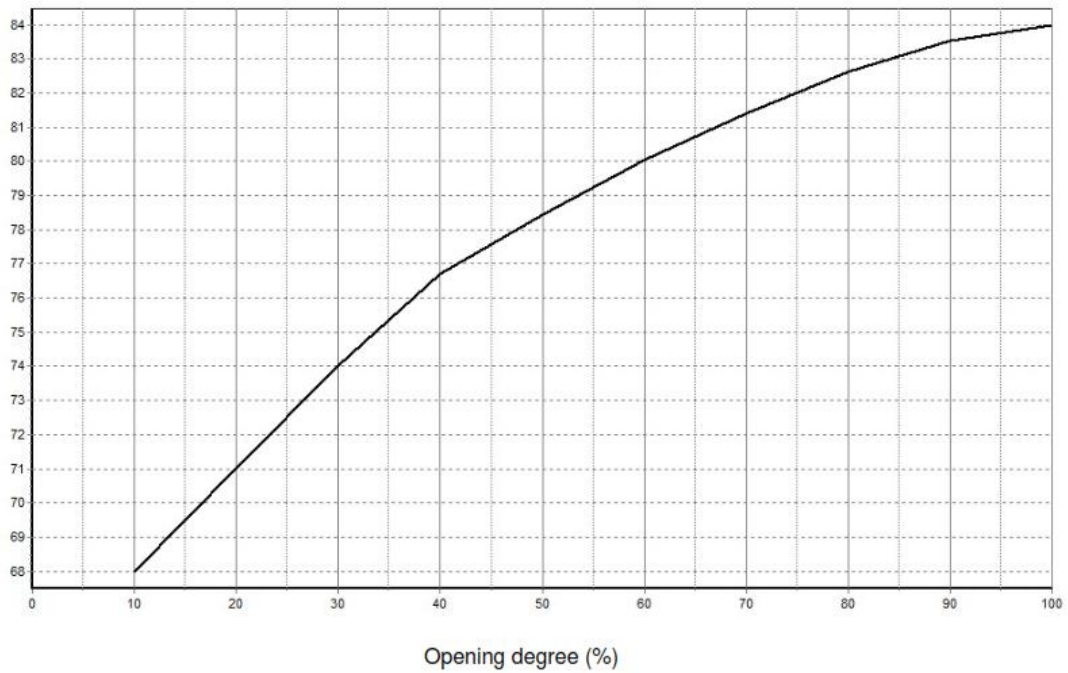
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



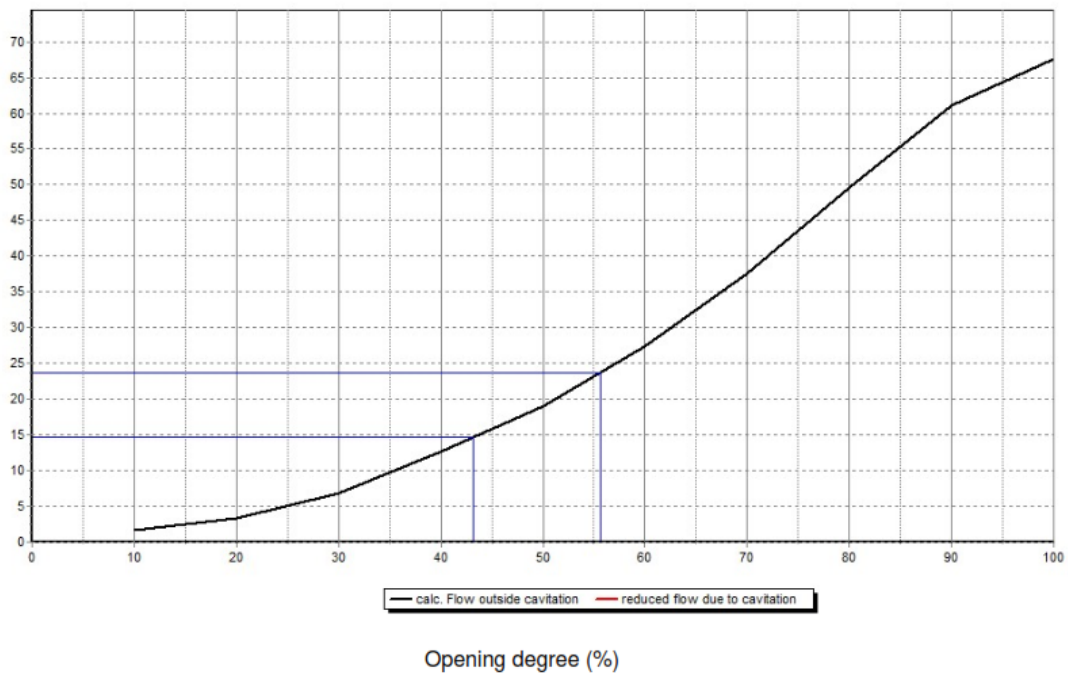
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VCF32 Y VCF33:

Project Name:	Proyecto Redes Calderón
Project Note:	Diseño Válvulas de Control de Flujo
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	25
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	SZ 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	40,70 mWC
Static downstream pressure:	2,58 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	14,65 l/s - 43%
Flow Qmax:	23,66 l/s - 56%
Altitude:	2571
Qmax Pipe system:	67,67 l/s

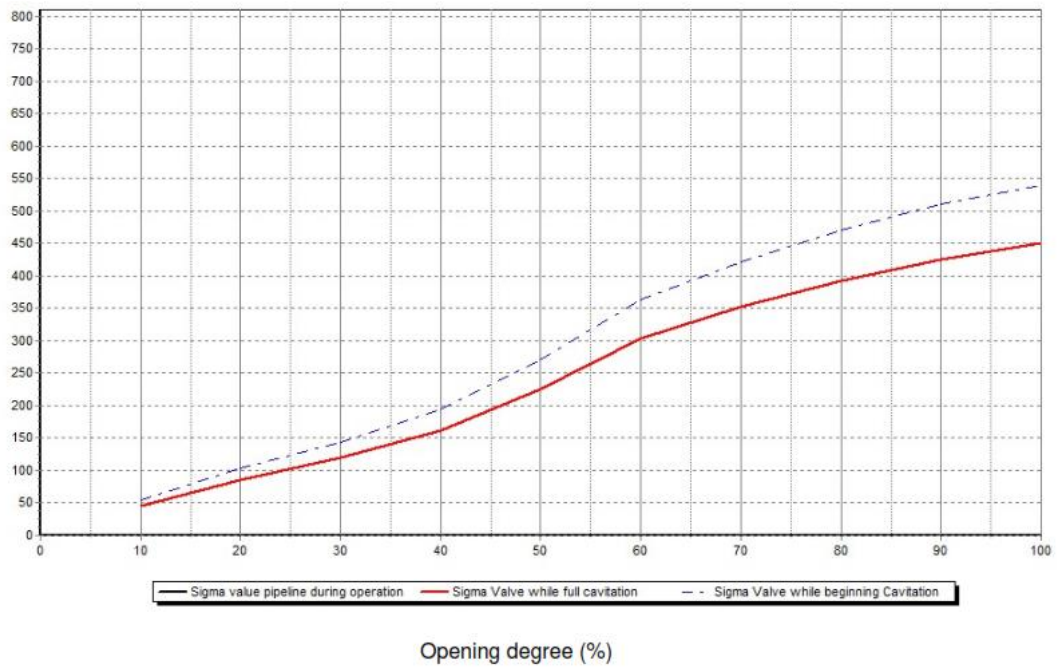
Type of regulation



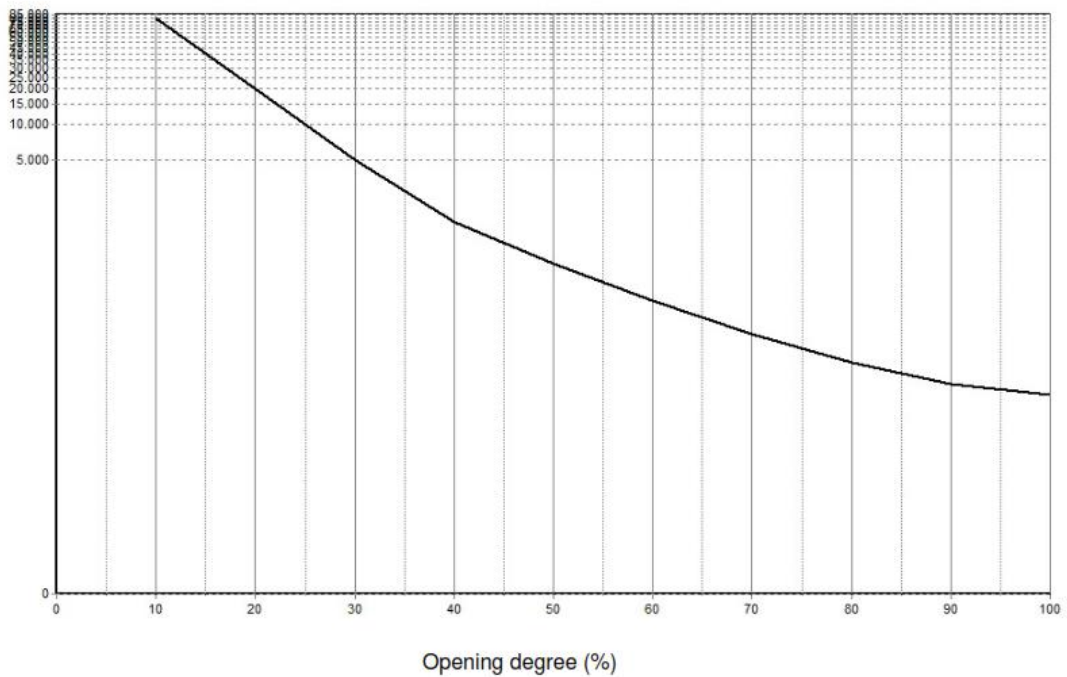
Capacity in l/s



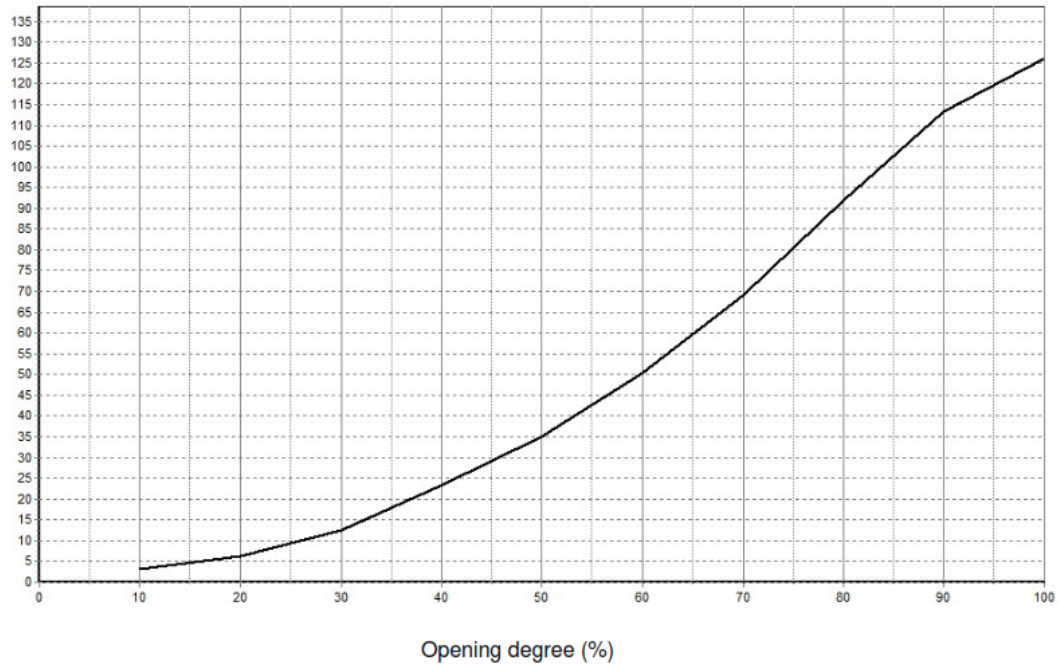
Cavitation diagram



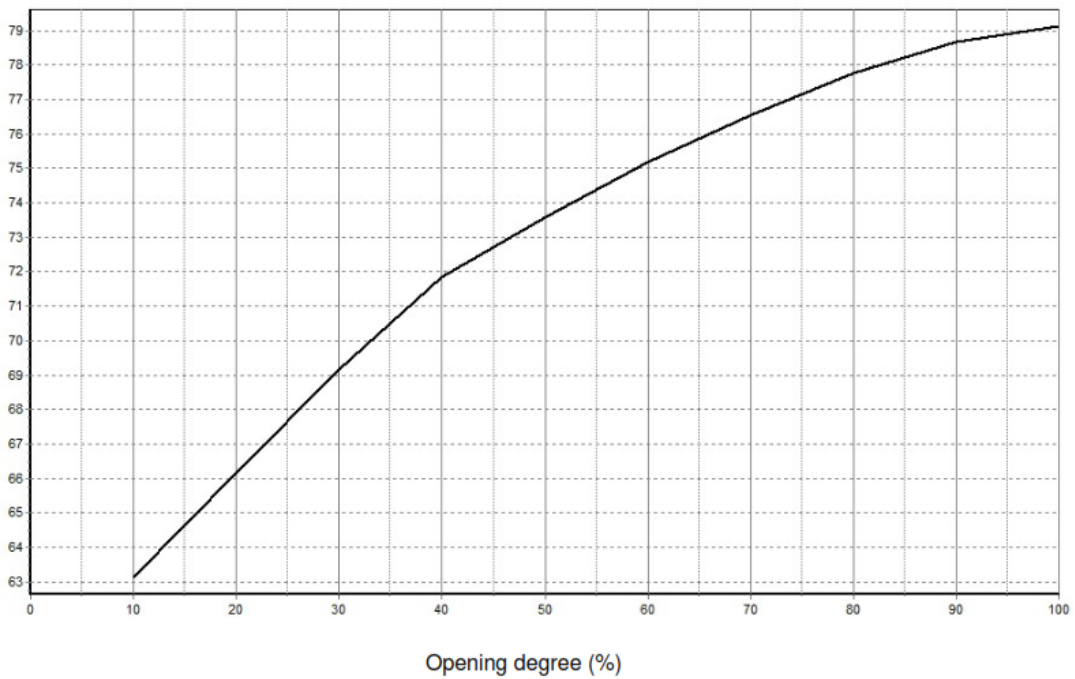
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



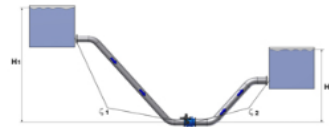
ANEXO B:

CÁLCULOS Y CURVAS DE VÁLVULAS DE DESCARGA DE PASO ANULAR CON ÉMBOLO MULTIORIFICIO

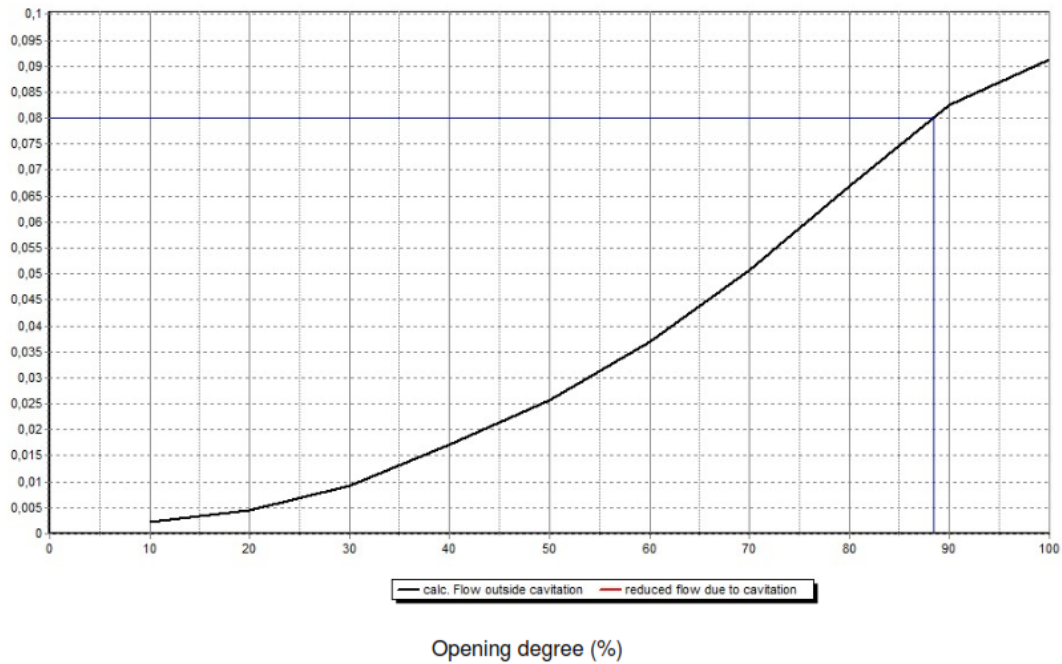
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD1:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	69,54 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m ³ /s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m ³ /s - 88%
Altitude:	2840
Qmax Pipe system:	0,09 m ³ /s

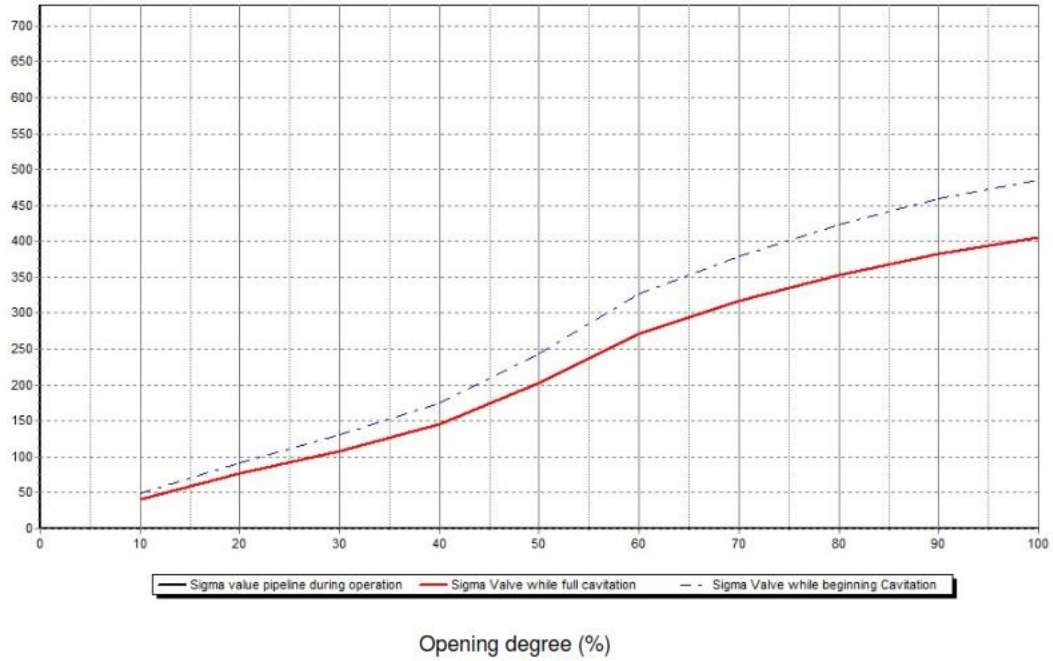
Type of regulation



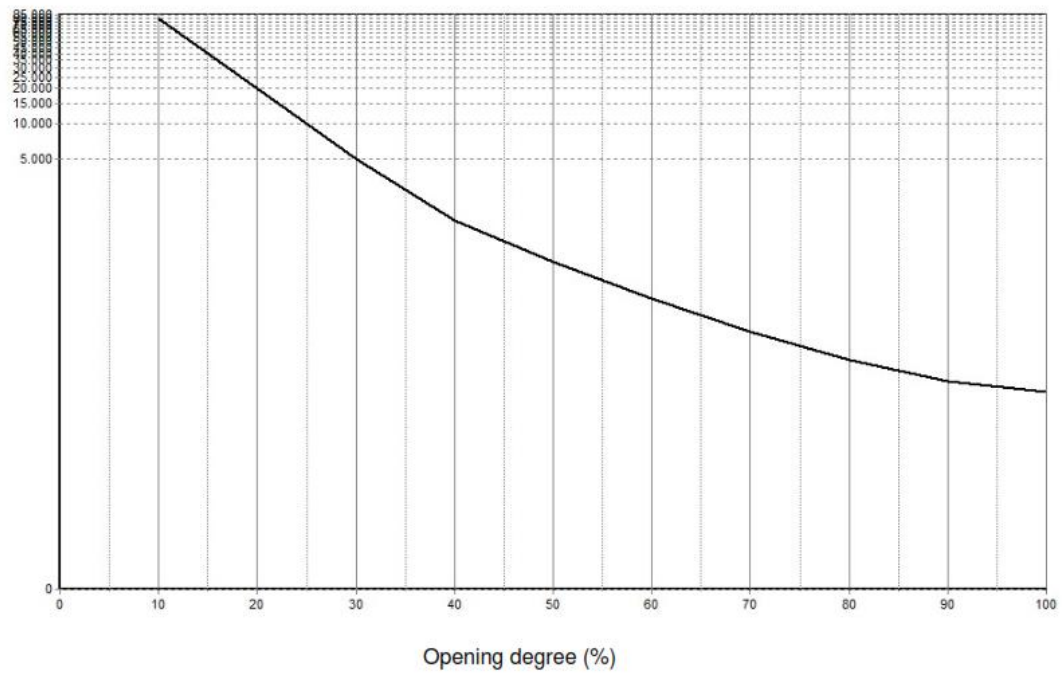
Capacity in m³/s



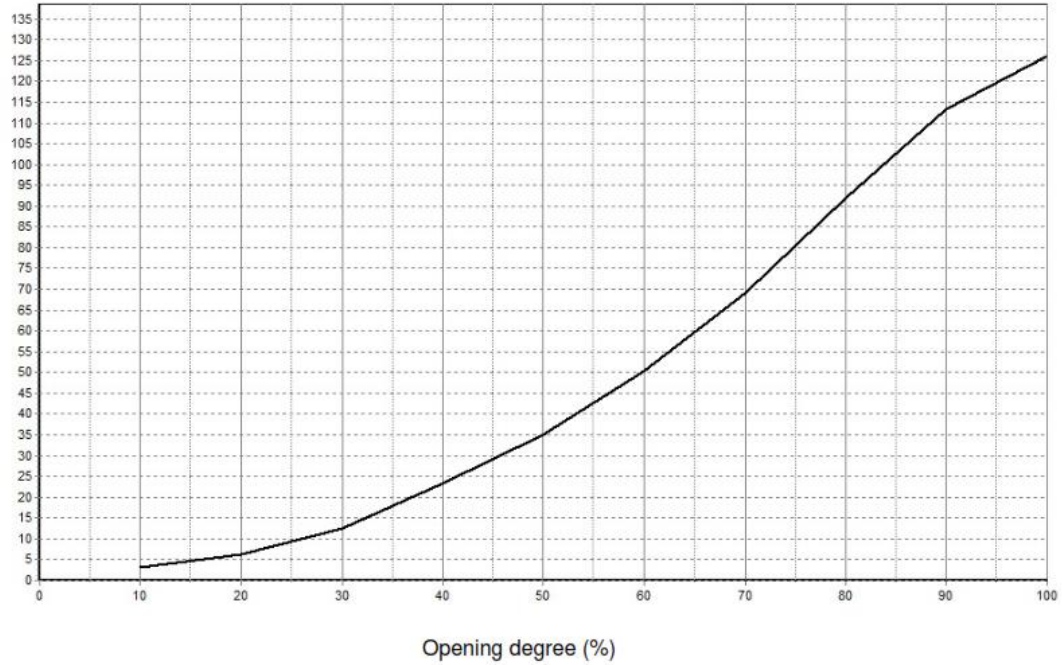
Cavitation diagram



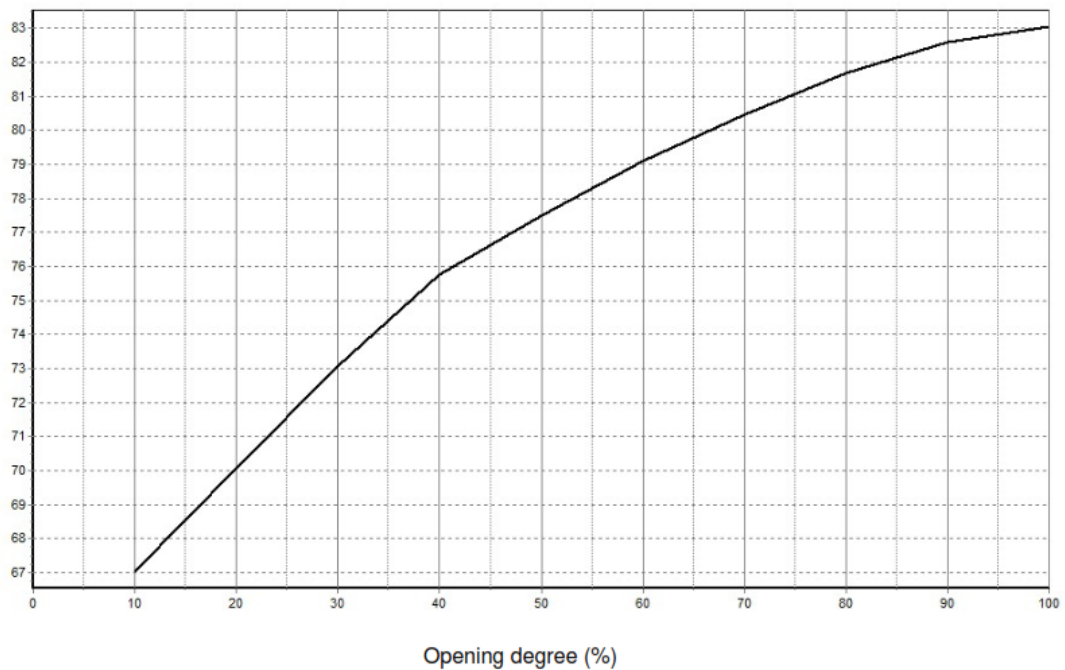
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



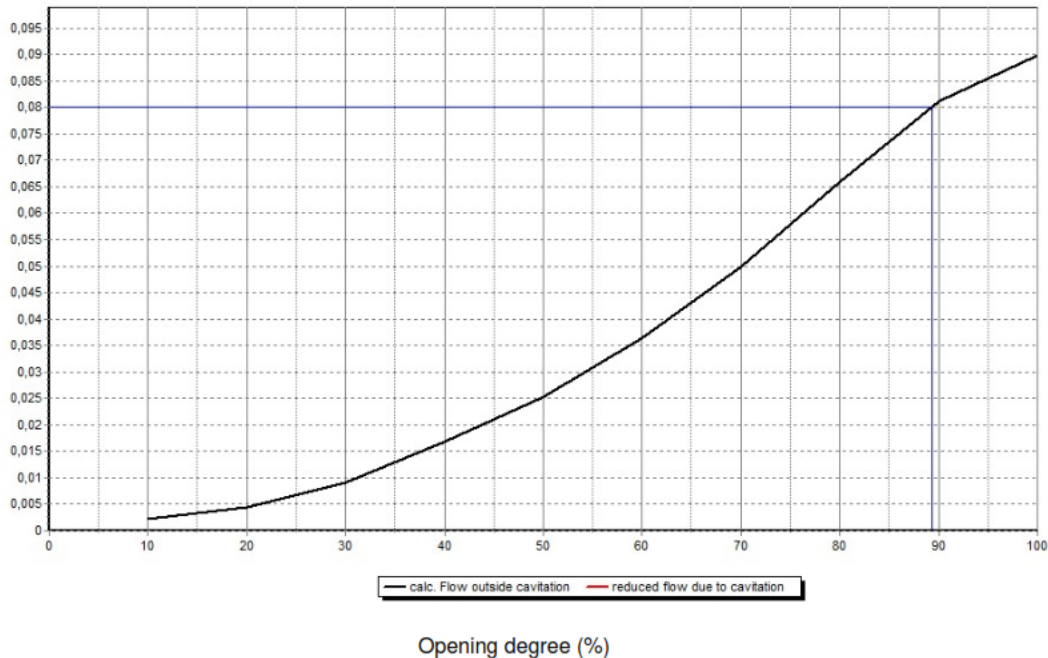
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD2:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	67,28 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m3/s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m3/s - 89%
Altitude:	2842
Qmax Pipe system:	0,09 m3/s

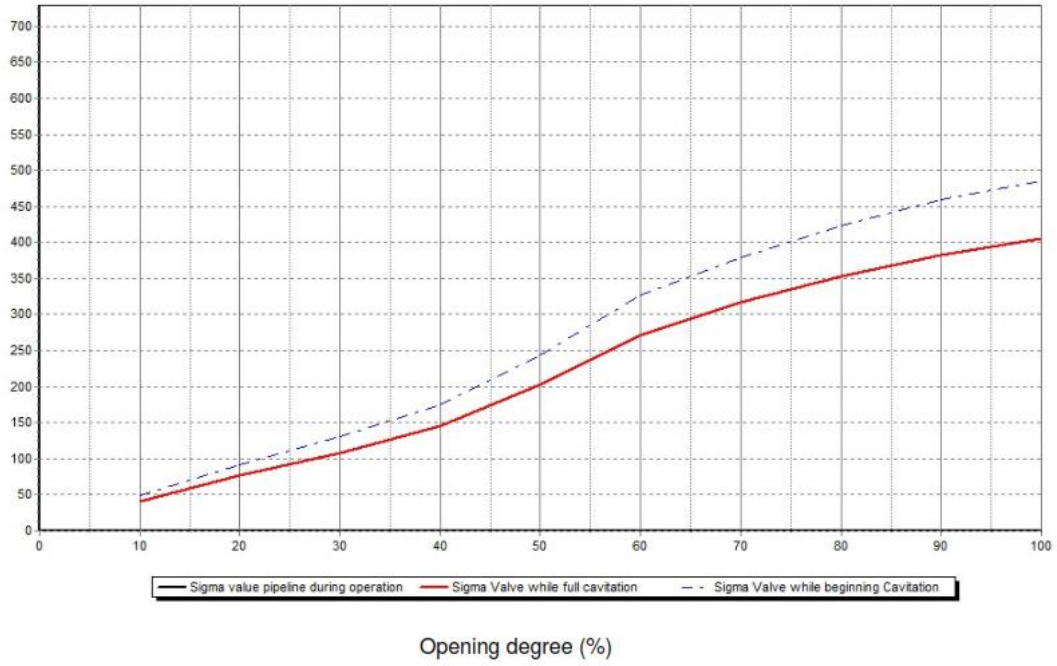
Type of regulation



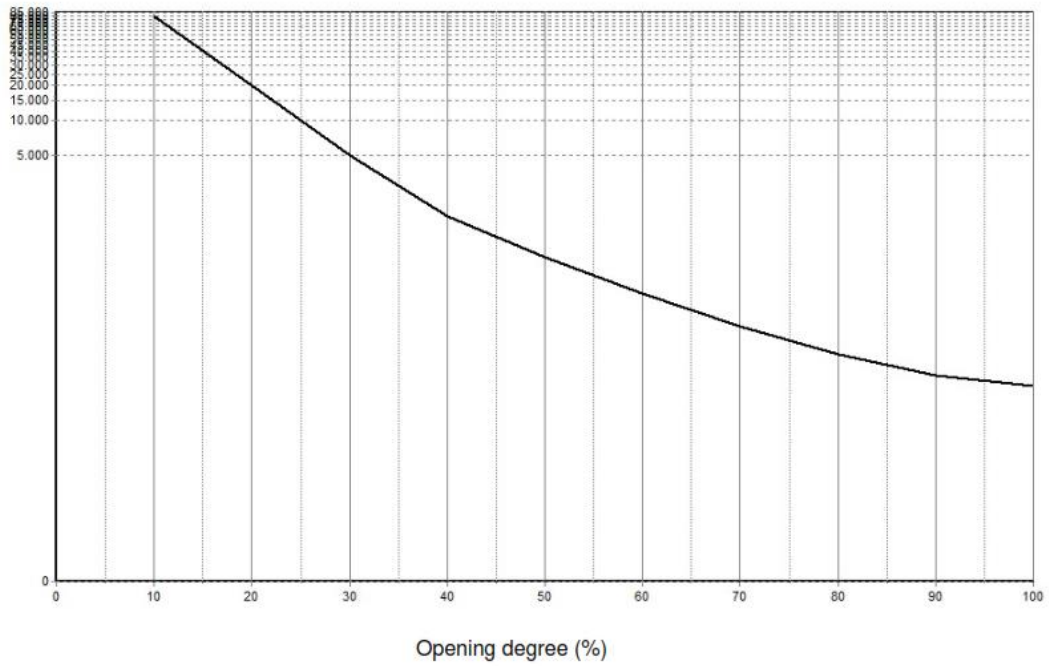
Capacity in m3/s



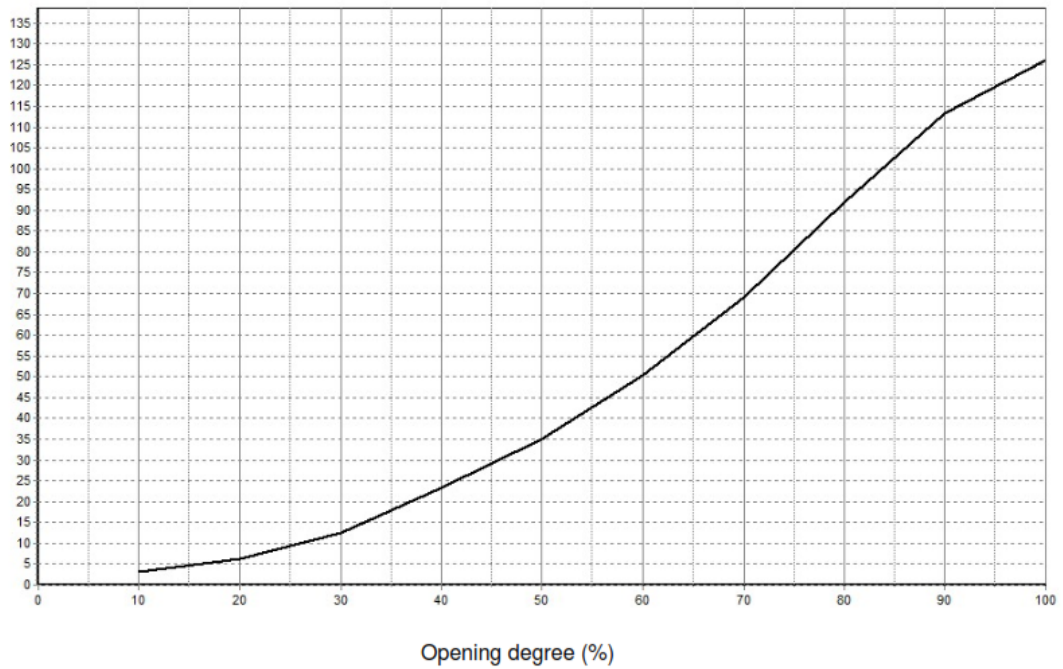
Cavitation diagram



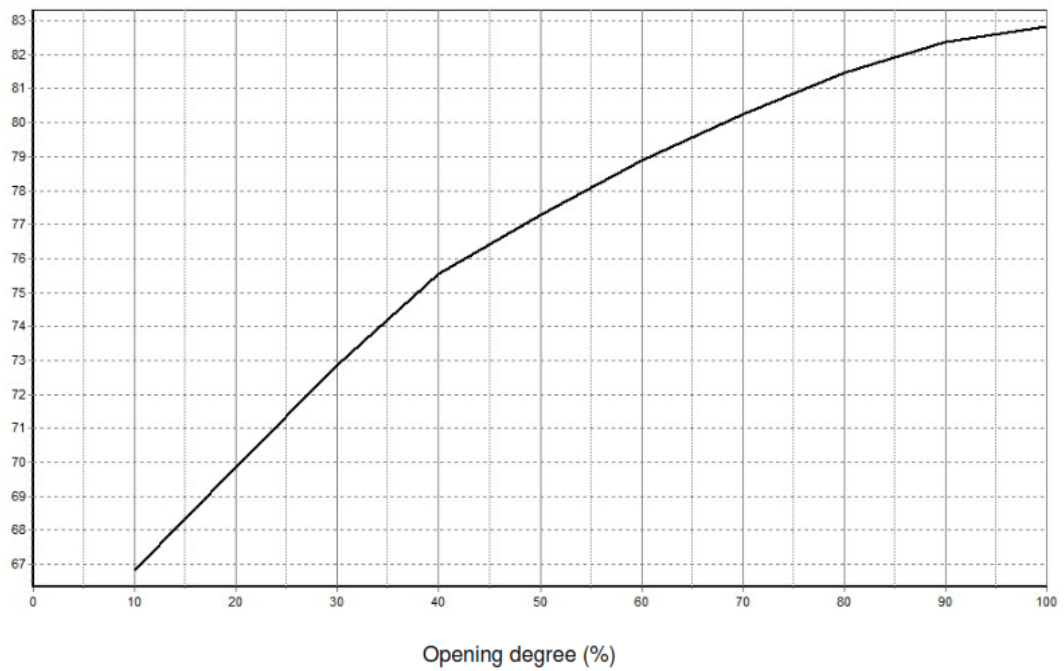
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



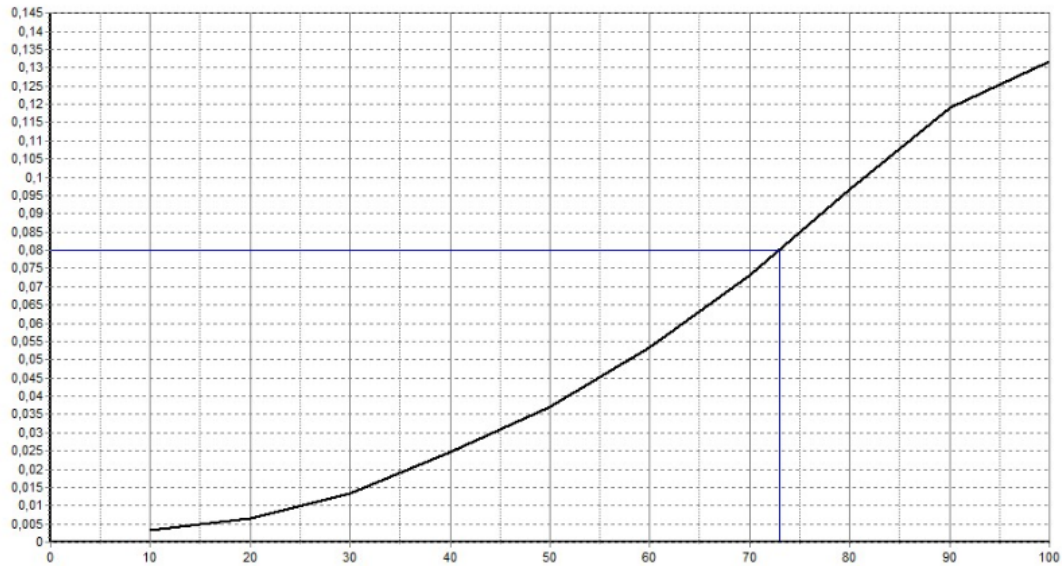
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD3:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	144,77 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m ³ /s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m ³ /s - 73%
Altitude:	2765
Qmax Pipe system:	0,13 m ³ /s

Type of regulation

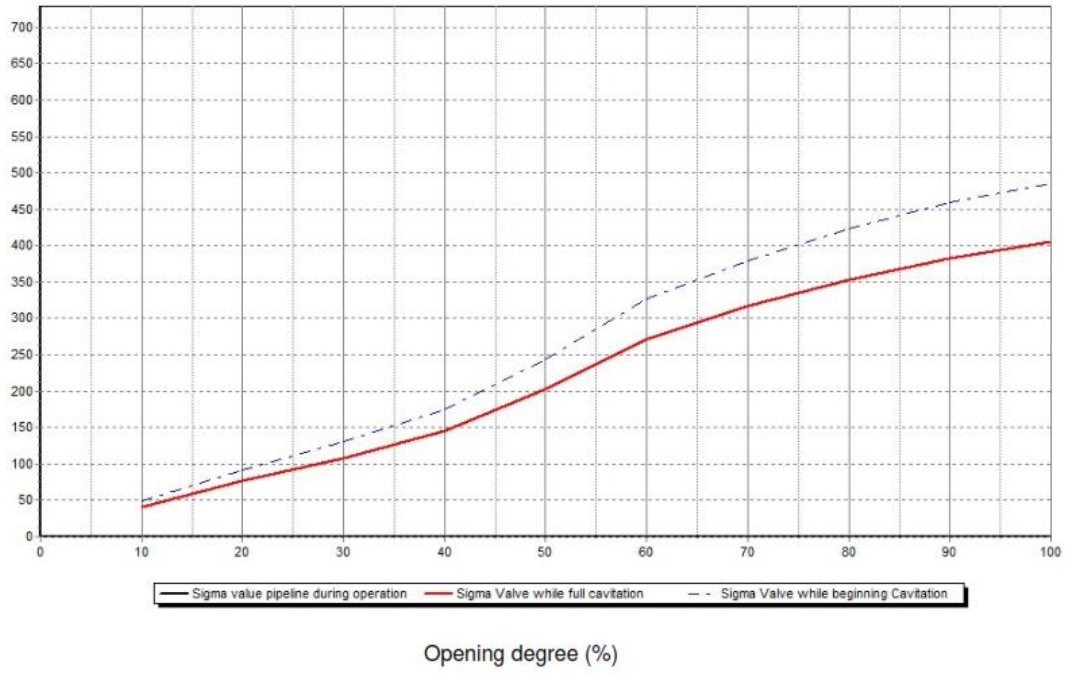


Capacity in m³/s

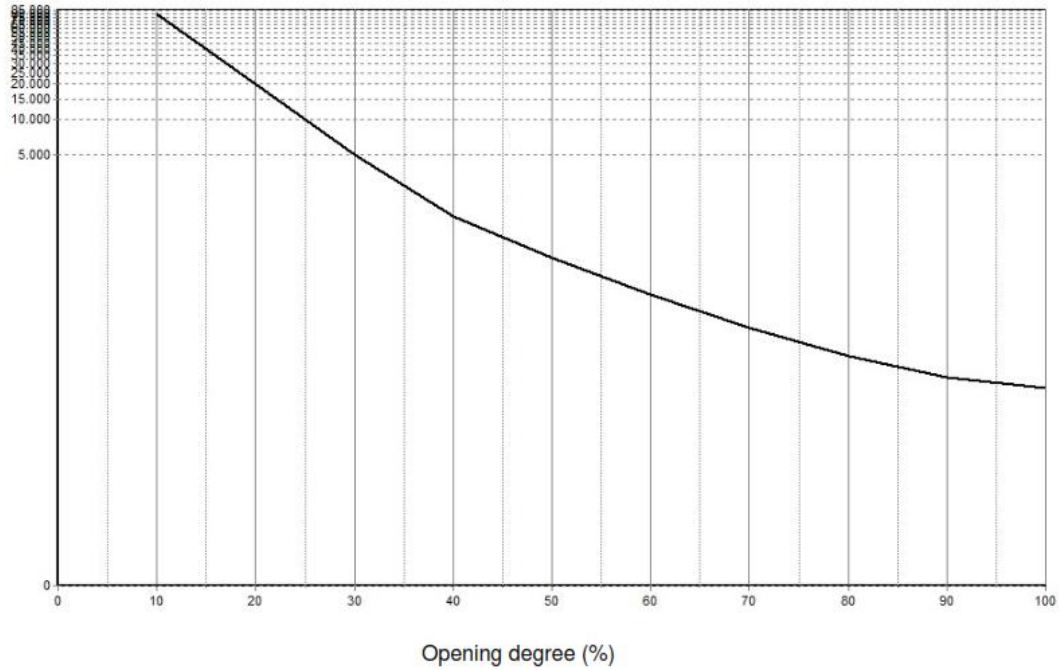


Opening degree (%)

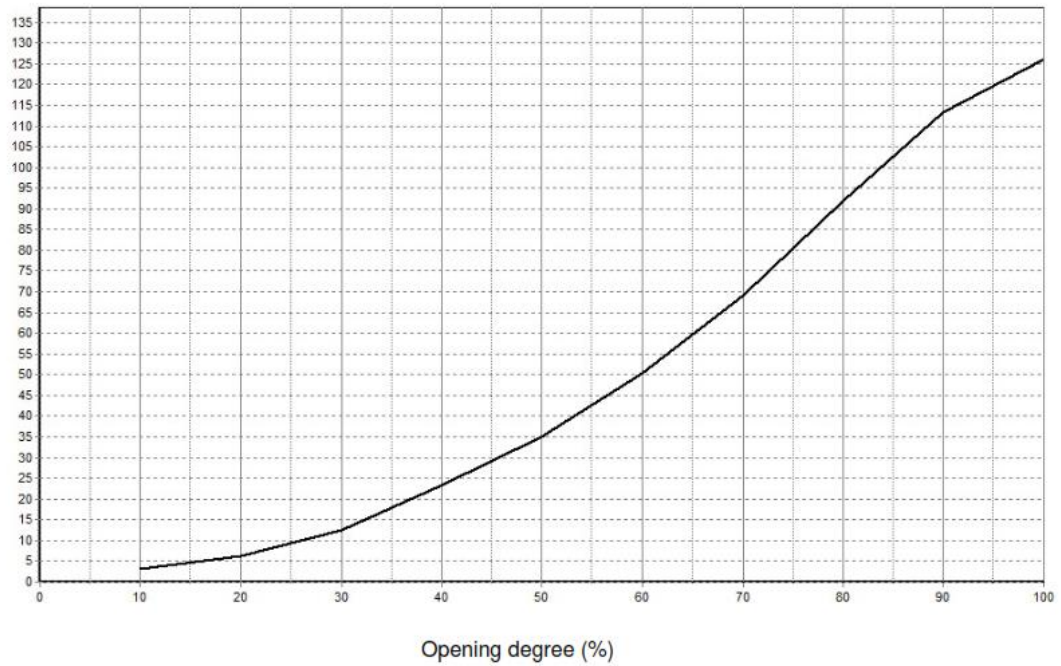
Cavitation diagram



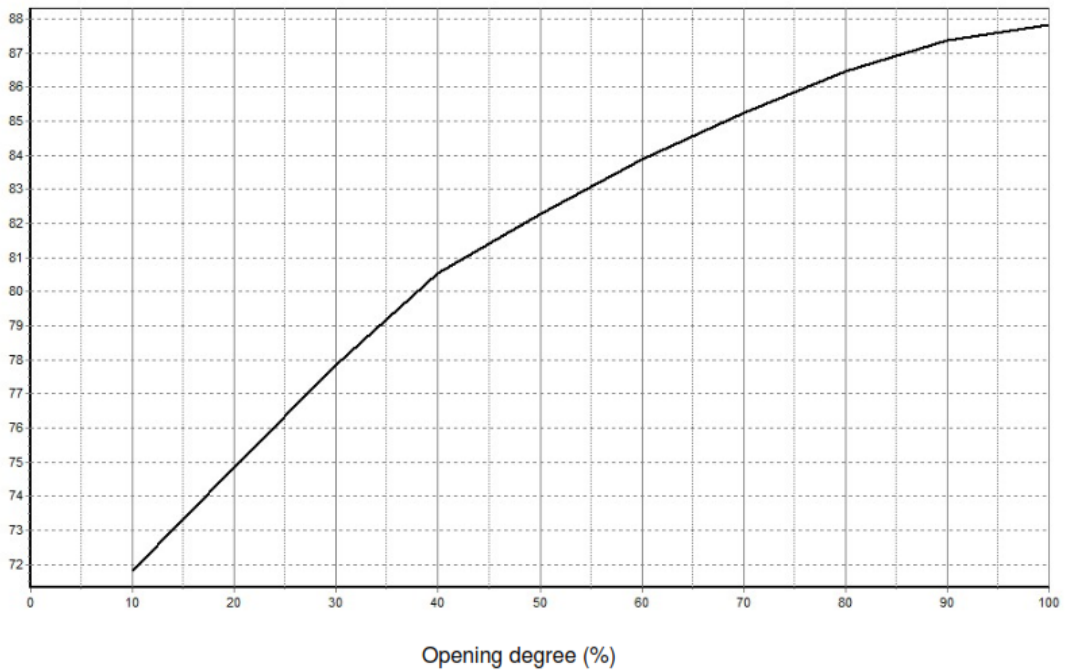
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



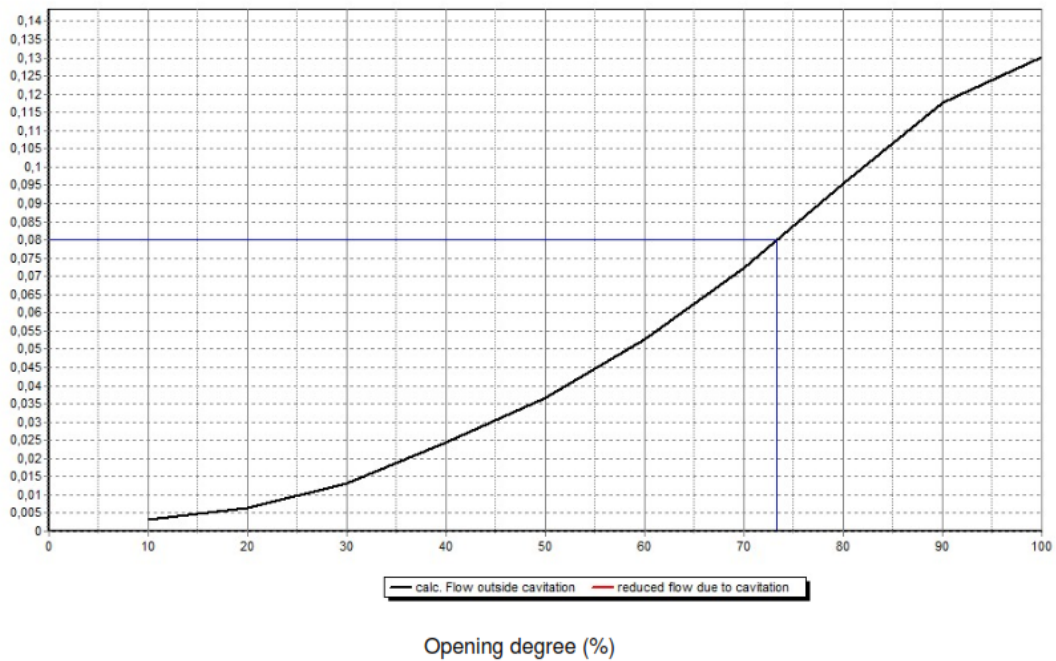
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD4:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	141,36 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m3/s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m3/s - 73%
Altitude:	2768
Qmax Pipe system:	0,13 m3/s

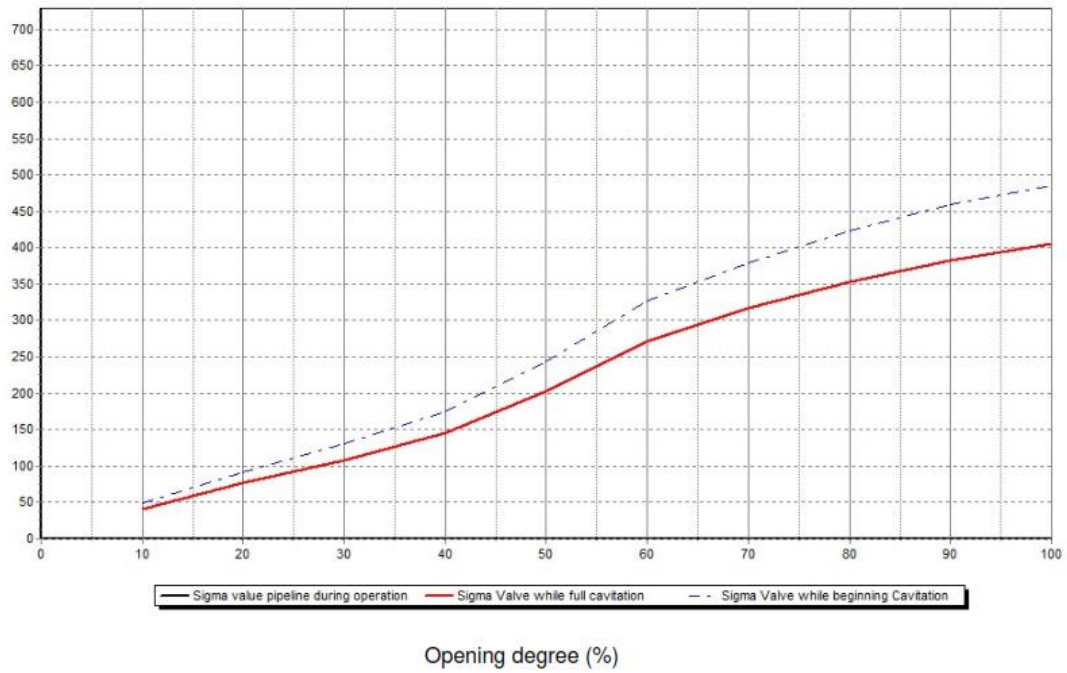
Type of regulation



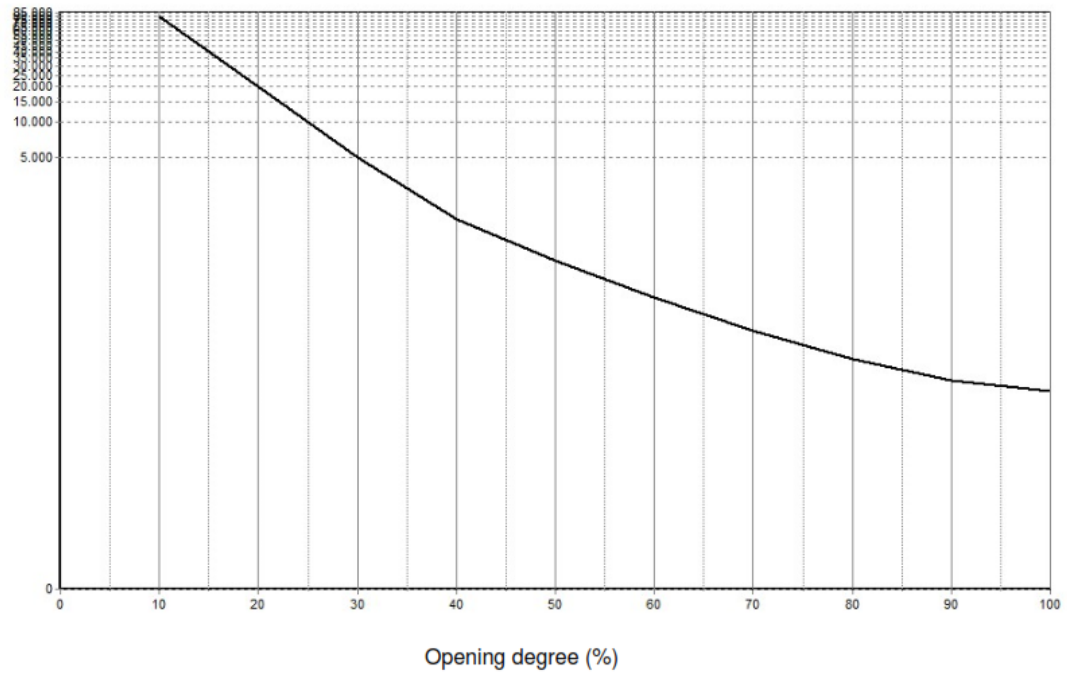
Capacity in m3/s



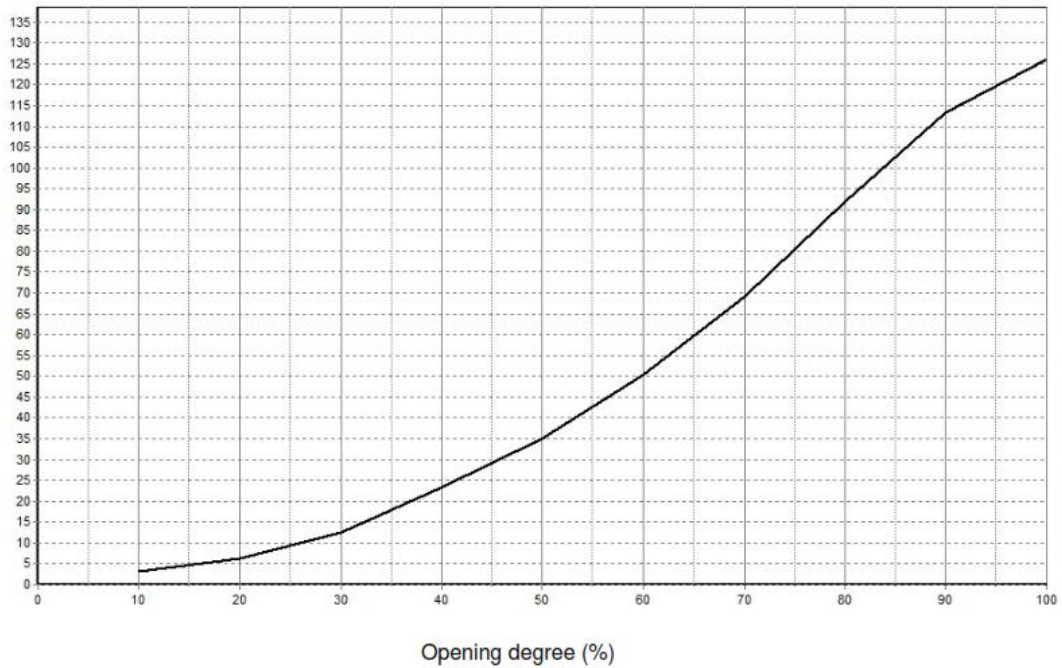
Cavitation diagram



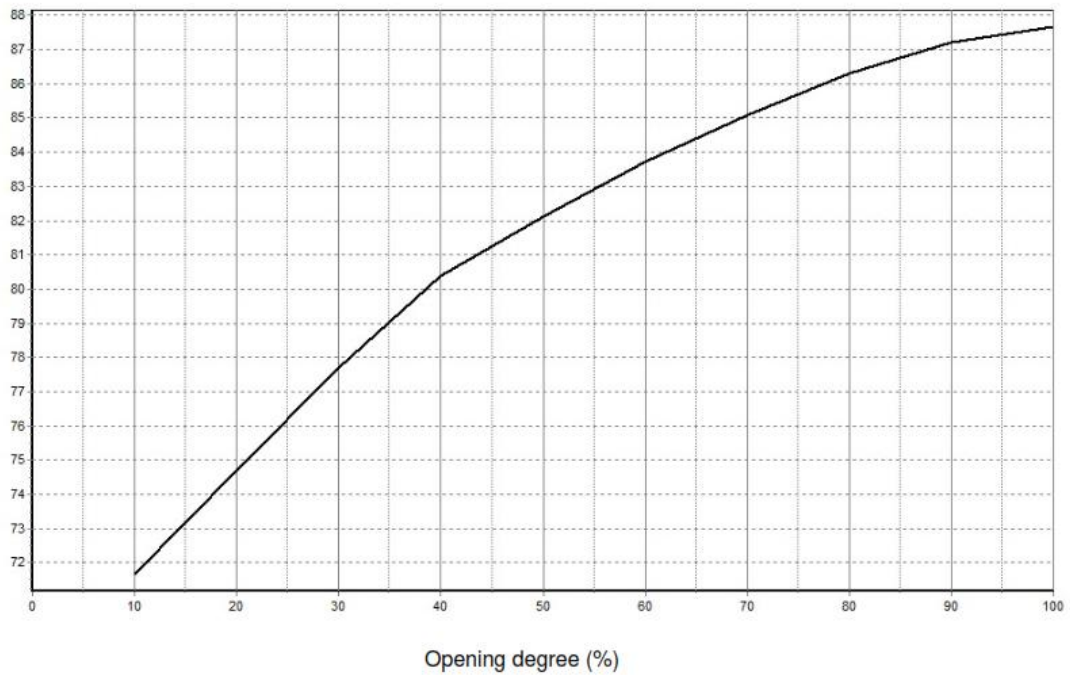
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



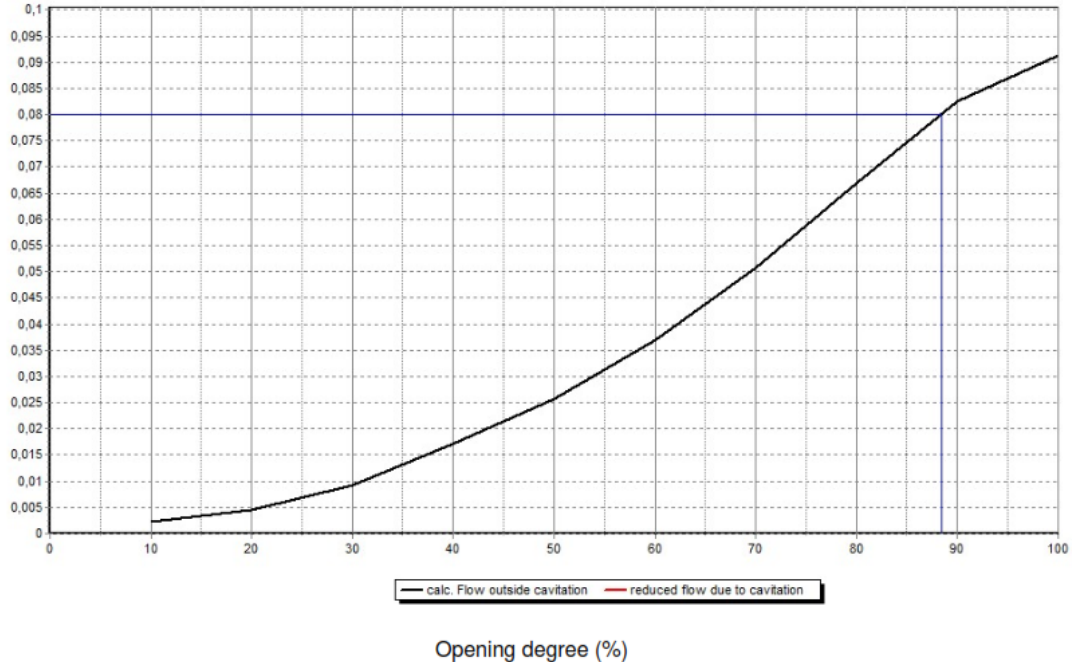
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD5:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	69,54 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m3/s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m3/s - 88%
Altitude:	2840
Qmax Pipe system:	0,09 m3/s

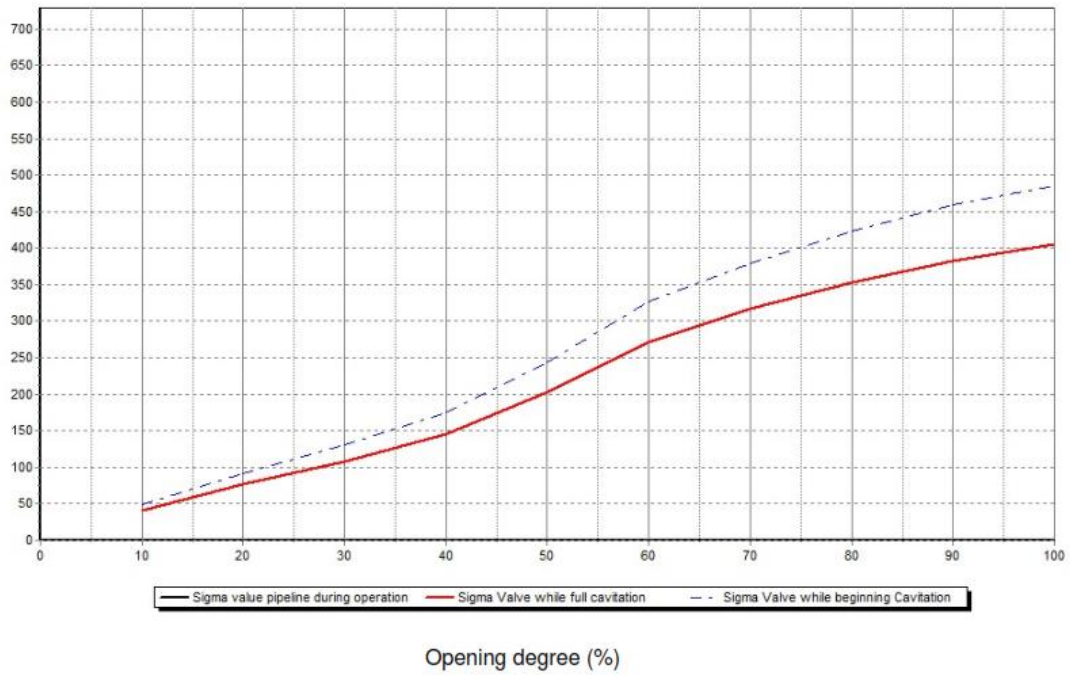
Type of regulation



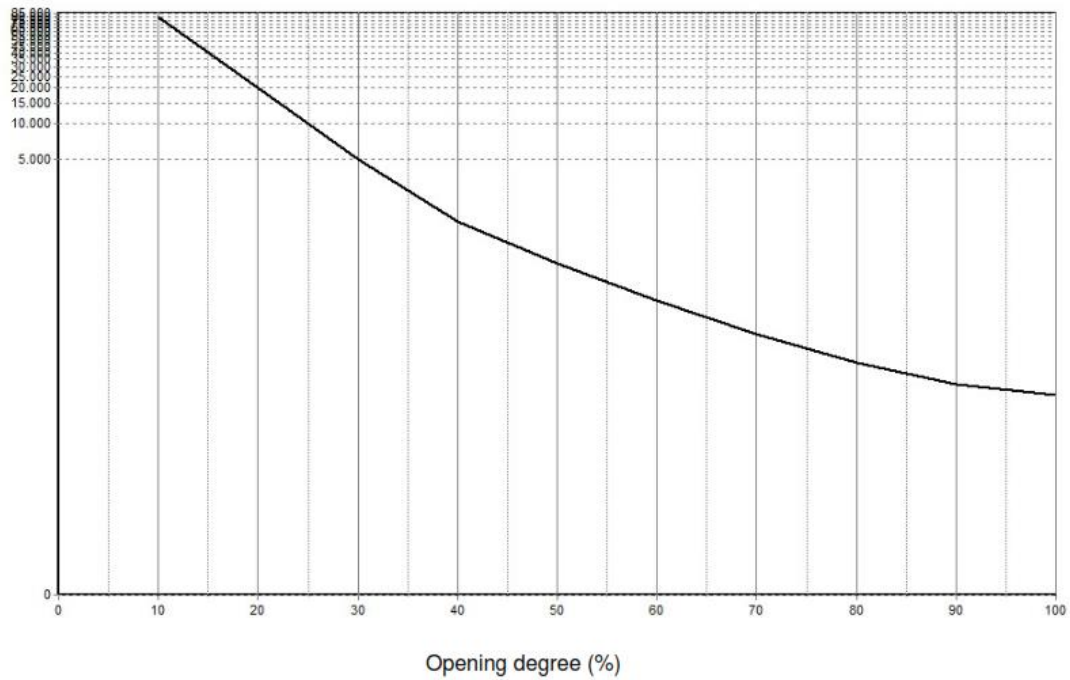
Capacity in m3/s



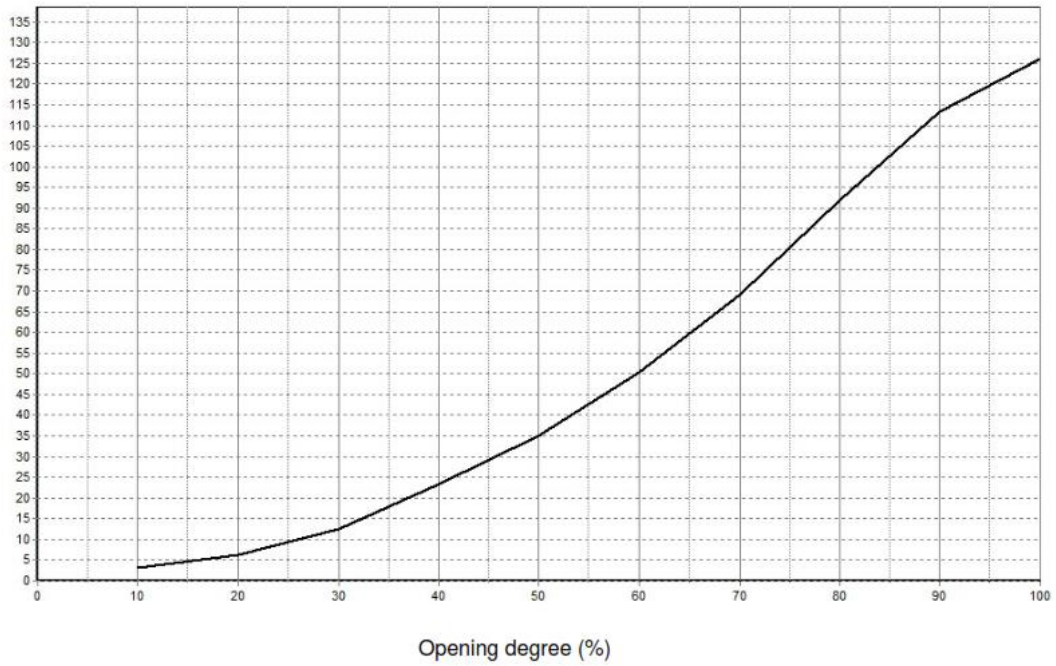
Cavitation diagram



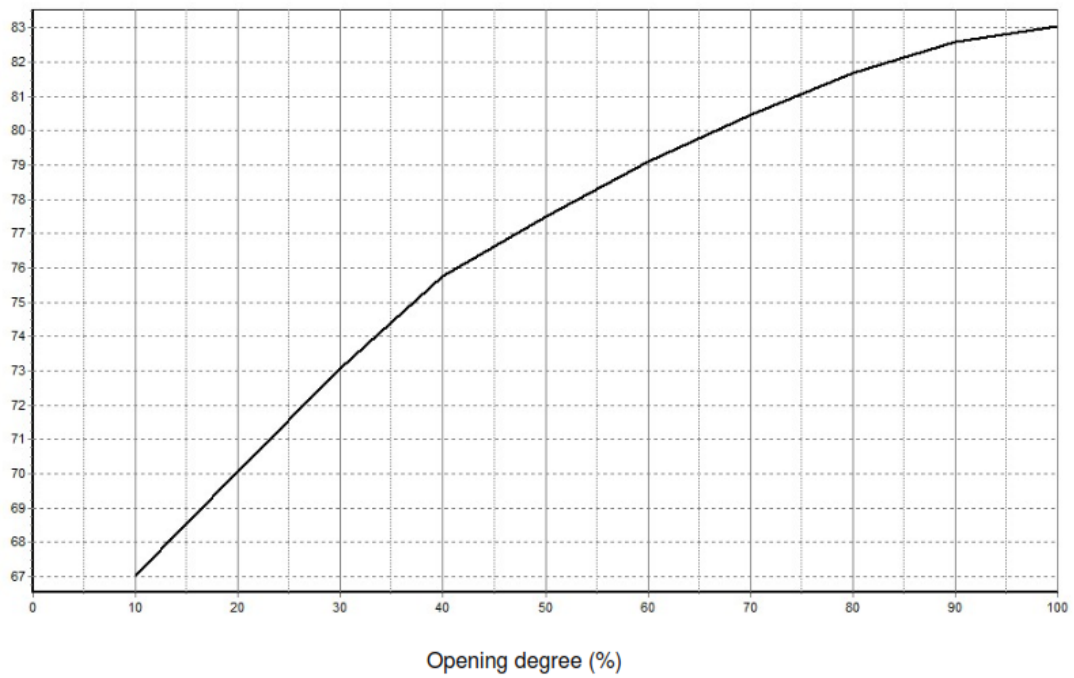
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



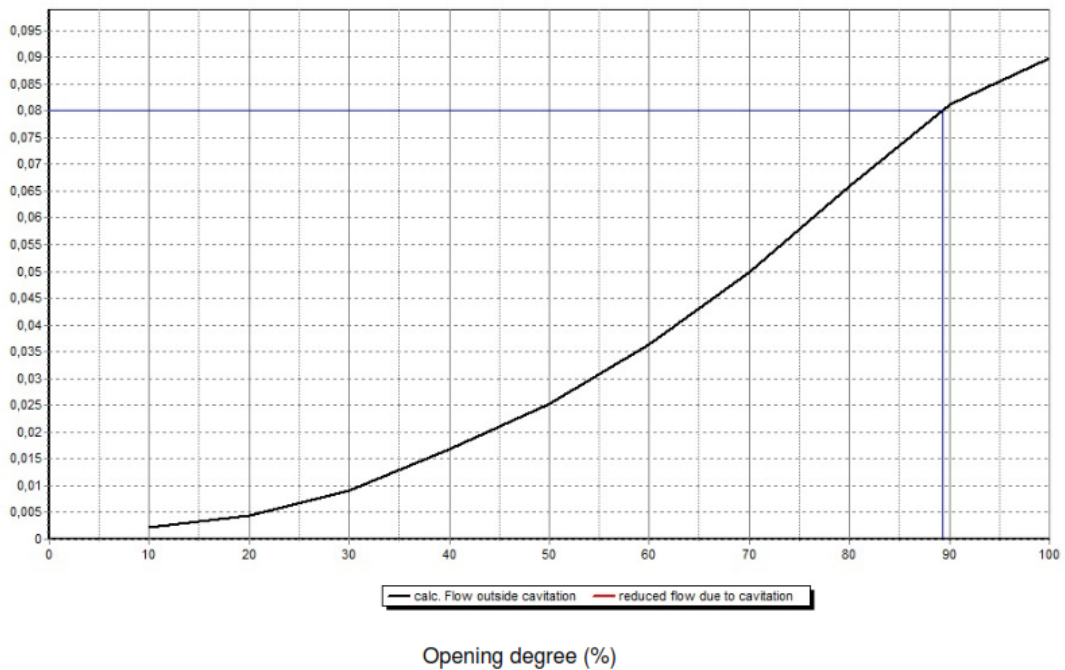
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD6:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	67,28 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m ³ /s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m ³ /s - 89%
Altitude:	2842
Qmax Pipe system:	0,09 m ³ /s

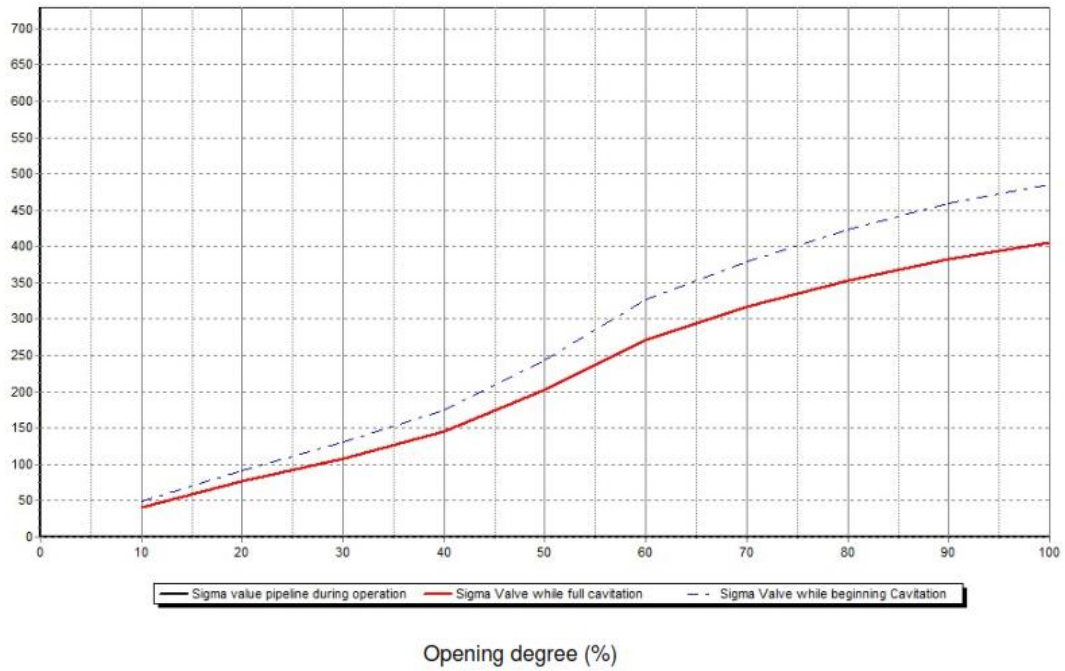
Type of regulation



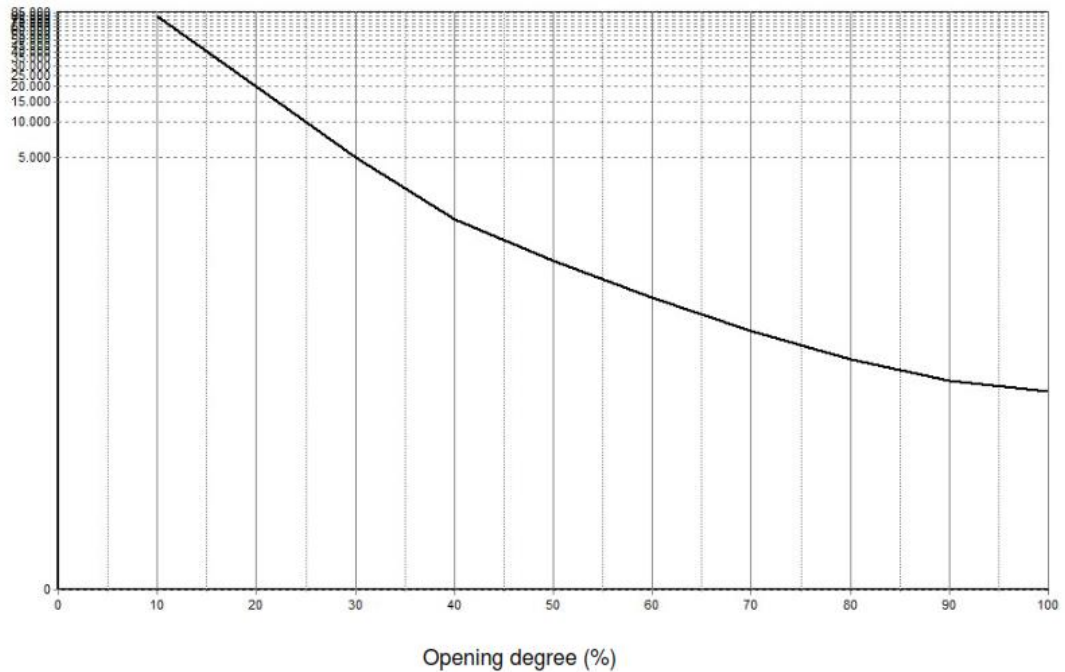
Capacity in m³/s



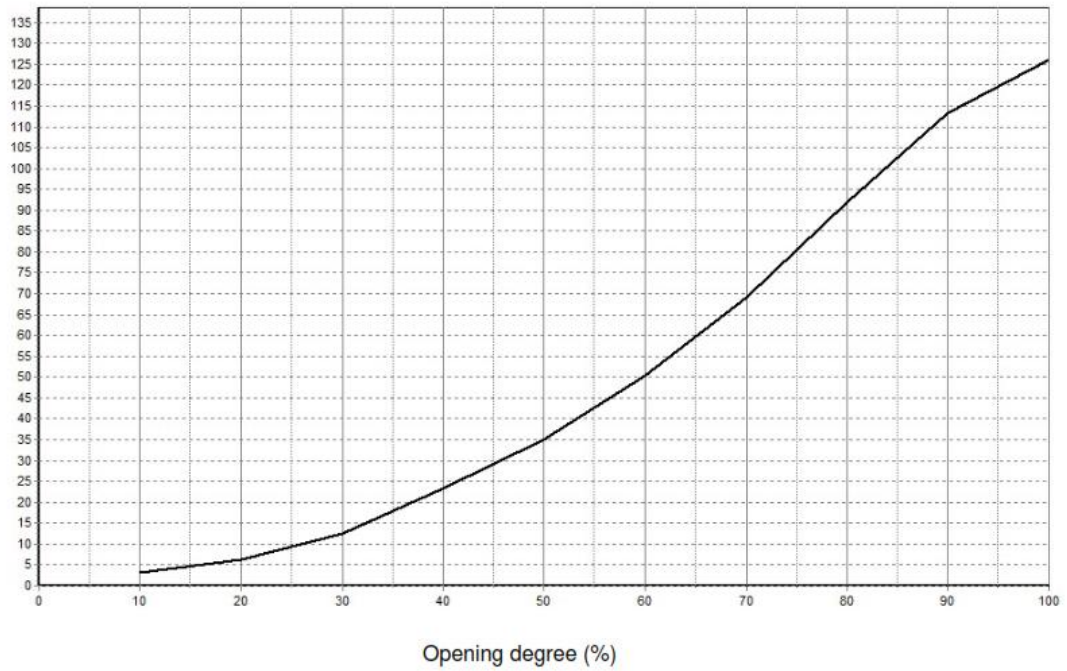
Cavitation diagram



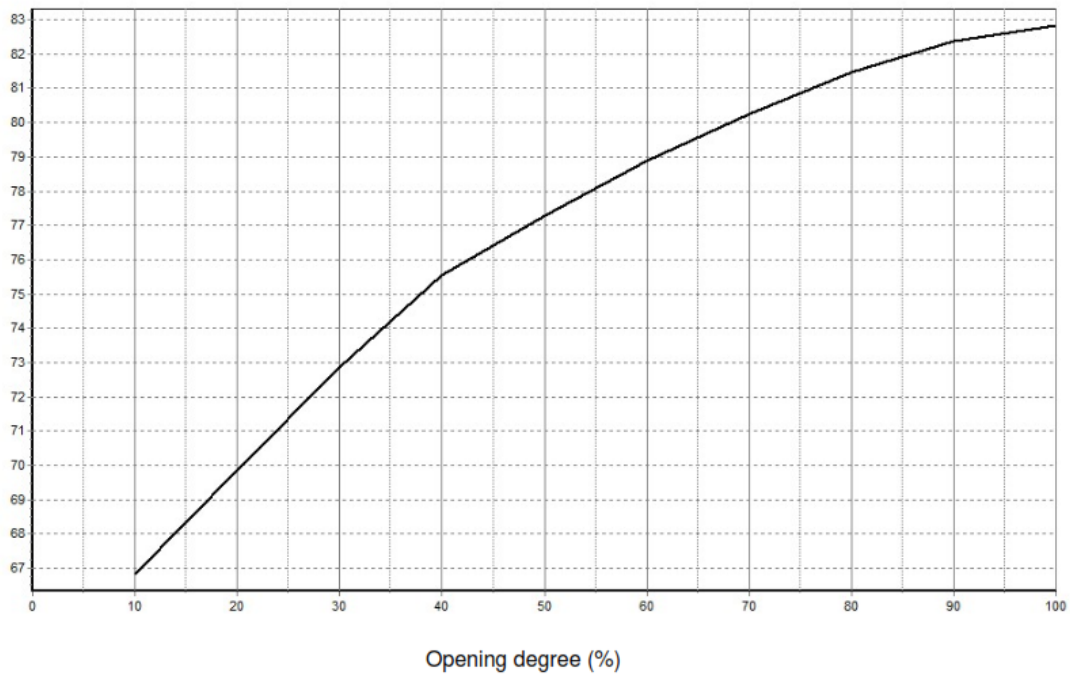
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



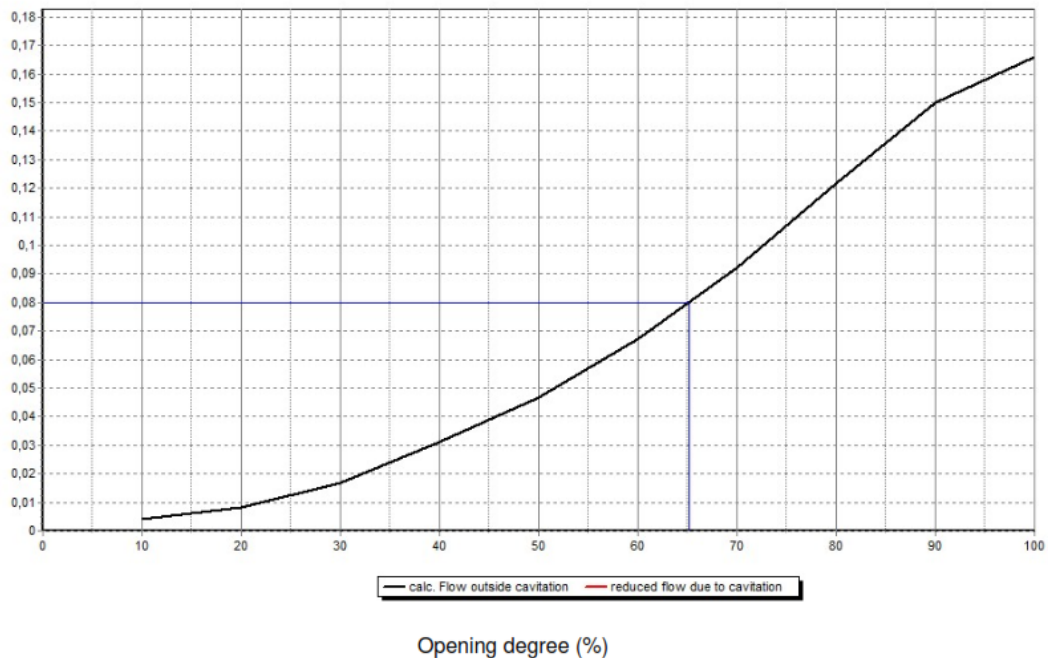
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD7:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 20
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	229,75 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m3/s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m3/s - 65%
Altitude:	2680
Qmax Pipe system:	0,17 m3/s

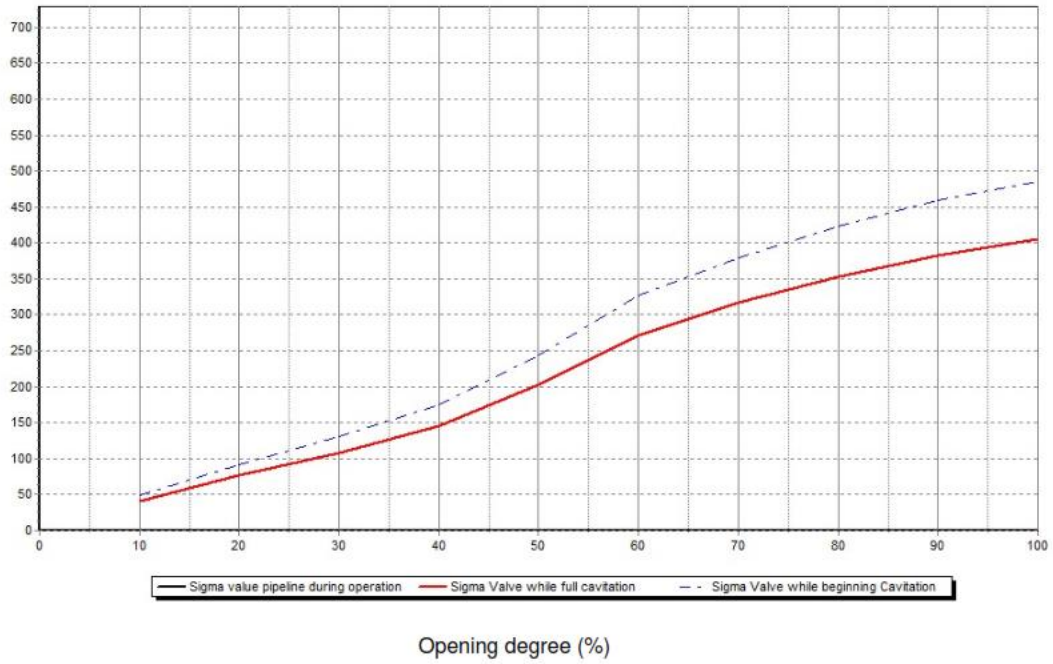
Type of regulation



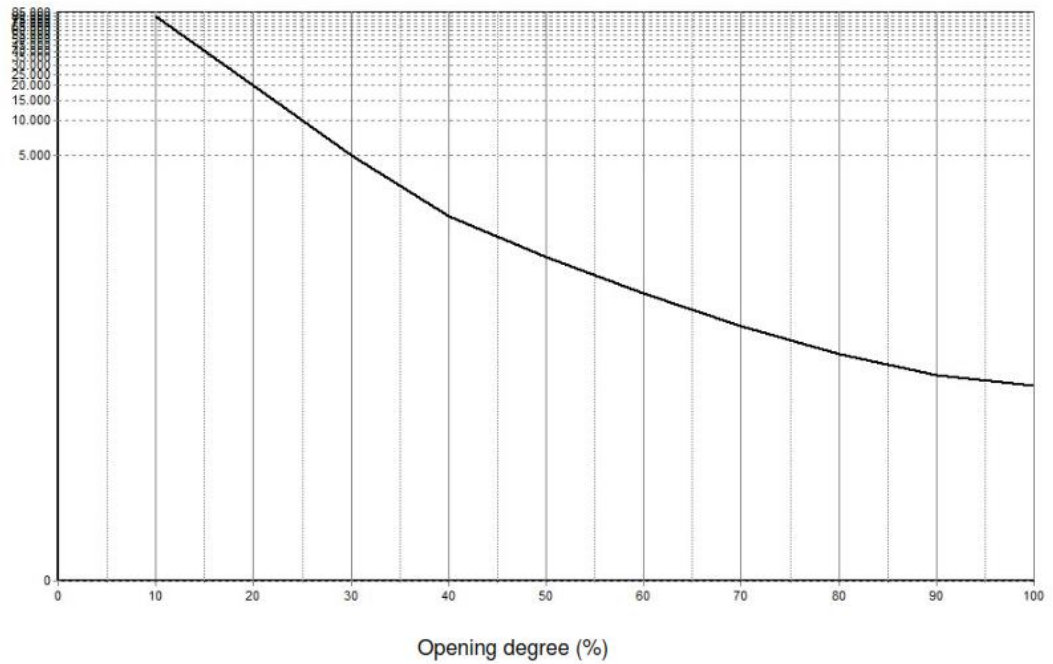
Capacity in m3/s



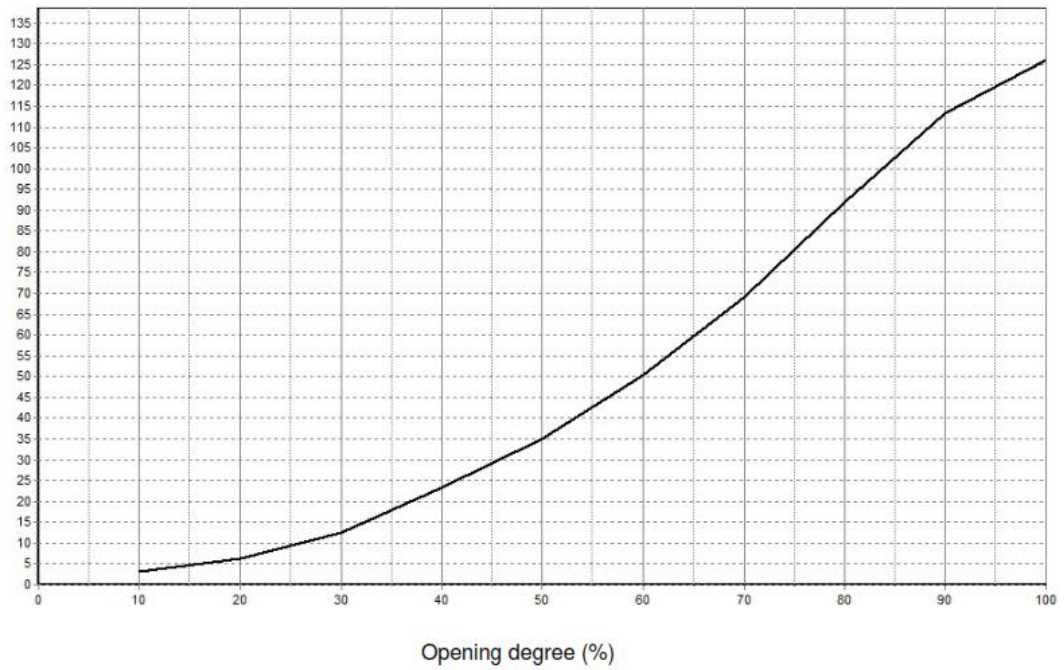
Cavitation diagram



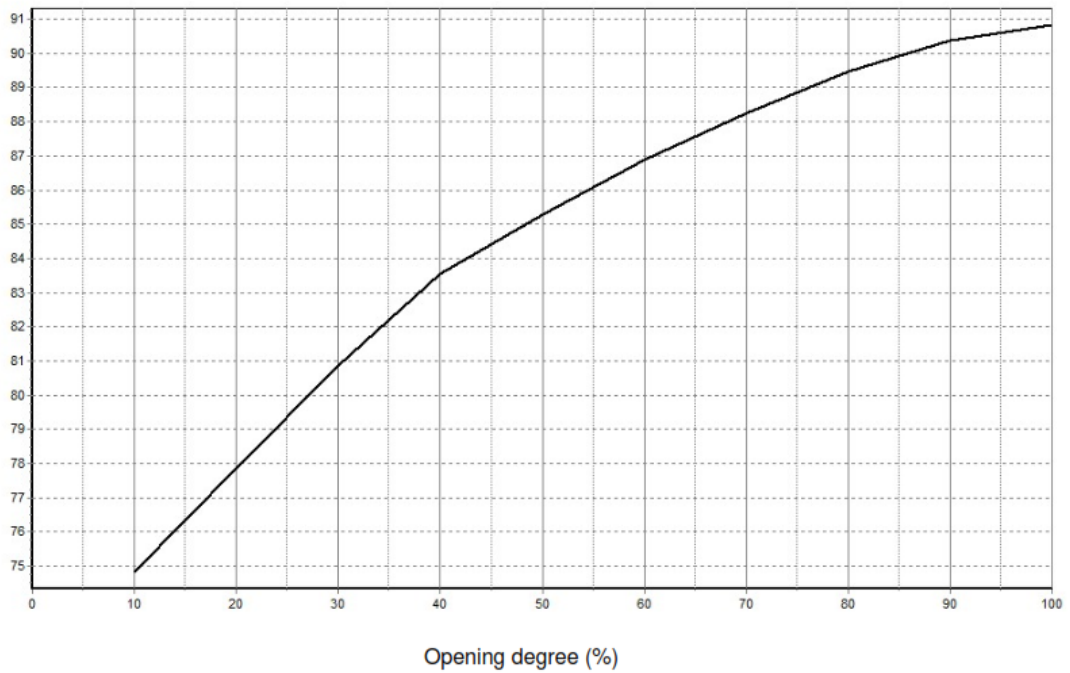
Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)



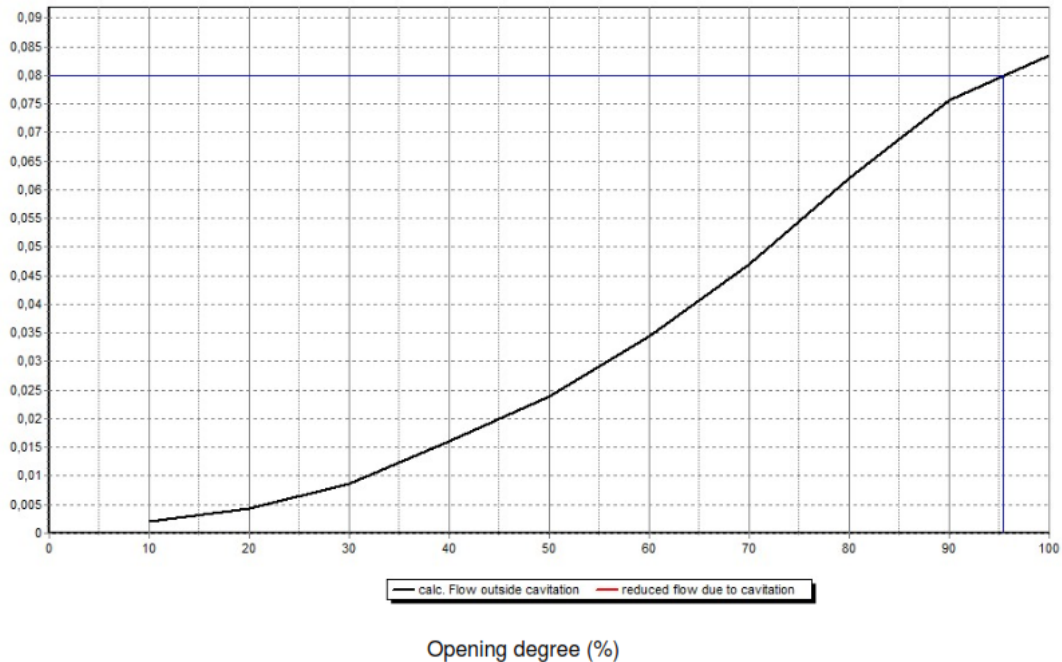
CÁLCULOS Y CURVAS DE LA VÁLVULA VD8:

Project Name:	Proyecto Línea de Transmisión y Redes Calderón
Project Note:	Válvulas de desagüe
Project Date:	2020
User Name:	Dr. Ing. Alvaro Aguinaga
Pressure rate, PN:	50
Nominal Valve Diameter, DN:	150
RIKO Outlet Type:	LH 40
System properties	Regulation with constant pressure-Reservoir to reservoir
Static upstream pressure:	17,10 mWC
Static downstream pressure:	0,00 mWC
Pipe diameter upstream side:	150 mm
Zeta value pipe upstream side:	0,00
Pipe diameter downstream side:	150 mm
Zeta value pipe downstream side:	0,00
Flow Qmin:	0,00 m ³ /s - 0%
Flow Qmax:	0,08 m ³ /s - 95%
Altitude:	2559
Qmax Pipe system:	0,08 m ³ /s

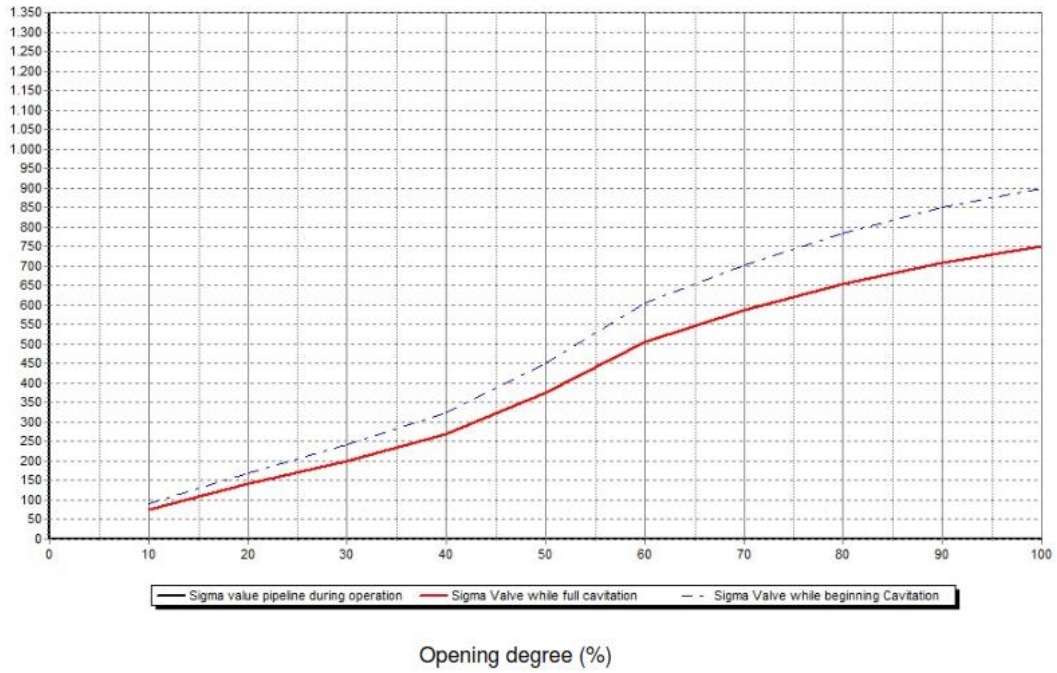
Type of regulation



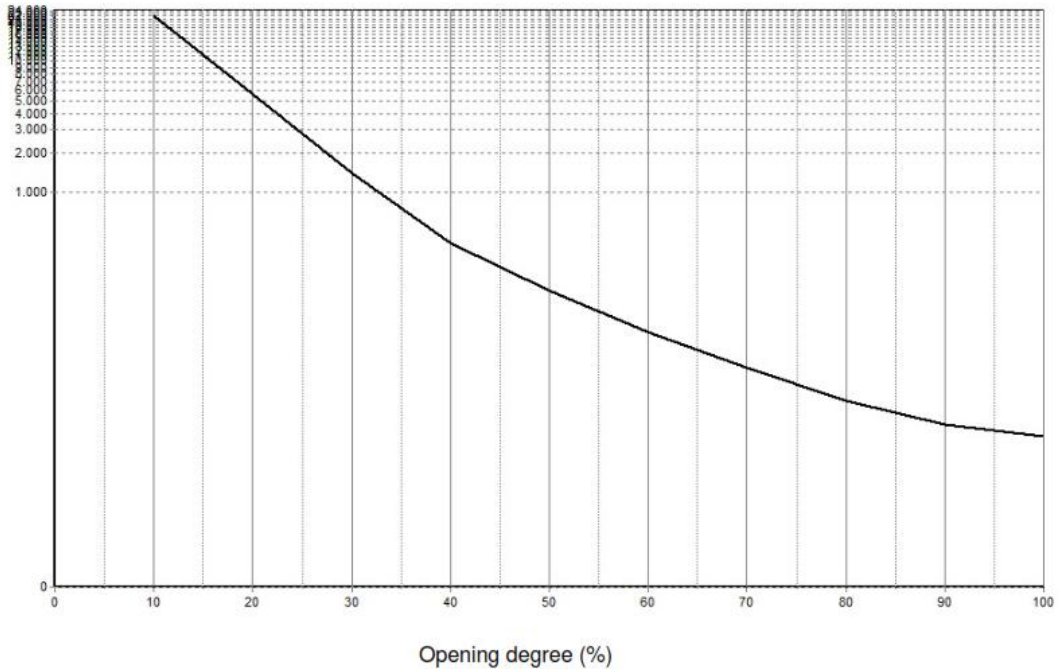
Capacity in m³/s



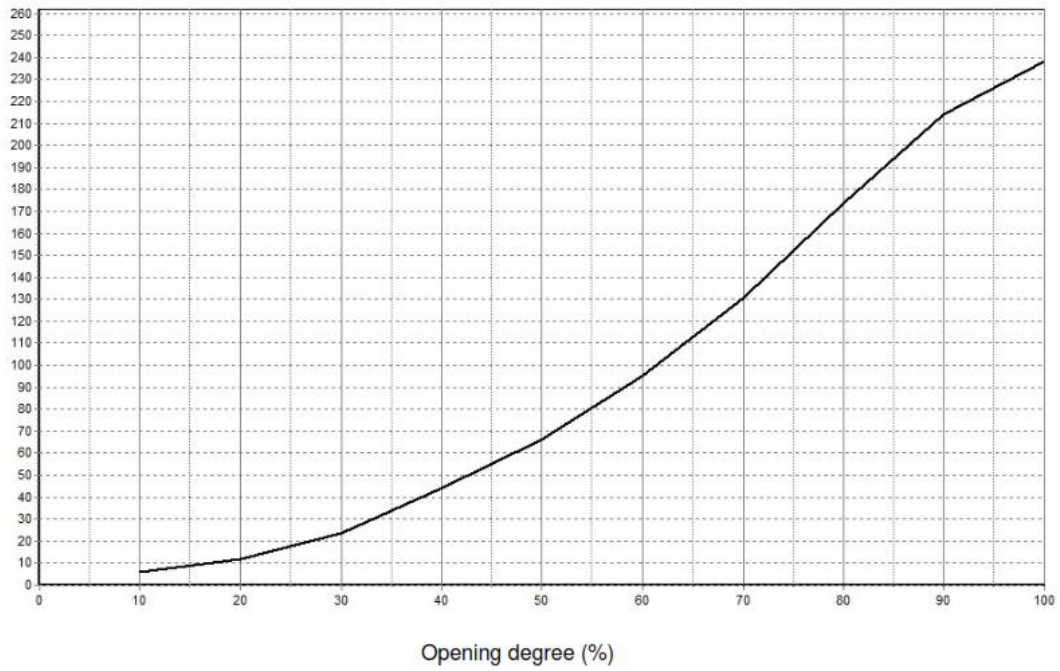
Cavitation diagram



Zeta Value



Kv [m³/h]



Noise level (dB A)

